



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

Jordi Mogas Recalde

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

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

Jordi Mogas Recalde

Tesi Doctoral
2020



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tesi doctoral

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

Jordi Mogas Recalde

Dirigida per

Dr. Ramon Palau Martín

Departament de Pedagogia

Tarragona

2020

© Jordi Mogas Recalde, 2020, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona

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).

Referència recomanada:

Mogas-Recalde, 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].



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

FAIG CONSTAR que aquest treball, titulat “Smart Classrooms i l’adveniment de la Quarta Revolució Industrial: anàlisi dels factors clau per al disseny d’aules intel·ligents”, que presenta Jordi Mogas Recalde per a l’obtenció del títol de Doctor, ha estat realitzat sota la meva direcció al Departament de Pedagogia d’aquesta universitat i que compleix els requeriments per a poder optar a la menció internacional.

Tarragona, 10 de novembre de 2020

El director de la tesi doctoral,

Dr. Ramon Palau Martín

Agraïments

Al principal ideòleg d'aquesta tesi, a qui mai no podré retornar tot el que m'ha aportat. En **Ramon** em va obrir les portes a aquesta aventura, m'ha acompanyat en el camí, m'ha involucrat i ajudat, m'ha obert noves possibilitats acadèmiques i professionals. Director de tesi, però no només. S'ha alçat una amistat que prova duradora i productiva.

A la **Mercè**, a qui també dec aquesta tesi i els meus inicis en la carrera investigadora. Haver-me integrat a ARGET m'ha ofert incomptables oportunitats de tota mena. El meu més especial i sincer agraïment.

A les companyes i companys d'**ARGET** i a tothom que ha passat pel LATE i pel meu camí durant aquests anys. Hi ha molts noms que tinc latents i no podré llistar, però mereixen menció especial la incansable Vane, amb qui he compartit recerca, docència, cafès i moltes hores de feina que han deixat una petjada profunda i entranyable; en José Luis, un professional excepcional que també marca bons records d'aquest període; en Santi, la Mònica i l'Anna, amb qui he compartit penes i glòries, queixes i experiències mítiques, perquè amb ells vaig començar a caminar pel món predoctoral, tots quatre a quatre grapes i, ves, ara ja ens hem alçat. A la Fien i als companys i companyes d'**ITEC-imec** per haver-me acollit quatre mesos a Kortrijk (Bèlgica) i per la recerca que vam compartir. *Dank je well!* A l'Andrés i als companys d'**UKEIM** per haver-me acollit un mes a Múrcia (Espanya) i per la valuosa relació acadèmica que hem iniciat. *¡Muchas gracias!*

A la **URV**, perquè m'ha format amb un doctorat, amb un postgrau de docència universitària i amb molts cursos de l'ICE i activitats del Servei Lingüístic. Als companys i companyes del Departament de Pedagogia, per fer-me un més del grup. A professionals com la Gabi i la Cinta, que sempre han estat atentes per ajudar. Als i les estudiants, perquè han estat una peça clau en el meu desenvolupament.

A la Secretaria d'Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya i al Fons Social Europeu, per la concessió de l'ajut per a la contractació de personal investigador novell.

Als **amics i família**, perquè han acceptat que la meua frase més recurrent sigui "tinc molta feina". Amb tot, gràcies per no permetre que m'aïllés amb l'excusa. També recordaré els anys de tesi per moltes vivències amb vosaltres ;-). I en especial dono les gràcies a ma mare, per viure intensament aquest treball i per la seva paciència; ella és qui viurà amb més il·lusió la meua graduació de doctorat.

Sigles i acrònims

4IR	<i>Fourth Industrial Revolution</i> / Quarta Revolució Industrial
CCT	<i>Correlated Color Temperature</i> / Temperatura del Color Correlacionada
DUA	Disseny Universal per a l'Aprenentatge
EDS	Educació per al Desenvolupament Sostenible
IA	Intel·ligència Artificial
IdC	Internet de les Coses
LMS	<i>Learning Management System</i> / Sistemes de Gestió de l'Aprenentatge
ODS	Objectius de Desenvolupament Sostenible de les Nacions Unides
RA	Realitat Augmentada
RT	<i>Reverberation Time</i> / Temps de Reverberació
RV	Realitat Virtual
SLE	<i>Smart Learning Environment</i> / Entorn Intel·ligent d'Aprenentatge
STI	<i>Speech Transmission Index</i> / Índex de Transmissió de Parla
TIC	Tecnologies de la Informació i la Comunicació
TTCT	<i>Torrance Tests of Creative Thinking</i> / Test de Torrance

Índex

Resum / Resumen / Abstract	1
SECCIÓ PRELIMINAR	
Producció científica del doctorand	5
Tesi per compendi de publicacions	10
SECCIÓ PRIMERA	
Introducció	27
Problema de recerca	29
Estructura d'aquest treball	30
Capítol 1. La Quarta Revolució Industrial com a nou paradigma d'innovació tecnològica en contextos educatius	31
1.1. L'avenç social de la humanitat i l'educació actual	32
1.2. Adveniment de la Quarta Revolució Industrial (4IR)	34
1.3. La tecnologia com a facilitador de l'Educació 4.0	36
Capítol 2. Escoles intel·ligents: definició i principis elementals	38
2.1. Nous espais d'aprenentatge	39
2.2. Projectes i experiències d'escoles i aules intel·ligents	40
2.3. Definició integral d'escola intel·ligent	41
2.4. Tecnologia de la 4IR en escoles intel·ligents	42
2.5. La necessitat social d'oferir espais inclusius	44
2.6. Edificis sostenibles i educació per al desenvolupament sostenible	45
Capítol 3. Caracterització de les aules intel·ligents a través de les dimensions tecnològica, ambiental i pedagògica	50
3.1. Suport tecnològic a les aules intel·ligents	51
3.2. La dimensió pedagògica	55
3.3. Condicions ambientals	58
Capítol 4. Anàlisi de les condicions ambientals que cal regular a les aules intel·ligents per millorar els processos d'ensenyament-aprenentatge	62
4.1. Com afecta la il·luminació al rendiment dels alumnes?	63
4.2. Com afecta l'acústica de l'aula a professors i a estudiants?	66

SECCIÓ SEGONA

Capítol 5. Disseny metodològic	73
5.1. Objectius de la tesi	74
5.3. Temporització	74
5.4. Tècniques i instruments de recollida de dades	75
5.5. Context de la recerca	83
5.6. Objectius de les publicacions	84
5.7. Anàlisi de dades	86
5.8. Aspectes ètics	87
Capítol 6. Resultats i discussió	89
6.1. Caracterització dimensional de les aules intel·ligents per a una comprensió conceptual holística	89
6.2. La comunitat educativa enfront dels avenços tecnològics de la 4IR i la potencialitat de les aules intel·ligents	92
6.3. Efectes d'un sistema dinàmic de temperatura del color correlacionada en funció dels processos cognitius que es volen potenciar a l'aula	97
6.4. Acústica i aules intel·ligents: autopercepció dels docents sobre la contaminació sonora de les aules actuals	106
6.5. Altres implicacions de les escoles intel·ligents: educació inclusiva i educació per al desenvolupament sostenible	108
6.6. El disseny d'aules intel·ligents mitjançant mons virtuals 3D	113

SECCIÓ TERCERA

Chapter 7. Conclusions	117
7.1. Main contributions and strenghts of this thesis	121
7.2. Limitations of this work	121
Capítol 8. Prospectiva	122
8.1. Propostes i recomanacions	122
8.2. Continuitat de la recerca	123
8.3. Emprenedoria. De la recerca al mercat	126
8.4. Altres mèrits	127

REFERÈNCIES

Referències bibliogràfiques	129
------------------------------------	------------

ANNEXOS

Annex 1. Matriu (parcial) d'anàlisi conceptual de la revisió sistemàtica 1	154
--	-----

Annex 2. Proves lumíniques _____	155
Annex 3. Test d'atenció d2 _____	156
Annex 4. Matriu (parcial) d'anàlisi de continguts a la publicació 12 _____	160
Annex 5. Consentiment informat grup focal de la publicació 7 _____	161
Annex 6. Consentiment informat experiment TTCT - CCT de la publicació 8 _____	163
Annex 7. Anàlisi del d2 a Tarragona, amb R _____	165
Annex 8. Matriu (parcial) d'avaluació del TTCT _____	169
Annex 9. Entrevista publicada al Diari de Tarragona _____	170
Annex10. Premi Smart Fòrum Tarragona _____	171
Annex 11. Estada de recerca a Bèlgica _____	172
Annex 12. Estada de recerca a Espanya _____	173

Índex de taules

Taula 1. Relació estructural dels articles compendiats en aquest informe de tesi doctoral _____	10
Taula 2. Classificació dels aspectes estudiats _____	63
Taula 3. Tècniques i instruments utilitzats en la concatenació exploratòria de la recerca publicada	75
Taula 4. Resum d'estudis per recollir dades: tècnica, participants i mostra _____	83
Taula 5. Plantejament de les revisions sistemàtiques de la tesi _____	84
Taula 6. Quantificació dels resultats obtinguts a la revisió sistemàtica de Mogas & Palau (2021) __	97
Taula 7. Distribució de la intervenció amb test d2 al grup de doble titulació _____	99
Taula 8. Quantificació dels resultats obtinguts a la revisió sistemàtica de Mogas, Palau & Márquez (en premsa) _____	106
Taula 9. Educació inclusiva en la dimensió de tecnologia _____	109
Taula 10. Educació inclusiva en la dimensió de condicions ambientals _____	110
Taula 11. Educació inclusiva en la dimensió de processos _____	110

Índex de figures

Figura 1. Flux de publicacions d'acord amb la dimensionalitat establerta a la publicació 1	12
Figura 2. Concreció d'entorns intel·ligents d'aprenentatge a aules intel·ligents	28
Figura 3. Progrés al llarg de les quatre revolucions industrials	34
Figura 4. Elements clau d'una escola intel·ligent	42
Figura 5. Classificació de dimensions i característiques en una aula intel·ligent	51
Figura 6. Exemple de reconeixement facial (Mobile World Congress 2019)	52
Figura 7. Paràmetres a considerar quant a l'acústica de l'aula	67
Figura 8. Diagrama de Gantt amb la planificació de la tesi i les dates de les publicacions	74
Figura 9. Cicle procedimental en una revisió sistemàtica de la literatura	76
Figura 10. Procés de revisió sistemàtica seguit a Palau i Mogas (2019)	77
Figura 11. Disseny creuat utilitzat en els tests objectius	80
Figura 12. Exemple de realització del test d2	80
Figura 13. Fotografies dels tests d'atenció d2 des de l'òptica dels participants sota les dues condicions lumíniques oposades (càlida a 3000K i freda a 5200K)	81
Figura 14. Exemple de fila amb cercles per solucionar el test de figures repetitives al TTCT	82
Figura 15. Exemple de fila amb línies paral·leles per solucionar el test de figures repetitives al TTCT82	
Figura 16. Classificació de les característiques dels SLE i les aules intel·ligents en dimensions i categories	90
Figura 17. Resultats del test d2 amb estudiants de Pedagogia de Tarragona	98
Figura 18. Resultats del test d2 amb estudiants de doble titulació de Tarragona	99
Figura 19. Resultats creuats del test d2 amb estudiants de doble titulació de Tarragona	100
Figura 20. Mostra de fitxa individual amb el còmput de valors del test d2	101
Figura 21. Recompte global dels valors mesurats als tests d2 de Kortrijk	101
Figura 22. Files d'alumnes responent un test sota una llum càlida	102
Figura 23. Files d'alumnes responent un test sota una llum freda	102
Figura 24. Exemple 1 de línia de figures repetitives del TTCT (cercles)	103
Figura 25. Exemple 2 de línia de figures repetitives del TTCT (cercles)	103
Figura 26. Exemple 3 de línia de figures repetitives del TTCT (línies paral·leles)	104
Figura 27. Exemple 4 de línia de figures repetitives del TTCT (línies paral·leles)	104
Figura 28. Exemple de figures no vàlides per no representar conceptes diferents	104
Figura 29. Resultats (graella parcial) del test TTCT	105
Figura 30. Anàlisi dels resultats de fluïdesa al TTCT	105

Figura 31. Directed relationship between dimensions in a smart classroom _____	118
Figura 32. Esquema conceptual de la propuesta presentada al projecte Erasmus KA203 _____	124
Figura 33. Cartell del certàmen Tarragona Smart Fòrum 2019 _____	127

Resum

Aquest treball 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. Atenent que el present document compendia un total de dotze publicacions, les tècniques i els instruments de recerca utilitzats són variats, tant des del punt de vista qualitatiu com quantitatiu: 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 a 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.

Resumen

Este trabajo nace con el objetivo de describir las aulas inteligentes analizando sus elementos diferenciadores, sus dimensiones y sus interrelaciones, para comprender cuáles son las tendencias que pueden proporcionar mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes del siglo XXI. Para hacerlo, se utiliza una metodología de investigación exploratoria que permite recoger datos y concatenar resultados para ampliar el marco referencial. Atendiendo que el presente documento compendia un total de doce publicaciones, las técnicas e instrumentos de investigación utilizados son variados, tanto de carácter cualitativo como cuantitativo: revisiones sistemáticas de la literatura y aproximaciones teóricas con valoración de expertos, entrevistas, grupos focales, análisis documental y tests objetivos.

La fundamentación teórica permite contextualizar la Cuarta Revolución Industrial y su potencial en educación. Como resultado, se introduce una definición de las escuelas inteligentes, que deben estar dotadas de sistemas de gestión integral y soluciones automatizadas, deben estar centradas en las personas y ser inclusivas, y deben ser sostenibles, con el objetivo de acoger una educación inteligente adoptando de manera eficiente nuevas metodologías de aprendizaje y avances de la Cuarta Revolución Industrial. También se hace una conceptualización y definición de las aulas inteligentes mediante una dimensionalización de sus características, y se describen las características principales que deben tener en cuanto a tecnología, factores ambientales y procesos pedagógicos. Se pone especial énfasis en las condiciones ambientales, ya que se detecta que son influyentes en los procesos de enseñanza-aprendizaje y representan un camino relevante para la innovación en las aulas. Se estudian en profundidad los dos temas más relevantes: iluminación y acústica.

Los resultados emergentes de la recogida de datos muestran varias implicaciones de las *smart classrooms* y su nivel de madurez. Cabe destacar, por un lado, que los centros educativos de Cataluña están dispuestos a hacer frente las innovaciones pedagógicas que comporte la llegada de la Industria 4.0, pero aún no estarían preparados para obtener unos resultados eficientes. Por otra parte, se destaca la efectividad de sistemas dinámicos para controlar la iluminación en el aula, como primer paso en la automatización de las condiciones ambientales en un aula inteligente.

Abstract

This work started with the aim of describing smart classrooms by analyzing their differentiating elements, their dimensions and their interrelationships, in order to understand what are the trends that can provide improvements in the teaching and learning processes of 21st century students. To do this, an exploratory research methodology is used to collect data and concatenate results to expand the reference framework. Given that this work summarizes a total of twelve publications, the research techniques and instruments used are varied, both qualitative and quantitative: systematic literature reviews and theoretical approaches with expert assessment, interviews, focus groups, documentary analysis and objective tests.

The theoretical foundation allows to contextualize the Fourth Industrial Revolution and its potential in education. As a result, a definition of smart schools is introduced, which must be equipped with comprehensive management systems and automated solutions, must be people-centered and inclusive, and must be sustainable, with the goal of hosting smart education while efficiently adopting new learning methodologies and advances from the Fourth Industrial Revolution. There is also a conceptualization and definition of smart classrooms through a dimensionalization of their characteristics, and describe the main characteristics they must have in terms of technology, environmental factors and pedagogical processes. Special emphasis is placed on environmental conditions, as they are found to be influential in teaching and learning processes and represent a relevant path for innovation in classrooms. The two most important topics are studied in depth: lighting and acoustics.

The emerging results of data collection show various implications of smart classrooms and their level of maturity. It is worth noting, on the one hand, that the educational centers of Catalonia are ready to face the pedagogical innovations that the arrival of Industry 4.0 entails, but they would not yet be prepared to obtain efficient results. On the other hand, the effectiveness of dynamic systems for controlling lighting in the classroom is highlighted, as a first step in automating environmental conditions in a smart classroom.

SECCIÓ PRELIMINAR

Naturalesa de l'informe

Producció científica del doctorand

Durant el procés de realització d'aquesta tesi el doctorand ha elaborat o col·laborat activament en **22 publicacions** (10 articles de revista, dels quals 3 estan en revisió; 8 capítols de llibre; i 4 recensions de llibre). També ha presentat un total de **20 comunicacions** a congressos, seminaris i jornades (de les quals, a més de les publicacions anteriors, 7 tenen el resum publicat com a capítol en llibre d'actes i 1 en revista).

Articles

Lorenzo, N., Gallon, R., Palau, R., & Mogas, J. (En premsa). New Objectives for Smart Classrooms from Industry 4.0. *Technology, Knowledge and Learning*. [Publicació prevista pel 2021]

Palau, R., Fuentes, M., Mogas, J., & Cebrián, G. (En premsa). Analysis of the implementation of teaching and learning processes at Catalan schools during the COVID-19 lockdown. *Technology, Pedagogy and Education*. [Publicació prevista pel 2021]

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*. [Publicació prevista pel 2021]

Palau, R., Mogas, J., & Ucar, M. J. (2020). ¿Cómo han gestionado los conservatorios de música españoles los procesos de enseñanza-aprendizaje durante el confinamiento del COVID-19? *Revista Electrónica de LEEME* 2(46), 108-124. <https://doi.org/10.7203/LEEME.46.18110>

Mogas, J., Palau, R., Lorenzo, N., & Gallon, R. (2020). Developments for Smart Classrooms: Schools Perspective and Needs. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 12(4), 34-50. <http://doi.org/10.4018/IJMBL.2020100103>

Palau, R., Mogas, J., & Domínguez, S. (2020). El proyecto Go-Lab como entorno virtual de aprendizaje: análisis y futuro. *Educar*, 56(2), 407-421. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1068>

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>

Articles en procés de revisió

- Mogas, J., Palau, R., Depaepe, F., Vanneste, P., & Said-Metwaly, S. (En revisió). Effects of lighting on student cognitive processes: Proving the need of a dynamic system to regulate the correlated color temperature in smart classrooms.
- Mogas, J., Palau, R., Fuentes, M., & Cebrián, G. (En revisió). Smart Schools on the way: How school principals from Catalonia approach the future of education within the Fourth Industrial Revolution.
- Cebrián, G., Mogas, J., Palau, R., & Fuentes, M. (En revisió). Sustainability and the 2030 Agenda within schools: A study of school principals' engagement and perceptions.

Capítols de llibre

- Mogas, J., Márquez, M., & Palau, R. (En premsa). 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*. Octaedro. ISBN: 978-84-18348-22-8. [Publicació prevista pel 2021]
- 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. http://doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5_1
- Mogas, J., & Holgado, J. (2020). Aprenentatge experiencial utilitzant realitat augmentada i realitat virtual: presentació d'una experiència en educació superior. In P. Membiela, M. I. Cebreiros, & M. Vidal (Eds.), *Innovación e investigación en la educación universitària* (pp. 549-553). Educación Editora. ISBN: 978-84-15524-44-1
- 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 (Coords.), *Tecnologías educativas y estrategias didácticas* (pp. 723-732). UMA editorial. ISBN: 978-84-1335-063-9. <https://hdl.handle.net/10630/20345>
- 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. ISBN: 9788418348112. <https://octaedro.com/libro/la-docencia-en-la-ensenanza-superior/>
- Esteve, V., & Mogas, J. (2019). El sistema de evaluación 360º para aprender a evaluar: estudio de caso en educación superior. In R. Roig-Vila (Ed.), *Investigación e innovación en la Enseñanza Superior. Nuevos contextos, nuevas ideas* (pp. 142-149). Octaedro. ISBN 978-84-17667-23-8. <https://octaedro.com/libro/investigacion-e-innovacion-en-la-ensenanza-superior/>

- 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 (Coords.), *Inclusión y Diversidad: intervenciones socioeducativas*. Wolters Kluwer. ISBN 978-84-120181-3-4. <https://tienda.wolterskluwer.es/p/inclusion-y-diversidad-intervenciones-socioeducativas>
- Palau, R., Mogas, J., Domínguez, S., & Sánchez-Caballé, A. (2019). Diseño de escenarios para la formación en entornos 3D. In M. Gisbert, V. Esteve-González, & J. L. Lázaro (Eds.), *¿Cómo abordar la educación del futuro? Conceptualización, desarrollo y evaluación desde la competencia digital docente* (pp. 17-28). Octaedro. ISBN 978-84-17219-88-8. <https://octaedro.com/libro/como-abordar-la-educacion-del-futuro>
- 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. ISBN 978-84-09-07242-2. <https://www.universidadviu.es/modelo-de-investigacion/>

Recensions

- Mogas, J. (2018). [Reseña del libro *Entornos personales de aprendizaje: Una visión actual de cómo aprender con tecnologías*, de M. P. Prendes y M. Román (Coords.)]. *Revista de Educación*, 383, 167-168. <http://www.educacionyfp.gob.es/revista-de-educacion/numeros-revista-educacion/numeros-anteriores/2018/383.html>
- Mogas, J. (2018). [Reseña literaria sobre «*Realidad aumentada: tecnología para la formación*», de J. Cabero y F. García (coords.)]. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, 9, 161-162. <http://www.tecnologia-ciencia-educacion.com/index.php/TCE/article/view/181>
- Mogas, J. (2017). [Recensión del libro *Nous escenaris d'aprenentatge des d'una visió transformadora / New learning environments from a transformative perspective*, de M. Gisbert y J. González (eds.)]. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 29(2), 271-272. <http://revistas.usal.es/index.php/1130-3743/article/view/17513/17957>
- Mogas, J. (2017). [Review of the book *Building a school for the digital natives generation*, by K. Lonka]. *Universitas Tarraconensis*, 1, 87-88. <https://doi.org/10.17345/ute.2017.1.1790>

Comunicacions a congressos, seminaris i jornades¹

- Mogas, J., Palau, R., & Márquez, M. (2020). Acústica del aula y su afectación en la actividad docente. In E. Colomo, E. Sánchez, J. Ruiz, & J. Sánchez (Coords.), *La tecnología como eje del cambio metodológico* (pp. 25-28). UMA editorial. ISBN: 978-84-1335-052-3. https://www.umaeditorial.uma.es/libro/la-tecnologia-como-eje-del-cambio-metodologico_2547/ [XXIII Congreso Internacional EDUtec].

¹ Referència preferent als llibres d'actes o revista. Quan no n'hi ha es referencia la comunicació oral.

- Mogas, J., & Palau, R. (2020). Classroom lighting and its effect on student learning and performance: towards smarter conditions. *5th Conference on Smart Learning Ecosystems and Regional Development (SLERD2020)*. University Politehnica of Bucharest (UPB) and ASLERD, Bucharest, Romania.
- Mogas, J., Palau, R., & Holgado, J. (2020). Disseny i construcció de l'aula com a ambient d'aprenentatge mitjançant un món virtual 3D. In R. Roig-Vila (Coord.), J. M. Antolí & R. Díez (Eds.), *XARXES-INNOVAESTIC 2020. Llibre d'actes / REDES-INNOVAESTIC 2020. Libro de actas* (pp. 219-220). Universitat d'Alacant. ISBN: 978-84-09-20651-3. <https://web.ua.es/es/ice/redes-innovaestic2020/documentos/libro-de-actas-2020.pdf>
- Mogas, J., Márquez, M., & Palau, R. (2020). Presente y futuro de las condiciones ambientales en las Smart classroom. In E. López, D. Cobos, L. Molina, A. Jaén, & A. H. Martín (Eds.), *INNOVAGOGÍA 2020. V Congreso Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa. Libro de Actas. 27, 28 y 29 de mayo de 2020* (p. 431). AFOE Formación. ISBN: 978-84-09-03214-3. <https://www.innovagogia.es/innovagogia-2020/>
- Mogas, J. (2020). Comprehensive approach to smart classrooms: from a referent framework of characteristics to a field study on classroom environmental conditions. *VII Seminario Interuniversitario de Investigación en Tecnología Educativa (SiITE)*. Universitat de Lleida, Catalunya.
- Mogas, J., & Holgado, J. (2019). Disseny tecnopedagògic d'una proposta d'aprenentatge experiencial a la ciutat de Tarragona utilitzant realitat augmentada, realitat virtual i podcàsting. *VI Congreso Internacional de Docencia Universitaria (CINDU)*. Universidad de Vigo (UVigo), Espanya.
- Esteve, V., & Mogas, J. (2019). Aprender a evaluar: un estudio de cas d'avaluació 360º. In R. Roig-Vila (Coord.), A. Lledó & J. M. Antolí (Eds.), *XARXES-INNOVAESTIC 2019. Llibre d'actes / REDES-INNOVAESTIC 2019. Libro de actas* (pp. 37-38). Universitat d'Alacant. ISBN: 978-84-09-07185-2. <https://web.ua.es/es/ice/redes-innovaestic2019/documentos/libro-de-actas-2019.pdf>
- Mogas, J., Palau, R., Sanromà, M., & Lázaro, J. L. (2019). Smart classroom, an inclusive space to attend to educational diversity. *III Congreso Internacional SEI2019: Sociedad, Educación e Inclusión*. Universidad de Granada (UGR), Espanya.
- Mogas, J., & Esteve, V. (2019). A gamification experience using a lesson activity in Moodle: the exam as an easter egg. *I Jornada de Innovación Universitaria InnovaUDIMA con Tecnología Educativa (JIUTE)*. Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA), Espanya.
- Mogas, J. (2019). Rethinking learning spaces with educational technology. *VII Jornada d'Investigadors Predoctorals Interdisciplinària (JIPI)*. Universitat de Barcelona (UB), Catalunya.
- Mogas, J. (2019). *Smart classroom*. VI Seminario Interuniversitario de Investigación en Tecnología Educativa (SiITE). Universitat de les Illes Balears (UIB), seu d'Eivissa, Illes Balears.

- Mogas, J., & Palau, R. (2018). Espais intel·ligents d'aprenentatge: Conceptualització d'elements clau per a una aula smart. In X. Carrera, F. Martínez, J. L. Coiduras, E. Brescó, & E. Vaquero (Eds.), *EDUcación con TECnología: un compromiso social. Aproximaciones desde la investigación y la innovación* (pp. 2014-2018). ISBN 978-84-9144-126-7. <http://doi.org/10.21001/edutec.2018>
- Palau, R., Mogas, J., & Domínguez, S. (2018). Creació d'espais d'aprenentatge en un entorn virtual 3D. *Revista del Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació (CIDUI)*, 4. <https://www.raco.cat/index.php/RevistaCIDUI/article/view/349179>
- Mogas, J., & Palau, R. (2018). Entornos virtuales de aprendizaje para el desarrollo de la competencia digital docente. In D. Losada, L. Fernández-Olaskoaga, & J. M. Correa (Eds.), *XXVI Jornadas Universitarias de Tecnología Educativa: La Competencia y Ciudadanía Digital para la Transformación Social / XXVI. Hezkuntza-Teknologia Unibertsitate Jardunaldiak: Konpetentzia eta Hiritartasun Digitala Gizarte Eraldaketarako* (pp. 307-311). Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. ISBN: 978-84-9082-966-0. <https://web-argitalpena.adm.ehu.es/pdf/USPDF189660.pdf>
- Mogas, J. (2018). Simulació d'espais d'aprenentatge al laboratori virtual SIMUL@B. V *Fòrum Internacional d'Educació i Tecnologia (FIETxs2018)*. Blanquerna – Universitat Ramon Llull (URL), Barcelona, Catalunya.
- Palau, R., & Mogas, J. (2019, 15 enero). Hacia una caracterización de los entornos inteligentes de aprendizaje. In A. M. Cruz, A. I. Aguilar, E. Colomo, V. Gabarda, & R. Domínguez (Eds.), *Actas II Congreso Internacional en Tecnologías e Innovación Educativa* (pp. 70-71). Universidad Internacional de Valencia. ISBN 978-84-09-07245-3. <https://www.universidadviu.es/modelo-de-investigacion/>
- Mogas, J. (2018). Autonomía de los estudiantes universitarios en un mundo virtual 3D para el aprendizaje: El caso SIMUL@B. V *Seminario Interuniversitario de Investigación en Tecnología Educativa (SiiTE)*. Universidad de Murcia (UM), Espanya.
- Domínguez, S., & Mogas, J. (2017). Espais virtuals d'aprenentatge. IV *Fòrum Internacional d'Educació i Tecnologia (FIETxs2017)*. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Catalunya.
- Sanromà, M., Domínguez, S., & Mogas, J. (2017). SIMUL@B. V *Jornada d'Investigadors Predoctorals Interdisciplinària (JIPI)*. Universitat de Barcelona (UB), Catalunya. [Pòster].
- Mogas, J. (2017). Self-Regulated Learning of languages and ICT: Profile of EOI students. IV *Seminario Interuniversitario de Investigación en Tecnología Educativa (SiiTE)*. Universitat Rovira i Virgili (URV), Tarragona, Catalunya.

Tesi per compendi de publicacions

L'objectiu del present informe de tesi doctoral és compendiar en un sol document la producció científica més rellevant que el doctorand ha generat al voltant del tema estudiat. En total s'extreu informació de les 12 publicacions que incideixen de forma més treballada en l'abordatge d'aquest tema. Pretesament no es reproduïxen els articles tal com estan publicats, car el lector els podrà consultar a les fonts originals; aquí se'n fa una síntesi succinta amb cohesió discursiva i estructura de memòria de tesi tradicional. A la **taula 1** s'exposa una seqüència lògica (no cronològica) de les publicacions escollides per mor de vertebrar el relat d'aquest treball predoctoral.

Taula 1. Relació estructural dels articles compendiats en aquest informe de tesi doctoral

		<i>Temàtica central</i>	<i>Títol de la publicació</i>
Fonamentació teòrica			
Publicació 1	Palau & Mogas (2019)	Entorns intel·ligents d'aprenentatge i aules intel·ligents: Revisió sistemàtica	Systematic literature review for a characterization of the smart learning environments
Publicació 2	Lorenzo et al. (En premsa)	Indústria 4.0 a les aules intel·ligents	New Objectives for Smart Classrooms from Industry 4.0
Publicació 3	Mogas, Márquez & Palau (En premsa)	Els factors ambientals a les aules intel·ligents	Condiciones ambientales en las aulas inteligentes: Conceptualización y principales necesidades en investigación
Publicació 4	Mogas & Palau (2021)	La il·luminació com a factor ambiental a les aules intel·ligents: Revisió sistemàtica	Classroom lighting and its effect on student learning and performance: Towards smarter conditions
Publicació 5	Mogas, Palau & Márquez (En premsa)	L'acústica com a factor ambiental a les aules intel·ligents: Revisió sistemàtica	How classroom acoustics influence students and teachers: a systematic literature review

Recollida de dades

Publicació 6	Mogas et al. (En revisió, a)	Indústria 4.0 a les aules intel·ligents: Futur als centres educatius de Catalunya (I)	Smart Schools on the way: How school principals from Catalonia approach the future of education within the Fourth Industrial Revolution
Publicació 7	Mogas et al. (2020)	Indústria 4.0 a les aules intel·ligents: Futur als centres educatius de Catalunya (II)	Developments for Smart Classrooms: Schools perspective and needs
Publicació 8	Mogas et al. (En revisió, b)	La il·luminació com a factor ambiental a les aules intel·ligents: Efectes de la CCT sobre diferents processos cognitius dels estudiants	Effects of lighting on student cognitive processes: Proving the need of a dynamic system to regulate the correlated color temperature in smart classrooms
Publicació 9	Mogas, Palau & Márquez (2020)	L'acústica com a factor ambiental a les aules intel·ligents: Autopercepció dels docents sobre contaminació acústica	Acústica del aula: Necesidad de aulas inteligentes para solucionar los efectos de la contaminación sonora sobre el personal docente

Altres implicacions de les aules intel·ligents

Publicació 10	Mogas et al. (2019)	Inclusió a les aules intel·ligents	Smart classroom, an inclusive space to attend to educational diversity
Publicació 11	Cebrián, Palau & Mogas (2020)	Educació per la sostenibilitat a les aules intel·ligents	Smart Classrooms as a means to the development of ESD methodologies
Publicació 12	Mogas, Palau & Holgado (2020)	Món virtual SIMUL@B com a entorn virtual per a dissenyar aules intel·ligents	Uso de un mundo virtual 3D para diseñar y construir aulas como ambientes de aprendizaje: Evaluación desde la perspectiva Smart Classroom

Es pot apreciar que, a banda dels articles publicats, s'hi afegixen manuscrits que han estat acceptats i tenen la publicació garantida, si bé resten a mercè dels temps editorials (en premsa). També s'hi han inclòs dos manuscrits acabats i enviats a revistes, els quals estan en fase de revisió per parells. Aquests darrers, tot i que no es poden demostrar encara aportacions de qualitat mitjançant la consideració positiva en les revistes escollides, han estat redactats durant el període d'elaboració de la tesi i es consideren imprescindibles per poder oferir un recull complet.

Així com la **taula 1** mostra la relació de publicacions agrupades per tipologia, l'obra s'ha conduït seguint el flux argumental que es mostra al diagrama següent (**figura 1**).

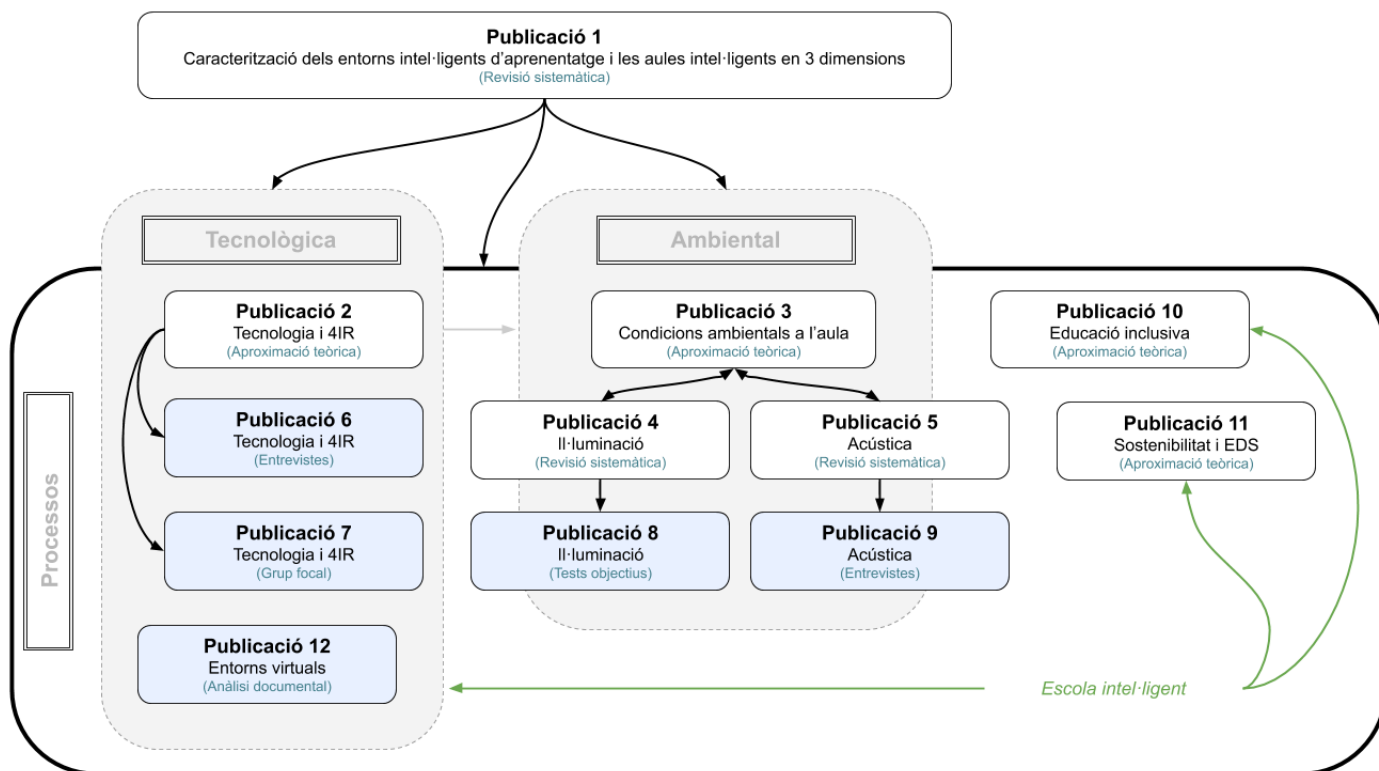


Figura 1. Flux de publicacions d'acord amb la dimensionalitat establerta a la publicació 1

La publicació 1 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 aprofundeix en la fonamentació teòrica i serveix de precedent essencial per recollir dades sobre el tema a les publicacions 6 i 7. La publicació 12 és una implicació addicional relacionada a aquest eix.
- b) Un altre eix es basa en la *dimensió ambiental*, en què la publicació 3 marca des de la reflexió teòrica fonamentada les necessitats d'investigació, les quals es bifurquen:
 - 1) Primer en la recerca sobre il·luminació, amb una fonamentació teòrica exhaustiva a la publicació 4 que serveix de precedent essencial per recollir dades sobre el tema a la publicació 8.
 - 2) Després en la recerca sobre acústica, amb una fonamentació teòrica exhaustiva a la publicació 5 que serveix de precedent essencial per recollir dades sobre el tema a la publicació 9.
- c) El tercer eix és transversal, recull publicacions classificades com a "altres implicacions", les quals tenen una sòlida raó de ser: les publicacions 10 (educació inclusiva) i 11 (sostenibilitat i EDS) 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.

A les pàgines següents s'ofereix una fitxa de cadascuna d'aquestes publicacions incloent el resum original i les paraules clau, una columna de fons blau amb dades complementàries de la corresponent edició (tipus de publicació, data de publicació, factors d'impacte, etc.), i la referència bibliogràfica completa seguint la normativa APA en la setena edició.

Els factors d'impacte considerats són els següents:

JCR	Journal Citation Reports	https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/journal-citation-reports/
SJR	SCImago Journal Rank	https://www.scimagojr.com/journalrank.php
SPI	Scholarly Publishers Indicators	http://ilia.cchs.csic.es/SPI/rankings.html
Carhus+	CARHUS Plus+ 2018	https://boga.agaur.gencat.cat/agaur_boga/AppJava/FlowControl?tipusUsuari=revistes
CIRC	Clasificación Integrada de Revistas Científicas	https://clasificacioncirc.es/

Els dos primers (JCR i SJR) calculen el factor d'impacte en una periodicitat anual, i encara no estan actualitzats a l'any en curs. Això vol dir que en aquests casos no es pot oferir el valor definitiu que li correspondrà a l'any de publicació dels articles en qüestió, i s'han hagut de reflectir les dades corresponents al 2019 amb valor orientatiu.

Mentre JCR, SJR, Carhus+ i CIRC són índexs especialitzats en revistes i publicacions seriades, SPI serveix per a editorials de llibres. En aquest darrer cas, també s'ha identificat si correspon al rànquing d'editorials espanyoles o al d'editorials estrangeres.

A les fitxes, els índexs només es mostren quan la revista o editorial en què s'ha publicat el manuscrit està indexada. En tots els casos s'ha prescindit del valor de l'índex i el que s'indica és el quartil en què se situa.

Systematic literature review for a characterization of the smart learning environments

In the inclusion of technology as a structural element to promote learning we find that, on the one hand, we should not limit it to the use of certain ICT resources to enrich occasionally the teaching in the classroom and, on the other hand, it does not refer to a distinctive model (as it would happen with online training). Smart learning involves the inclusion of technology in any environment in order to promote better and faster learning. Although studies dealing with smart classroom or smart learning spaces are emerging, there is still no specific conceptualization of which elements should be taken into account. The main objective of the present study, therefore, is to determine which are the proper characteristics that we must consider for a correct understanding of smart learning environments. To do so, a systematic review has been used as a technique that allows an approach to the question through a comprehensive review of the scientific corpus. As a result, we obtain a characterization that can be categorized into three differentiated levels depending on the convenience that each of the characteristics is required to define a smart learning environment. Thus, factors such as adaptability and flexibility are considered basic, whereas others such as personalization are merely recommended. In conclusion, we propose a characterization of smart learning environments as a reference framework for an appropriate understanding of the concept, identifying what we must take into account when implementing educational technologies as a structural element to favor learning in different smart environments.

Keywords: Educational environment, Learning environment, Educational Technology.



Tipus de publicació

Capítol de llibre

Editorial

Editorial VIU

ISBN

978-84-09-07242-2

Data de publicació

30 de setembre de 2019

URL

<https://www.universidadviu.es/modelo-de-investigacion>

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). Universitat Internacional de València.

New Objectives for Smart Classrooms from Industry 4.0

This paper provides theoretical reflections and recommendations for implementing smart learning spaces in schools. Learning resource networks are enlarging students' opportunities for exploring alternative formal, non-formal and informal education, in physical and virtual learning spaces, inside and outside traditional classrooms. Smart Pedagogy needs to include a shared conceptual understanding of what is knowledge and what is learning, and a deeper theoretical consideration of how humans learn, how they think, and why they interact. It should offer practical proposals around who should teach in a hybrid human-machine society, for what purpose, and why. Smart classrooms will be made up of several smart learning spaces, eventually driven by some type of artificial intelligence. Such platforms must be ethically developed to offer both personalised self-access, and interconnections that facilitate interaction with other students. Information 4.0 is a communicational framework that provides a useful basis to extend into elements of a holistic smart pedagogy that is a necessary precondition for implementing smart learning spaces.

Keywords: Smart Classroom, Industry 4.0, Transmedia, Connectivity, Project Based Learning, Educational Success, Personal Learning Spaces.



Tipus de publicació

Article de revista

Revista

Technology, Knowledge and Learning

ISSN

2211-1670

Editorial

Springer

Impacte

SJR (Scopus): Q2

CIRC: A

Data de publicació

Acceptat el 18 de setembre de 2020 /
Data prevista de publicació: 2021

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

Condiciones ambientales en las aulas inteligentes: Conceptualización y principales necesidades en investigación

Las aulas son espacios que pueden influir directamente en el rendimiento académico de los estudiantes, y por este motivo están surgiendo iniciativas que proponen su modernización. Sin embargo, la innovación en el espacio físico donde los estudiantes aprenden se basa principalmente en la arquitectura y el rediseño del espacio, ofreciendo aulas más flexibles y dinámicas, pero sin contemplar todas las dimensiones de características que los tiempos actuales permiten. En el contexto actual nace el aula inteligente, que se define a través de tres dimensiones de características: la tecnológica, la de procesos y la ambiental, siendo ésta última la que se ocupa del diseño del espacio así como de las condiciones ambientales (iluminación, acústica, temperatura y calidad del aire). Las condiciones ambientales en el aula se mencionan en diversos estudios, pero todavía se les reconoce un largo recorrido en lo referente a necesidades en investigación para crear sistemas de control y regulación que den respuesta a las posibilidades del aula inteligente. El presente estudio hace una revisión exhaustiva de los factores ambientales que tienen un impacto sobre profesores y alumnos, y a continuación los autores extraen indicaciones sobre las posibilidades en investigación más viables y necesarias. El objetivo es establecer un marco de referencia sobre las condiciones ambientales en el aula inteligente, así como identificar las necesidades a que la comunidad científica debería dar respuesta. Las conclusiones ponen de manifiesto que el aula inteligente es una concepción emergente, con un gran potencial y necesidad en investigación.

Palabras clave: aula inteligente, smart classroom, condiciones ambientales



Tipus de publicació

Capítol de llibre

Editorial

Ed. Octaedro

ISBN

978-84-18348-22-8

Impacte

SPI: Q1 esp.

Data de publicació

Acceptat el 22 d'abril de 2020 / Data prevista de publicació: 2020

Mogas, J., Márquez, M., & Palau, R. (En premsa). 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. Ediciones Octaedro.

Classroom lighting and its effect on student learning and performance: Towards smarter conditions

The main objective of this study was to determine which lighting factors intervene in the learning processes taking place in a physical classroom, in regard to smart classroom conditioning. It was performed by means of a systematic literature review. Two research questions were posed: What aspects of classroom lighting have studies focused on? And how factors of classroom lighting influence learning processes? From a sample of 130 papers chosen, we identified seven aspects of classroom lighting. One of the aspects is “cognitive processes”, treated in eighteen of the papers. Classroom lighting does affect cognition, and it is proven in terms of academic achievement, attention rates, working speed, productivity and accuracy among other reported effects. LED lighting appears to be the most suitable to improve psychological and cognitive processes in the classroom. Particular importance is given to using higher correlated colour temperature (CCT) and the balance between daylight and artificial light. From the results, it is clearly stated that a dynamic lighting is necessary to host different activities in classroom. Research is now focusing on automation of a dynamic lighting system as the first step towards smart classroom lighting.

Keywords: lighting, educational lighting, cognitive processes, classroom design, smart classroom.



Tipus de publicació

Proceedings

Col·lecció seriada

Smart Innovation, Systems and Technologies

Editorial

Springer

ISBN i ISSN

978-981-15-7382-8
2190-3018

Impacte

SPI: Q1 Intl.
SJR (Scopus): Q3
CIRC: C

Data de publicació

10 de setembre de 2020

URL

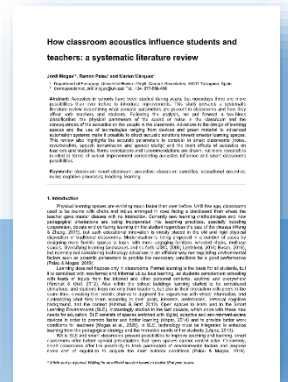
https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-15-7383-5_1

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. http://doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5_1

How classroom acoustics influence students and teachers: A systematic literature review

Acoustics in schools have been studied during years, but nowadays there are more possibilities than ever before to introduce improvements. This study presents a systematic literature review determining what acoustic parameters are present in classrooms and how they affect both teachers and students. Following the analysis, we put forward a two-block classification: the physical parameters of the sound or noise in the classroom and the consequences of the acoustics on the people in the classroom. Advances in the design of learning spaces and the use of technologies ranging from devices and green material to advanced automation systems make it possible to direct acoustic solutions toward smarter learning spaces. This review also highlights the acoustic parameters to consider in smart classrooms (noise, reverberation, speech transmission and speech clarity) and the main effects of acoustics on teachers and students. Some conclusions and recommendations are drawn, but more research is needed in terms of school improvement considering acoustics influence and smart classrooms possibilities.

Keywords: classroom, smart classroom, acoustics, classroom acoustics, educational acoustics, noise



Tipus de publicació

Article de revista

Revista

Journal of Technology and Science Education

ISSN

2013-6374

Editorial

OmniaScience

Impacte

SJR (Scopus): Q3

CIRC: B

Data de publicació

Acceptat el 27 d'octubre de 2020 / Data prevista de publicació: Març de 2021

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*.

Smart Schools on the way: How school principals from Catalonia approach the future of education within the Fourth Industrial Revolution

The advent of the Fourth Industrial Revolution is introducing developments in Artificial Intelligence, Internet of Things and other technologies in different sectors of our society, including education. This reality leads to a paradigm shift where web-based cyber-physical environments will shape future learning environments. Thus learning becomes ubiquitous and schools assume new roles with systemic changes in communication, administration and management, becoming learning organisations. The use of technologies aligned with pedagogical strategies and new methodologies must lead to more personalised systems. In this work, a comprehensive definition of smart schools is proposed: The smart school must be endowed with integral management systems, inclusive and sustainable, aiming at hosting smart education by adopting new learning methodologies and advances from Industry 4.0 in an efficient way. Despite this conception, several research, government policies and business projects evidence that developments are not always in line with research, so there is a need for deeper knowledge on how schools are approaching their upcoming transformation. To give light to this purpose, in this study 37 principals from Primary and Secondary schools in Catalonia were interviewed. Results were analysed through a thematic analysis considering technological and pedagogical innovations, management systems, inclusion and sustainability. Some analogies are found with related researches, pointing out that schools are far from implementing advanced technologies. Inclusion is the most respected element thanks to the existing government regulation. Sustainability is hardly considered due to the lack of economic resources, but several schools consider themselves green schools and show environmental practices. Conclusions are drawn showing that although schools are not yet prepared to cope with the Fourth Industrial Revolution, its impact will arrive and relies on the technology level of maturity, ease of use, and stakeholders as policy makers.

Keywords: smart classroom; smart school; learning environment; industry 4.0; fourth industrial revolution



Tipus de publicació
Article de revista

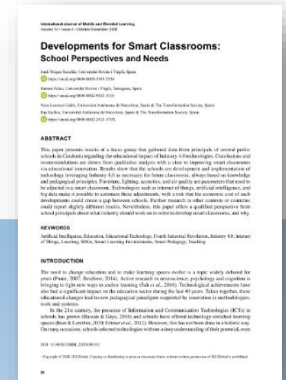
Data de publicació
Enviat. En revisió.

Mogas, J., Palau, R., Fuentes, M., & Cebrián, G. (En revisió). Smart Schools on the way: How school principals from Catalonia approach the future of education within the Fourth Industrial Revolution.

Developments for Smart Classrooms: Schools Perspective and Needs

This paper presents results of a focus group that gathered data from principals of several public schools in Catalonia, regarding the educational impact of Industry 4.0 technologies. Conclusions and recommendations are drawn from qualitative analysis with a view to improving smart classrooms via educational innovation. Results show that the schools see development and implementation of technology leveraging Industry 4.0 as necessary for future classrooms, always based on knowledge and pedagogical principles. Furniture, lighting, acoustics and air quality are parameters that need to be adjusted in a smart classroom. Technologies such as Internet of Things, artificial intelligence and big data make it possible to automate these adjustments, with a risk that the economic cost of such developments could create a gap between schools. Further research in other contexts or countries could report slightly different results. Nevertheless, this paper offers a qualified perspective from school principals about what industry should work on in order to develop smart classrooms, and why.

Keywords: Smart Learning Environments, Classroom, Smart Classroom, Industry 4.0, School Needs



Tipus de publicació

Article de revista

Revista

International Journal of Mobile and Blended Learning

ISSN

1941-8655

Impacte

SJR (Scopus): Q2

CIRC: B

Data de publicació

1 d'octubre de 2020

URL

<https://www.igi-global.com/gateway/article/263751>

Mogas, J., Palau, R., Lorenzo, N., & Gallon, R. (2020). Developments for Smart Classrooms: Schools Perspective and Needs. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 12(4), 34-50. <http://doi.org/10.4018/IJMBL.2020100103>

Effects of lighting on student cognitive processes: Proving the need of a dynamic system to regulate the correlated color temperature in smart classrooms

The design of learning spaces is acquiring increasing relevance from different agents of the educational community and others like architects and technologists. As environments in which learning occurs, there is need to understand all processes being hosted and how these influence on teaching and learning. The environmental conditions are conditionings to regulate within classrooms and lighting stands out, mainly due to the identified need to create adaptive systems to regulate the correlated color temperature (CCT): whether the classroom lighting should be warmer or colder, when and why. Previous research stands that such a dynamic system is convenient to improve students' performance and provide better results in terms of academic success, concentration, motivation, commitment, pleasantness or visual comfort, speed of work, productivity, and accuracy. Even though, there is lack of studies deepening on the understanding of when it becomes necessary to use a lower CCT. Thus, this study aimed at determining the effect of CCT by comparing two opposite cognitive processes: concentration, using the d2 test of attention, and divergent thinking, using a figural test of Torrance (TTCT). A counterbalanced crossover-design was designed to test under different lighting conditions which was the effect of CCT on students' performance. The experiments took place in Flanders, Belgium, with first year Bachelors' students. Results confirmed partially the initial hypothesis, as cold lighting did not appear determinant for attention, but warm lighting resulted to be statistically significant to explain its effect on students' creativity. Results are meaningful yet further research should be performed to gain complete.

Keywords: *lighting, classroom lighting, educational settings, smart classroom, smart learning environments, concentration, creativity.*



Tipus de publicació

Article de revista

Data de publicació

Enviat. En revisió.

Mogas, J., Palau, R., Depaepe, F., Vanneste, P., & Said-Metwaly, S. (En revisió). Effects of lighting on student cognitive processes: Proving the need of a dynamic system to regulate the correlated color temperature in smart classrooms.

Acústica del aula: Necesidad de aulas inteligentes para solucionar los efectos de la contaminación sonora sobre el personal docente

La acústica del aula es un factor que puede afectar negativamente la práctica docente y conllevar problemas de salud (afonías, estrés, malestar). Este trabajo presenta los resultados de veinte entrevistas a docentes de educación primaria, secundaria y Bachillerato con los objetivos de analizar cómo les afecta la acústica del aula, qué estrategias usan para combatir el ruido de actividad, e identificar los elementos mejorables en el diseño de las aulas. Los resultados de corte cualitativa confirman que existen problemas derivados de la mala acústica de las aulas, así como de situaciones concretas. También se aprecia que las estrategias usadas para combatir el ruido son subjetivas y dispares. Se concluye que la acústica de las aulas es un problema que se debe abordar con mayor atención, especialmente en lo que refiere al diseño para poder facilitar unas condiciones de trabajo más apropiadas al personal docente. Se propone avanzar en la línea de aulas inteligentes para solucionar los problemas identificados.

Palabras clave: acústica, contaminación sonora, ambiente educacional, aula, aula inteligente



Tipus de publicació

Capítol de llibre

Editorial

UMA Editorial

Impacte

SPI: Q4 (general)

ISBN

978-84-1335-063-9

Data de publicació

13 de novembre de 2020

URL

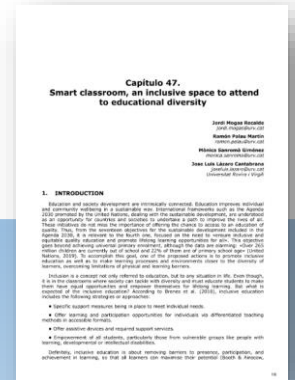
<https://hdl.handle.net/10630/20345>

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 (Coords.), *Tecnologías educativas y estrategias didácticas* (pp. 723-732). UMA editorial. <https://hdl.handle.net/10630/20345>

Smart classroom, an inclusive space to attend to educational diversity

Inclusion must be considered into the classrooms in order not to discriminate anyone and to offer the same opportunities to all students. People in current society are more and more conscious about the educational diversity and the necessity to address the needs of every individual, with disabilities or not. In this sense, smart classrooms appear as a solution to tackle with the situation. Smart classrooms are spaces provided with digital devices that promote a better and faster learning thanks to characteristics such as customisation and personalisation of the learning. All types of barriers must be overcome as well. In this work, a characterisation of how smart classrooms are seen as inclusive spaces to attend educational diversity is presented. The method to explain these characteristics is based in a previous systematic literature review, here actualised focusing on how the retrieved categories and characteristics actually promote inclusion. As a result, it is discussed that a good design of a smart classroom, combining the three studied dimensions (educational technology, ambient conditions and performed processes), can be understood as an efficient inclusive classroom. Thus, it is concluded that smart learning environments and particularly smart classrooms are inclusive and can attend educational diversity. However, further research is needed, especially empirical research to contrast in different contexts the impact of the smart classrooms coping with special needs.

Keywords: smart learning environments, smart classroom, inclusion, educational diversity



Tipus de publicació

Capítol de llibre

Editorial

Wolters Kluwer

ISBN

978-84-120181-3-4

Impacte

SPI: Q1 Intl.

Data de publicació

25 d'abril de 2019

URL

<https://tienda.wolterskluwer.es/p/inclusion-y-diversidad-intervenciones-socioeducativas>

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 (Coords.), *Inclusión y Diversidad: intervenciones socioeducativas*. Wolters Kluwer.

The Smart Classroom as a means to the development of ESD methodologies

Educational institutions are envisioned as principal agents for addressing the current sustainability challenge that society is facing. Education for Sustainable Development (ESD) is transformational and concerns learning content and outcomes, pedagogy and the learning environment in itself. ESD entails rethinking the learning environment (physical and virtual) in line with sustainable development, which implies classrooms' transformation towards learner engagement, formative assessments and active methodologies. This paper responds to this need through exploring the relationship between Smart Classrooms and four widely used ESD methodologies (project or problem-based learning, case study, simulation and cooperative inquiry), identifying how the dimensions and categories of the characteristics of Smart Classrooms can contribute and lead to the implementation of ESD methodologies in real teaching practice in an effective way. The method used in this study consisted of a literature review of both theoretical frameworks separately, ESD and Smart Classrooms, and a subsequent expert analysis to identify the interrelation between both. The Smart Classroom shows a high level of adequacy for using problem and project-based learning, case study and cooperative inquiry methods because of its characteristics in terms of technology developments, environmental conditions and processes. Simulation is the ESD methodology with the lowest level of adequacy in a Smart Classroom, because it is primarily held online rather than through face-to-face teaching. Smart Education facilitates the putting in practice of ESD processes as it enables the creation of intelligent, sustainable, resource-efficient, personalised and adaptive learning environments. Further empirical research is needed to explore the influence that the Smart Classroom has in enabling ESD processes and practices, and to identify students' and teachers' needs at different education levels. Additionally, teacher training programmes focused on the correct use of Smart Classrooms and on the digital competence of teachers are critical to its successful implementation.

Keywords: smart classroom; smart education; education for sustainable development; teaching and learning methods; competencies; sustainability; learning environments



Tipus de publicació

Article de revista

Revista

Sustainability

Editorial

MDPI

ISSN

2071-1050

Impacte

JCR: Q2

SJR (Scopus): Q2

CIRC: A

Data de publicació

9 d'abril de 2020

URL

<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/3010>

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>

Uso de un mundo virtual 3D para diseñar y construir aulas como ambientes de aprendizaje: Evaluación desde la perspectiva Smart Classroom

En el presente trabajo se estudia la creación de ambientes de aprendizaje en un mundo virtual 3D, dentro del proyecto SIMUL@B. Esta investigación parte los objetivos de valorar el potencial de los mundos virtuales en entornos 3D como laboratorios para el diseño y construcción de ambientes de aprendizaje, y evaluar cómo las propuestas hechas por los grupos de alumnos están alineadas a los principios de smart classroom. Las aulas analizadas fueron diseñadas y construidas por 73 estudiantes de magisterio de tres universidades, agrupados en 29 grupos. Se recogieron datos a través de diarios de campo, donde los alumnos reflexionaron sobre su implicación y valoraron la creación de sus ambientes de aprendizaje, así como de las video-presentaciones creadas por parte de cada grupo como recurso audiovisual para mostrar y justificar las decisiones tomadas en el diseño y construcción de aulas. Los resultados muestran que los mundos virtuales pueden cumplir las tres dimensiones que caracterizan las smart classrooms (tecnológica, ambiental y de procesos), aunque se señalan algunas limitaciones en cada una de ellas. Se concluye que este entorno virtual 3D es un recurso apropiado para trabajar de forma colaborativa el diseño de ambientes de aprendizaje y aulas smart.

Palabras clave: ambientes de aprendizaje, mundo virtual, entorno 3D, smart classroom, aula inteligente



Tipus de publicació

Capítol de llibre

Editorial

Ed. Octaedro

ISBN

978-84-18348-11-2

Impacte

SPI: Q1

Data de publicació

30 d'octubre de 2020

URL

<https://web.ua.es/es/ice/redes-innovaestic2020/publicaciones.html>

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. 763-772). Ediciones Octaedro.

SECCIÓ PRIMERA

Marc teóricoconceptual

Introducció

La necessitat de canviar l'educació i fer evolucionar els espais d'aprenentatge ha estat un tema molt debatut durant anys (Beichner, 2014; Punie, 2007). De fet, els espais d'aprenentatge estan adquirint cada cop una rellevància més destacada com a agents que influeixen en els processos cognitius dels estudiants. L'arquitectura dels centres educatius, entesa en totes les seves dimensions, representa un paper clau en l'aprenentatge. En aquesta línia, diversos informes suggereixen que els entorns d'aprenentatge no són simplement un espai físic, sinó que es poden considerar llocs on es genera la interacció entre usuaris que condueix a l'aprenentatge (JISC, 2006; Mattila & Silander, 2015).

En conseqüència, els espais d'aprenentatge s'estan transformant amb diverses iniciatives innovadores. En aquests nous espais es pretén fer els processos d'aprenentatge més efectius, eficients o agradables (Goodyear & Retalis, 2010), i es pot aconseguir amb l'ajut de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC). A més, la idea d'un aprenentatge ubic amplia la concepció d'aprenentatge permetent a les persones aprendre des de qualsevol lloc i en qualsevol moment (Kinshuk & Graf, 2012). Tot i que les escoles i els centres educatius continuen sent la referència per a l'aprenentatge formal, en general s'accepta que aquests ja no són l'únic lloc per aprendre, ja que els estudiants se serveixen en el seu enriquiment cognitiu de qualsevol tipus de situació i espai no formal o informal gràcies a l'ús de les TIC. Justament per aquest motiu, les aules adquireixen encara més rellevància: han de superar el repte d'esdevenir el vector de referència de l'aprenentatge en un sistema globalitzat, i ho han de fer adaptant-se als requisits de la societat actual.

L'OCDE (2017b) va establir els principis per a entorns d'aprenentatge innovadors i va defensar la necessitat de considerar el concepte *entorns d'aprenentatge* en lloc d'*escoles* o *aules*, reforçant el focus en l'organització de l'aprenentatge. Segons aquesta comprensió dels espais d'aprenentatge, cal considerar de forma general la seva concepció, no només limitant-la a la institució i als llocs físics on formalment s'aprèn. Les escoles han d'esdevenir "organitzacions d'aprenentatge" per ser innovadores, tal com ja han defensat diversos acadèmics, educadors i responsables polítics (OCDE, 2017a); han de liderar els processos d'innovació convertint-se en agents clau en els processos de presa de decisions (OCDE, 2017b). En aquest context, el lideratge educatiu és clau per canviar la cultura existent de les organitzacions educatives (Bryk et al., 2009; Gu & Johansson, 2013; ten Bruggencate et al., 2012), i transgredir vells esquemes per afavorir la democratització de l'aprenentatge.

Així, la implementació de les TIC a l'educació satisfà, més enllà de la dotació en infraestructures tecnològiques, l'ús de tots els recursos virtuals i tecnològics amb finalitats acadèmiques i socials per a la generació i transferència de coneixement amb l'alumne com a centre (Rugeles et al., 2015). Amb aquestes tecnologies, memoritzar els continguts adquirits a les classes magistrals pertany al passat de l'educació, mentre que actualment els estudiants ocupen un lloc central amb un paper actiu, col·laboratiu i d'aprenentatge permanent (Pérez-Mateo & Guitert, 2005). Això és tan rellevant que totes les teories de l'aprenentatge estan vinculades a les TIC (Cabero & Llorente, 2015).

Entès en el seu conjunt i des de la tecnificació més avançada, 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 molt més profunda entre els alumnes o entre els alumnes i el professorat, amb independència del lloc físic on es trobin. A més a més, guanya terreny el potencial de la intel·ligència artificial i internet de les coses, reforçant amb un avenç sense precedents la interacció persona-ordinador. 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, ja que tota proposta pretén donar resposta a noves necessitats reconegudes en l'educació del segle XXI, en el perfil d'estudiants actual.

Els entorns intel·ligents d'aprenentatge són una concepció prou àmplia i complexa. En aquest treball hi farem referència sovint, però aprofundirem en la definició agafant com a centre d'interès l'escola i l'aula. La raó és que les aules són el principal espai d'aprenentatge i cal analitzar-les com a unitat d'acció, sempre compreses en la seva extensió superior i ajudades per serveis que ajuden a crear un ecosistema intel·ligent (**figura 2**). Al cap i a la fi, els SLE se serveixen d'escoles intel·ligents, i les escoles com a organitzacions d'aprenentatge comencen per oferir aules eficients.

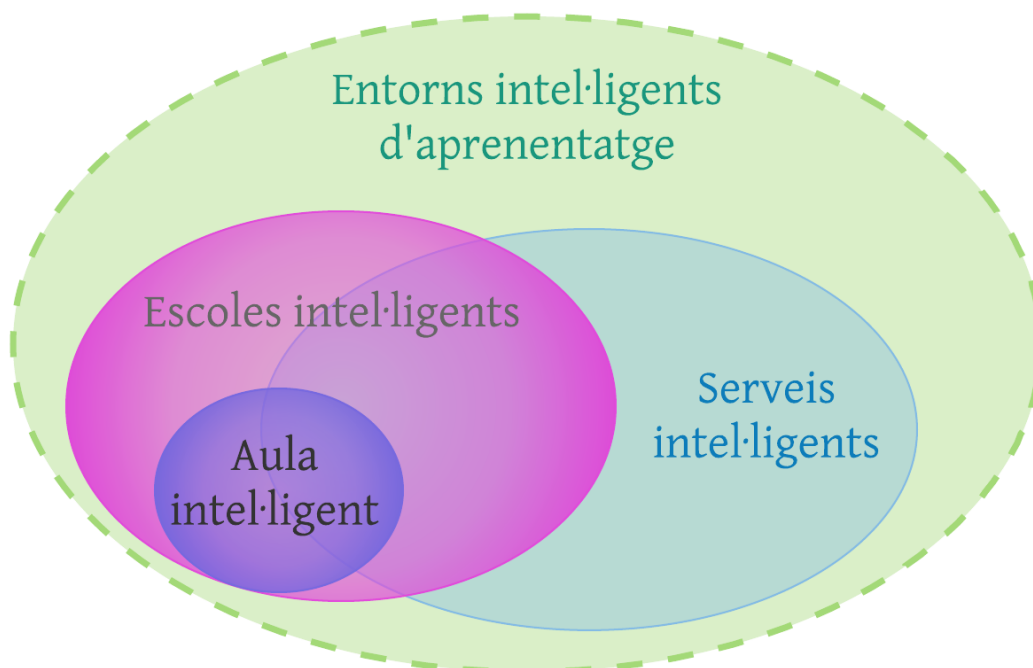


Figura 2. Concreció d'entorns intel·ligents d'aprenentatge a aules intel·ligents

Problema de recerca

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 (S. Wang & Zhang, 2019), però aquesta innovació educativa se situa sobretot a l'antiga i rígida disposició física de les aules tradicionals. La modernització es proposa en diversos casos mitjançant el disseny d'espais més flexibles per aprendre, amb mobles més atractius, cadires amb rodes, espais multiusos, diversificació d'espais, aules obertes, etc. (Bosch, 2018; JISC, 2006; Lehtniemi, 2016). Sense canvis de fons, però.

Una altra manera habitual 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 tenen en compte el benestar dels estudiants (físic, emocional, social, intel·lectual), que és vital, ja que millora el seu rendiment acadèmic (Darling-Hammond et al., 2019; JISC, 2019).

Al mateix temps que encara ens enfrontem a algunes qüestions que daten del començament de l'era de la informació, ja hem entrat a la 4IR. La Indústria 4.0, que forma part de la 4IR, també aporta a l'educació intel·ligència artificial, robòtica, internet de les coses i altres possibilitats (Zhong et al., 2017). 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.

Un dels temes més populars sobre l'impacte de la indústria 4.0 en l'educació és l'aparició de les aules intel·ligents. El concepte "intel·ligent" a les aules requereix idealment una comprensió profunda i completa de com incloure les noves tecnologies a l'aula per millorar els processos d'ensenyament i aprenentatge. Les aules intel·ligents integren dispositius mòbils i portables, tecnologies de seguiment, i molts altres avenços que permeten fer un salt qualitatiu en els serveis oferts. A més a més — insistim — els darrers avenços de la Indústria 4.0 com la intel·ligència artificial o internet de les coses (Shahroom & Hussin, 2018) permeten explorar nous horitzons.

Aquest treball va néixer amb l'objectiu de descriure les aules intel·ligents analitzant-ne els elements diferenciadors, les dimensions i les interrelacions, per tal de comprendre quines són les tendències que poden proporcionar millores en els processos d'ensenyament-aprenentatge dels estudiants del segle XXI. Arran de les primeres investigacions dutes a terme es va constatar que les condicions ambientals de l'aula són una dimensió decisiva, ja que tenen un impacte en el rendiment dels estudiants, però també es va posar en relleu que existeix poca recerca que explori en profunditat aquests efectes. Per aquest motiu, el treball aquí presentat s'enfoca a descriure les aules intel·ligents i els factors ambientals com a dimensió poc investigada.

Estructura d'aquest treball

La secció preliminar d'aquest treball presenta la producció científica del doctorand i les 12 publicacions que s'han compendiat.

La secció primera serveix de marc teòric i conceptual. Després de la introducció, s'ofereix un capítol en què es vol mostrar 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.

Capítol 1. La Quarta Revolució Industrial com a nou paradigma d'innovació tecnològica en contextos educatius

Aquest capítol adapta informació parcial de la Publicació 2, Publicació 6 i Publicació 7

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 conceptuals a què totes les indústries es veuran forçades a adaptar-se. En aquest context, el sistema educatiu ha de conciliar la necessitat de desenvolupar escoles interconnectades, 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).

Les necessitats pedagògiques i la innovació tecnològica són dos elements cabdals en la comprensió del sistema educatiu dels anys venidors. En aquest capítol es vol fer una aproximació que serveixi per reconèixer la relació entre els avenços tecnològics i científics i les necessitats d'una base pedagògica per portar la innovació a l'aula mitjançant la tecnologia educativa. Es revisen, doncs, els principals conceptes teòrics que sustenten el context socioeconòmic de la Indústria 4.0 i es justifica com a nou paradigma d'innovació tecnològica en contextos educatius.

1.1. L'avenç social de la humanitat i l'educació actual

Quan els humans eren caçadors i recol·lectors, l'èxit educatiu era fàcil d'identificar amb indicadors relacionats amb la supervivència a llarg termini; si els joves aprenien prou ràpidament, sobreviuen; si no, fracassaven. A mesura que les cultures i les civilitzacions es van convertir en comunitats interdependents més complexes, l'educació de les generacions joves es va institucionalitzar com a part de la col·laboració social i el suport mutu. L'èxit educatiu es definia sovint com l'adquisició de coneixements necessaris per unir-se a les reunions col·lectives d'adults i el domini de les habilitats vitals necessàries per a la participació social, a fi d'ocupar el seu lloc com a adults en una posició determinada.

Als entorns urbans medievals, els artesans experts i altres comunitats professionalitzades tenien la responsabilitat de formar les noves generacions, mentre que els gremis asseguraven que els nous treballadors poguessin adquirir el domini i l'expertesa suficients, mitjançant l'ensenyament i l'aprenentatge de continguts, estratègies, processos i espais regulats. L'objectiu principal era garantir la continuïtat cultural i l'estabilitat socioeconòmica al màxim temps possible, però l'èxit educatiu es va definir socialment com l'adquisició de domini i experiència. Amb l'arribada de l'escolarització pública, l'èxit educatiu implicava assolir la formació suficient per participar en l'economia industrial, i això normalment significava memorització i repetició de coneixements proporcionats pels professors, és a dir, èxit en la realització d'exàmens, reproducció de documents i memorització de dates, autors i esdeveniments (Gray, 2018).

Més recentment tendim a definir l'èxit educatiu no només com un assoliment individual, sinó com la capacitat de l'alumne per actuar i interactuar amb els altres en situacions complexes, centrant més atenció en les competències que els estudiants poden demostrar haver adquirit o dominar. L'aprenentatge basat en competències es defineix comunament com la capacitat de conèixer, fer, estar amb un mateix i estar amb els altres (Delors et al., 1996), i està orientat a l'acció per al benestar personal i el benestar de la comunitat (Marope et al., 2018).

L'aparició dels mitjans tecnològics ha creat una autèntica revolució en la comunicació mundial i ha afavorit el desenvolupament cultural. Aquesta democratització de la comunicació ha promogut que les societats topin amb noves necessitats educatives, i és sabut que les experiències d'aprenentatge ja s'estan duent a terme fora de les aules tradicionals, sovint en espais digitalitzats que normalment s'anomenen entorns intel·ligents d'aprenentatge (Chang & Li, 2015). Es tracta de formes d'aprenentatge ubic que tenen en compte el context i utilitzen tecnologies capaces d'assessorar els aprenents en el món real amb accés als recursos del món digital (International Association of Smart Learning Environments, 2020). Les xarxes de recursos d'aprenentatge fan augmentar les oportunitats dels estudiants per explorar l'educació formal, no formal i informal alternativa, en espais d'aprenentatge físic i virtual. Per tal d'entendre millor les noves necessitats educatives, els investigadors es replantegen els conceptes teòrics educatius i les pràctiques docents que defineixen la pedagogia tradicional (Ellis et al., 1991).

A hores d'ara, en un món dominat per la tecnologia digital, els objectes connectats amb control de la intel·ligència artificial realitzaran moltes activitats dutes a terme per humans, i sens dubte caldrà als estudiants adquireixin noves competències, tant per al benefici personal com per a la millora col·lectiva. Els estudiants necessitaran habilitats digitals àmpliament desenvolupades i competències

globals per assolir la majoria dels Objectius de Desenvolupament Sostenible de les Nacions Unides (ODS) per transformar el món (United Nations, 2015).

La noció de competència, en un món digital, s'ha ampliat per incloure no només resultats d'aprenentatge mesurables, sinó també competències transversals determinades qualitativament, com ara la gestió de relacions i la intel·ligència emocional. En el seu marc per a habilitats del segle XXI, el P21 Partnership proposa "quatre C's": la col·laboració, el pensament crític, la creativitat i la comunicació com a habilitats essencials (Partnership for 21st Century Skills, 2009). Al seu marc de competència global PISA, l'OCDE (2018) va definir la competència global com:

The capacity to examine local, global and intercultural issues, to understand and appreciate the perspectives and world views of others, to engage in open, appropriate and effective interactions with people from different cultures, and to act for collective well-being and sustainable development. (p. 7)

Les habilitats digitals ja són transversals en qualsevol competència instrumental i relacional, i la seva manca podria modelar el fracàs educatiu a la societat, creant buits socials, desigualtats d'aprenentatge i accés restringit a les fonts de coneixement. Els sistemes educatius haurien d'estar preparats per proporcionar connectivitat a totes les escoles i facilitar l'educació digital a tot el professorat. Aquestes són eines i estratègies essencials per a implantar projectes d'aprenentatge global connectant estudiants amb altres estudiants, amb altres escoles i amb altres comunitats, i garantir el desenvolupament de competències, una educació reeixida i la justícia social en una cultura digital global (OCDE, 2018).

En aquest context també cal una educació que ofereixi propostes pràctiques sobre qui hauria d'ensenyar en una societat híbrida persona-màquina; per a què i per què l'ensenyament i l'aprenentatge són rellevants en aquests nous contextos hiperconnectats? I on, com i quan s'hauria de reconèixer i certificar institucionalment l'educació ara que l'aprenentatge és ubic (Beetham & Sharpe, 2013). Afegint un enfocament més modern que se centra en la manera com les tecnologies d'aprenentatge configuraran l'educació actual per crear un futur millor per als éssers humans (Illeris, 2009), l'educació intel·ligent també hauria de posar l'èmfasi en el propòsit de l'educació en els sistemes educatius contemporanis i hauria de reflectir aspectes sociopolítics que connecten les polítiques educatives i els mercats laborals. Explorar com les noves tecnologies poden perfilar tant la comprensió conceptual com la pràctica docent general per millorar l'èxit educatiu, l'ocupabilitat, la realització personal, la inclusió social i la sostenibilitat, ens ajudarà a determinar les innovacions tecnològiques que són realment necessàries perquè les aules intel·ligents donin suport a les necessitats i perspectives de les escoles.

La consideració de tots aquests factors que configuren l'ensenyament i l'aprenentatge ens ajudarà a desenvolupar una idea més clara del tipus d'espais físics que necessitem i dels recursos que hem de proporcionar per construir escoles intel·ligents amb aules intel·ligents eficients que tinguin un impacte positiu, que combinin espais d'aprenentatge personal i col·lectius, oportunitats d'interacció. Aquests seran els ecosistemes en què es produiran experiències d'aprenentatge individuals i interaccions d'aprenentatge col·lectiu, connectades en xarxes de dispositius, comunitats, interessos i intencions. La comprensió de la potencialitat de les tecnologies de la 4IR en educació i la seva adopció conscient i estratègica seran clau per a la modernització.

1.2. Adveniment de la Quarta Revolució Industrial (4IR)

Al llarg dels darrers temps s'han succeït fins a quatre revolucions industrials que han afegit avenços tecnològics, tal com s'il·lustra a la **figura 3**. La Primera Revolució Industrial va tenir lloc entre el segle XVIII i principis del XIX, quan les tecnologies de producció de ferro colat, màquines de vapor i avenços en la indústria tèxtil i l'energia hidràulica van introduir canvis substancials en la vida de les persones. La Segona Revolució Industrial es va originar a principis del segle XX, en un ràpid període d'industrialització amb un desenvolupament rellevant de motors de combustió interna i electricitat que va permetre la producció en massa i la millora en l'eficiència industrial amb línies de muntatge i introducció de maquinària individual. La mobilitat i la productivitat van ser excel·lents en aquesta època, també coneguda com a Revolució Tecnològica. La Tercera Revolució Industrial arriba als anys vuitanta, amb la difusió de dispositius electrònics com els ordinadors personals i la popularització de les telecomunicacions i la informàtica. Els avenços en computació, a més, van anar acompanyats d'automatitzacions que encara milloraven els sistemes de producció. Amb aquests precedents, a hores d'ara els avenços tecnològics no només es milloren, sinó que el món s'ha interconnectat i els nous escenaris de possibilitats estan reformulant el futur (i el present) mitjançant sistemes ciberfísics que es presenten com la 4IR.

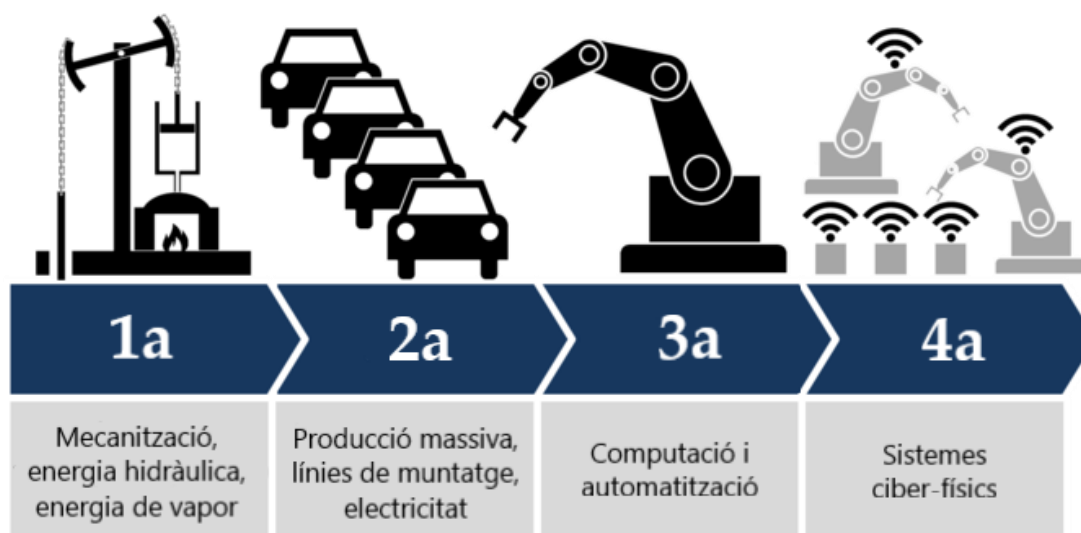


Figura 3. Progrés al llarg de les quatre revolucions industrials
(Imatge CC BY-SA 4.0, traduïda de Christoph Roser, AllAboutLean.com)

L'expressió Quarta Revolució Industrial, o 4IR, va ser encunyada el 2015 per Klaus Schwab (Schwab, 2015), fundador i president executiu del Fòrum Econòmic Mundial. Els especialistes esmenten nombrosos conceptes subjacents a la 4IR: tecnologies implantables, internet usable, informàtica ubíqua, internet de les coses (conegut com a IdC, o IoT, de l'anglès *Internet of Things*), dades massives (*big data*), cotxes autònoms, intel·ligència artificial (IA, *Artificial Intelligence*), robòtica, cadena de blocs (*blockchain*), nanotecnologia, impressió 3D o fabricació additiva, cases connectades mitjançant la domòtica (Schwab, 2017), realitat virtual i realitat augmentada, ludificació, seguiment de la mirada (*eye tracking*) (Rodal, 2020), robotrònics, sistemes de producció totalment automatitzats que utilitzen infraestructures amb internet d'alta velocitat i equips robotitzats (Popkova et al., 2019), i també aprenentatge automàtic industrial (Vermeulen, 2020), entre d'altres.

Per respondre a aquesta diversitat, Nosalska et al. (2019) van presentar una llista de 30 elements tecnològics clau utilitzats a la Indústria 4.0 que es van classificar en set categories: sistemes mecatrònics i disseny i implementació d'automatismes, qüestions relacionades amb tecnologia educativa i el programari, ciència de dades i processament de dades, noves tecnologies de fabricació, xarxes i connectivitat, robots i serveis, i gestió de sistemes. En qualsevol cas, hi ha un tret diferencial d'aquest nou paradigma que acostuma a ser acceptat per tots els autors, i és que la 4IR inclou el pas cap als sistemes interconnectats ciberfísics (Ng, 2020; Zhong et al., 2017), mitjançant l'ús, sobretot, de dades massives, internet de les coses i intel·ligència artificial.

El terme Indústria 4.0 s'utilitza sovint com a sinònim de 4IR (Nosalska et al., 2019; Pouspourika, 2019). Va ser encunyat pel Govern alemany per definir la xarxa intel·ligent de màquines i processos per a la indústria amb l'ajut de les TIC (German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy & German Federal Ministry of Education and Research, 2020). Aquestes millores van molt més enllà de la indústria tradicional, però, i afecten altres camps com la medicina i la salut, la biologia, les estructures civils, els vehicles autònoms i la distribució d'energia (Ng, 2020). Existeix amb un abast més ampli (mons físics, digitals i biològics), que afecta diverses disciplines, economies, indústries i governs (Schwab, 2017). En aquesta tesi s'entén la Indústria 4.0 com totes aquestes possibilitats tecnològiques —de les adés esmentades— que es poden implementar en el món educatiu, en el context de la 4IR.

Els països desenvolupats tenen tecnologia, eines i recursos per a la 4IR, però no és clar com s'introduiran aquests avenços en diversos sectors. Schwab (2017) es va mostrar escèptic recentment i va afirmar que “els qui prenen decisions són massa sovint atrapats en un pensament tradicional, lineal (i no disruptiu) o massa absorbits per preocupacions immediates per pensar estratègicament sobre les forces de la disrupció i la innovació que configuren el nostre futur”.

Per donar llum a aquesta preocupació, el World Economic Forum (2019) va publicar un informe que mostra les empreses amb iniciatives de la 4IR en els seus processos de fabricació amb resultats significatius. Es van identificar algunes fàbriques i es van anomenar “fars” (*lighthouses*), ja que són “veritables llums rectors en el context de la Quarta Revolució Industrial”. A part d'aquests pocs exemples d'èxit reportats, una bona comprensió de les possibilitats reals de la Indústria 4.0 en diversos sectors (no només en la fabricació o manufactura) és vital per garantir el màxim benefici i impacte en la societat i per garantir una evolució adequada. Endemés, seguint les recomanacions per a la governança d'interacció persona-màquina (European Parliament, 2017), cal construir un marc teòric inicial per a la comunicació en entorns d'Indústria 4.0.

En el camp de l'educació, encara es coneixen molt poc les millores aportades per la Indústria 4.0. Les escoles no solen ser àgils ni fàcils de transformar i hi ha el risc que la velocitat del canvi extern superi la seva capacitat d'adaptació a la 4IR (Ayneto, 2019). El sector educatiu hauria d'utilitzar tecnologies de la 4IR per fomentar l'enfocament centrat en l'aprenent, necessari per millorar l'experiència d'aprenentatge (Oke & Fernandes, 2020). Un informe Horizon (NMC/CoSN Horizon Report, 2017) indica un calendari per als desenvolupaments en tecnologia educativa per a l'educació de K-12: la robòtica ja s'hauria de desenvolupar, les tecnologies d'anàlisi i la realitat virtual estarien gairebé desenvolupades, mentre que la IA i l'IdC haurien d'haver-se adoptat en un període curt (cinc anys quan es va publicar l'informe), però no s'ha demostrat que sigui un calendari assolible.

1.3. La tecnologia com a facilitador de l'Educació 4.0

Les ciutats líders aprofiten els avenços de la 4IR per esdevenir més intel·ligents. Les ciutats intel·ligents (*smart cities*) estan equipades amb tecnologies per automatitzar-ne els processos, millorar la qualitat de vida dels habitants i promoure la sostenibilitat (Ismagilova et al., 2019). Les principals característiques per entendre les ciutats intel·ligents estan relacionades amb l'economia, les persones, la governança, la mobilitat, el medi ambient i la vida quotidiana (Rudolf et al., 2007), inclosa l'educació.

El capital humà i l'educació són cada vegada més importants i reben una atenció significativa en el disseny i la definició de ciutats intel·ligents. L'educació és reconeguda com un dels pilars del desenvolupament de les societats. Cal garantir una educació de qualitat per al desenvolupament de les competències bàsiques i transversals dels estudiants en diverses etapes educatives. En el context de la 4IR, es va presentar el marc de competència global PISA 2018 per explicar, fomentar i avaluar la competència global dels adolescents en societats interconnectades, complexes i diverses (OCDE, 2018). L'educació de qualitat també és un dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) de l'Agenda 2030 de les Nacions Unides: "Garantir una educació inclusiva per a tothom i promoure oportunitats d'aprenentatge duradors que siguin de qualitat i equitatives" (United Nations, 2015).

Ara bé, l'educació moderna no sempre influeix prou en el desenvolupament del capital humà en les condicions dels entorns digitals (Lyapina et al., 2019) i, per tant, s'enfronta a la necessitat de millorar els entorns d'aprenentatge físics a través de les potencialitats dels avenços tecnològics (Karampa & Paraskeva, 2020). Amb l'afegit que en l'actualitat l'aprenentatge és ubic, perquè s'esdevé a qualsevol lloc i en qualsevol moment, i trobem com a conseqüència directa el fet que no es redueix només a un determinat període de la nostra vida. Els ciutadans i les ciutadanes de les societats actuals han d'estar preparats per a aquest aprenentatge permanent.

La 4IR ha arribat al sector educatiu i permetrà que l'educació en qualsevol etapa sigui més eficaç i eficient. Múltiples treballs ja presenten una relació inequívoca entre la Indústria 4.0 i l'educació, fent que aquesta educació sigui més intel·ligent, també anomenada Educació 4.0, i en qualsevol cas beneficiada pels avenços tecnològics de la 4IR (Bongomin et al., 2020). L'educació intel·ligent o pedagogia intel·ligent està destinada principalment a la personalització de cara als estudiants (Lorenzo & Gallon, 2019b) tant individualment com en grup. Personalitzar el camí de cada estudiant i individualitzar la formació és essencial (Dneprovskaya et al., 2020). S'estan explorant sistemes de recomanació per predir el rendiment dels estudiants mitjançant l'explotació de dades educatives massives a partir dels registres dels estudiants, la seva motivació i inclús dades socioeconòmiques (El Hajji et al., 2019). Properament es podran oferir recomanacions personalitzades, així com prototips de sistemes de recursos didàctics (H. Li et al., 2019; S. Zhang et al., 2019), i també s'aconseguirà reduir el fracàs escolar (El Mrabet & Moussa, 2019). La personalització requereix noves metodologies per ensenyar i aprendre. Les metodologies de tendència relacionades amb l'educació intel·ligent a les aules intel·ligents són la investigació cooperativa, l'aprenentatge basat en projectes o problemes, l'estudi de casos i la simulació (Cebrián et al., 2020), que han de permetre la personalització individual i col·lectiva de l'aprenentatge.

Els estudiants utilitzen i utilitzaran les tecnologies de la Indústria 4.0 per participar en simulacions realistes augmentant la seva percepció del contingut de l'aprenentatge (Mourtzis et al.,

2018). El concepte d'Educació 4.0 pot també referir-se a l'ús en educació de la intel·ligència artificial, internet de les coses, informàtica en núvol, etc. En determinades ocasions fins i tot s'aplica la denominació a eines i tecnologies bàsiques més habituals que ja estan desplegades (Aziz, 2018), tot i que caldria albirar tots els horitzons possibles.

Paral·lelament, en un entorn digitalitzat i interconnectat, les fonts d'informació es multipliquen constantment. Els especialistes en informació treballen per aconseguir una resposta informativa a les tecnologies de la Indústria 4.0 utilitzant la noció de blocs bàsics d'informació sobre microcontinguts com a base del que anomenen Informació 4.0 (Information 4.0 Consortium, 2018). Apostes com The Information 4.0 Consortium (Gallon & McDonald, 2016) han ofert un model d'informació suggerit que podria alinear-se fàcilment amb una futura escala d'avaluació educativa per a una educació intel·ligent, tal com esmenten Lorenzo i Gallon (2018), amb nivells d'aprenentatge explícits, nivells implícits d'aprenentatge i metacognició per a una ciutadania sostenible.

Capítol 2. Escoles intel·ligents: definició i principis elementals

Aquest capítol adapta informació parcial de la Publicació 6, Publicació 10 i Publicació 11

Els avenços tecnològics en els darrers quaranta anys, juntament amb una investigació activa en neurociència, psicologia i camps que estudien la cognició (Sah et al., 2016), han portat importants millores a l'educació. La presència de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) a les escoles augmenta contínuament (Hassan & Geys, 2016). Molts països de tot el món, inclosos els països en vies de desenvolupament, inverteixen molt per portar equips i recursos TIC a les escoles, fins i tot aquells amb recursos econòmics extremadament limitats (Kozma & Vota, 2014). És cert que hi ha nivells d'inversió en TIC considerablement diferents dins i entre els països, així com entre institucions dels països. En moltes ocasions, les escoles han de triar recursos i eines sense un coneixement profund del seu potencial i funcionalitats, mentre que la integració hauria d'anar més enllà de proporcionar components tecnològics (Ifenthaler & Schweinbenz, 2016). Queda un gran repte per a tots els països quant a com la inversió pública en TIC en educació hauria de tenir un impacte millor en l'aprenentatge dels estudiants (J. Zhang et al., 2016).

Hi ha grans innovacions relacionades amb la disponibilitat d'ordinadors a les escoles, i la digitalització ha fet que les TIC siguin omnipresents, tot i que l'ús d'aquestes tecnologies a les escoles és moderat (Vincent-Lancrin et al., 2019) i fins ara no trobem les innovacions educatives amb la tecnologia que seria possible. Les escoles tenen a la seva disposició avenços tecnològics, però no és clar com se n'aprofiten, i la investigació publicada no explica prou com les escoles s'enfronten des d'una visió global a les possibilitats que ofereix la 4IR (Oke & Fernandes, 2020). S'estan duent a terme accions independents d'acord amb els principis de l'escola intel·ligent, però sembla que no de manera estructurada i cohesionada. Aquest capítol aprofundeix en la concepció d'escoles intel·ligents formulant una definició i oferint una revisió dels seus pilars, referents a la tecnologia, l'educació inclusiva i la sostenibilitat.

2.1. *Nous espais d'aprenentatge*

Els nous espais d'aprenentatge es consideren dinàmics i rics en tecnologia per respondre a models híbrids: poden allotjar fonts d'aprenentatge que combinen els entorns d'aprenentatge físic i l'aprenentatge en línia en qualsevol moment i a qualsevol lloc (Eyal & Gil, 2020). Amb el grau de desenvolupament tecnològic actual ja comença a ser comú trobar aules i entorns d'aprenentatge híbrids sincrònics, en què els estudiants presencials i els estudiants remots poden interactuar i participar en activitats d'aprenentatge a l'aula física gràcies a sistemes de videoconferència i pantalles integrades a l'entorn (Raes et al., 2019), i aconseguir l'efecte que ambdues modalitats es fusionen de forma natural.

La dinàmica dels desenvolupaments tecnològics en educació requereix que les persones adquireixin noves habilitats digitals i s'adaptin a noves situacions (Zulkarnaen et al., 2019). El canvi de paradigma a les organitzacions d'aprenentatge requereix inevitablement una funció de canvi de paradigma de l'ensenyament i dels professors i professores. L'ensenyament es considera un procés per iniciar, facilitar i mantenir l'autoaprenentatge, l'autoexploració i l'autorealització dels estudiants; per tant, el professorat ha de tenir un paper clau com a facilitador o mentor capaç de donar suport a l'aprenentatge dels estudiants amb tecnologia (Ibrahim et al., 2013). Els professors han d'utilitzar pedagogies innovadores combinades amb el redisseny dels entorns d'aprenentatge (Paniagua & Istance, 2018).

En aquest canvi que pretén modernitzar i adaptar l'educació a les necessitats reals actuals, s'està popularitzant la idea dels entorns intel·ligents d'aprenentatge (en anglès SLE, *Smart Learning Environments*). Per considerar-se intel·ligent i proporcionar solucions més eficaces, un entorn d'aprenentatge ha de permetre identificar les característiques dels aprenents, proporcionar els recursos i les eines necessàries, automatitzar el registre de processos d'aprenentatge i avaluar-ne els resultats (Huang et al., 2013). Els SLE utilitzen dispositius digitals, adaptatius i contextualitzadors per promoure un aprenentatge més ràpid i millor (Koper, 2014), i també donar informació per millorar les condicions de treball dels docents. L'eficiència i l'eficàcia són dues qualitats importants d'aquests entorns (Spector, 2014). Altres autors subratllen la personalització de l'ensenyament i l'aprenentatge adaptatius com a elements estructurals a considerar (Price, 2015; Zhu et al., 2016).

Les escoles intel·ligents es doten de nous espais d'aprenentatge que segueixen una sèrie de característiques que els fan distintius, de la personalització de l'ensenyament a la dotació tecnològica que permet una millora substancial de les comunicacions i potencia interrelacions entre els agents físics implicats i els sistemes informàtics. S'afavoreixen nous mecanismes de retroalimentació oferts per la intel·ligència artificial i internet de les coses, potenciant els avenços oferts pels sistemes ciberfísics. Com hem vist al capítol anterior, les tecnologies de la 4IR inclouen internet de les coses, informàtica en núvol, intel·ligència artificial i altres. La intel·ligència artificial com a principal proposta innovadora ha aconseguit èxit en termes d'evolució tecnològica en els darrers 25 anys (Roll & Wylie, 2016) i s'està explorant com s'introdueix a les escoles per fer-les intel·ligents.

Ara bé, les iniciatives existents sobre escola intel·ligent no sempre es duen a terme amb una concepció integral; per entendre la qüestió, cal una revisió de projectes i experiències reals, la qual es presenta a continuació.

2.2. Projectes i experiències d'escoles i aules intel·ligents

S'estan duent a terme diversos projectes de recerca arreu del món amb objectius relacionats amb el disseny i la implementació d'escoles intel·ligents i aules intel·ligents. A Catalunya, Smart Classroom Project (<https://smartclassroomproject.com/>) és un projecte de recerca aplicada liderat per la Universitat Oberta de Catalunya, en què les aules intel·ligents es creen i s'implementen a diverses escoles centrant els esforços en el disseny de l'espai, la seva flexibilitat i la forma en què l'aula permet aprendre. A Espanya, el projecte interuniversitari SmartLET (<https://smartlet.gsic.uva.es>) té com a objectiu millorar el suport al (re)disseny d'escenaris físics basant-se en diferents dispositius i escenaris en el context dels SLE mitjançant l'anàlisi de dades (SmartLET, 2020). Als Estats Units, la Universitat d'Indiana va convocar l'anomenat Smart Classroom Working Group per investigar solucions més intel·ligents amb l'objectiu de construir un entorn d'aprenentatge que anticipi i automatitzi les tasques comunes a l'aula per fer un millor ús del temps d'instrucció o intervenció dels professors i estudiants (Johnston, 2018). A la City University de Hong Kong, l'anomenada Smart Classroom Initiative (<https://www.cityu.edu.hk/smartclass/>) persegueix l'objectiu d'explorar l'adopció de tecnologies emergents com la realitat virtual per a l'ensenyament i l'aprenentatge.

No amb finalitats de recerca, però en un àmbit d'educació superior, La Salle Campus Barcelona – URL ofereix una Smart Classroom mitjançant un sistema audiovisual intel·ligent que s'apropa a la 4IR en termes d'ensenyament híbrid, millorant el sistema de so, el sistema d'imatge i el sistema de pissarra digital tàctil intel·ligent (<https://www.salleurl.edu/ca/la-salle-url-smart-classroom>).

Els governs també estan implementant iniciatives d'educació intel·ligent i escoles intel·ligents: als Estats Units trobem el programa impulsat per l'estat de Nova York, anomenat Smart Schools NY (<https://www.ny.gov/programs/smart-schools-ny>), un programa finançat amb 2.000 milions de dòlars per millorar l'ensenyament i l'aprenentatge a través de la tecnologia (New York Smart Schools, 2014). A Malàisia, el Govern està fent esforços per convertir les escoles en intel·ligents mitjançant tecnologies per fomentar la força laboral del segle XXI (Zhu et al., 2016). A Corea, s'estan estudiant les escoles intel·ligents durant els darrers anys i fins i tot el Ministeri de Terra, Infraestructures i Transports i el Servei d'Informació i Recerca en Educació de Corea han iniciat una reforma en aquesta línia (Cho et al., 2020). La implementació d'escoles intel·ligents a la Xina es troba en una etapa inicial (Wu et al., 2019), però s'informa d'iniciatives per introduir tecnologia. Altres països promouen la innovació mediada per la tecnologia, ja sigui anomenant-la intel·ligent o no.

Les etiquetes "aula intel·ligent" i "escola intel·ligent" també arriben als negocis, ja que fan servir el concepte *intel·ligent* o *smart* per cridar l'atenció o simplement indicar la inclusió de la tecnologia en els processos, sovint en països menys desenvolupats o en àrees especials. N'és exemple la Iken Smart Classroom a l'Índia (<https://www.lghsvapi.edu.in/content/iken-smart-classroom>), un projecte implementat per Shri L. G. Haria a la seva escola polivalent. La proposta es basa en solucions digitals bàsiques per a les aules, que en el seu context fan una gran diferència per millorar l'aprenentatge mediat per la tecnologia (Haria, 2020). També Devotra Smart Classrooms (<https://www.smartclassroom.nl>), una iniciativa holandesa per portar dispositius i tecnologia bàsica per a l'educació a diversos països d'Àfrica. Grans empreses i organitzacions participen en altres projectes que val la pena considerar: LG va invertir a Colòmbia amb la iniciativa Smart Classroom per portar dispositius a les aules (LG CNS, 2014). L'INTEF (Institut Nacional de Tecnologies Educatives i de

Formació de Professorat del Ministeri d'Educació i Formació Professional), que col·labora amb Samsung Espanya va desplegar el programa Samsung Smart School (<https://www.samsung.com/es/tecnologiaconproposito/samsung-con-la-educacion/smart-school>) per portar la tecnologia a les zones rurals d'Espanya i reforçar així l'aprenentatge a través de dispositius intel·ligents (Camacho, 2019). IBM també va considerar durant l'última dècada tecnologies transformadores per a sistemes educatius més intel·ligents, considerant les tecnologies obertes, la informàtica en núvol i la informàtica de consum per a un aprenentatge més personalitzat, establint processos centrats en l'estudiant, promovent l'obertura i tenint en compte totes les institucions i grups d'interès (IBM Global Education, 2009).

Comparant la investigació i la implementació a les escoles (des d'iniciatives governamentals fins a projectes empresarials), els exemples anteriors mostren que som lluny d'adoptar la indústria 4.0, la intel·ligència artificial, internet de les coses i la informàtica en núvol a l'educació, però que hi ha una aposta inequívoca des de la recerca i també una voluntat de millora i modernització tecnològica (al nivell que sigui possible) per part d'iniciatives reals. Cal una investigació empírica addicional que proporcioni evidències sobre la implementació d'escoles intel·ligents i les oportunitats i reptes que s'enfronten des de la perspectiva dels líders escolars (Gu & Johansson, 2013; ten Bruggencate et al., 2012). Nogensmenys, aquesta tesi recull dades amb afany d'explorar aquesta línia, i ja hi ha prou fonamentació teòrica per oferir una definició que presenti una concepció tipus d'escola intel·ligent i quins són els pilars que la fonamenten.

2.3. Definició integral d'escola intel·ligent

L'aproximació a les escoles intel·ligents acostuma a mancar d'un nivell de maduresa que permeti aprofitar eficaçment els avenços de la 4IR. L'ús de les solucions de la Indústria 4.0 s'ha de considerar de forma holística juntament amb els canvis sistèmics als entorns intel·ligents d'aprenentatge (SLE) i a les escoles com a organitzacions d'aprenentatge. La concepció de les escoles intel·ligents encara és un camp exploratori de recerca i innovació, de manera que els avenços més comuns provenen principalment de serveis específics com TIC, dispositius i eines per presentar contingut, tècniques de millora automàtica de la participació dels estudiants, avaluació automàtica de les presentacions dels estudiants, mètodes de gestió de l'assistència d'estudiants i sistemes d'entorn físic adaptatiu (Saini & Goel, 2019). De tota manera, l'escola intel·ligent adapta contínuament les seves capacitats juntament amb les condicions canviants de l'era de la informació (Omidinia et al., 2012) i les millores han de ser globals i ajudar en tots els processos de gestió.

En aquesta tesi, i partint de la fonamentació teòrica que s'ha pogut realitzar, es proposa una definició pròpia d'escoles intel·ligents (vegeu-ne un esquema a la **figura 4**):

Les **escoles intel·ligents** 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 que adopti de manera eficient **noves metodologies d'aprenentatge** i els avenços de la Quarta Revolució Industrial (4IR).

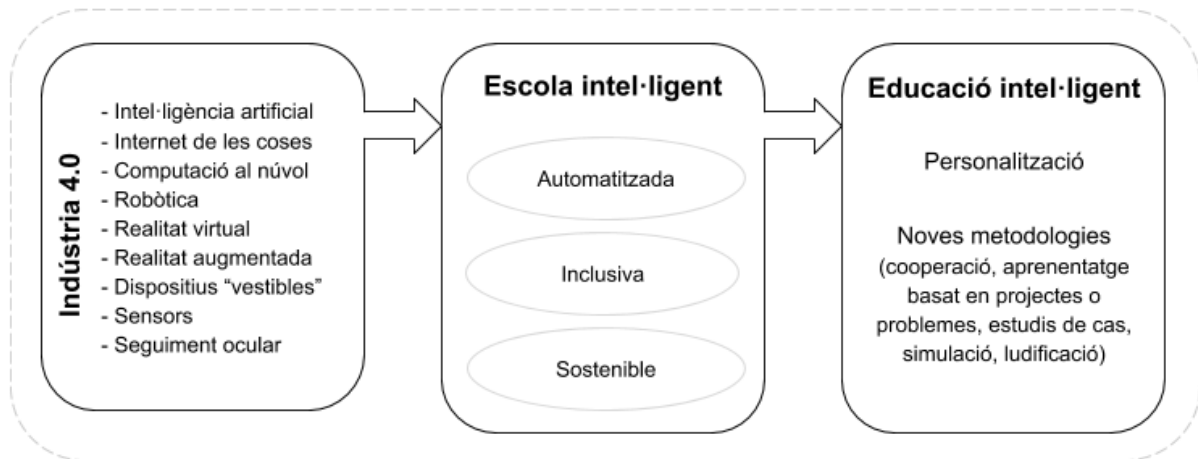


Figura 4. Elements clau d'una escola intel·ligent

Per tant, s'utilitza la tecnologia de la 4IR per promoure millores a les escoles, les quals acabaran repercutint en una educació intel·ligent, en què es potencia la personalització de l'aprenentatge i l'adopció de noves metodologies d'ensenyament i aprenentatge. El concepte *escola intel·ligent* se sosté en els tres pilars mencionats, els quals es treballen a continuació.

2.4. Tecnologia de la 4IR en escoles intel·ligents

Un pilar de les escoles intel·ligents és la tecnologia (Domínguez & Palau, 2017). Per recopilar dades, les escoles intel·ligents normalment proporcionen a l'edifici xarxes de sensors que allotgen l'educació d'una manera ubíqua (de Freitas et al., 2019) amb l'ús d'IdC i informàtica en núvol. La Indústria 4.0 és una clau estratègica a favor del canvi pedagògic (Lorenzo & Gallon, 2019a), que facilita la comunicació i la gestió de tota mena de processos que passen en l'organització d'aprenentatge, des del mateix aprenentatge fins a l'eficiència de la infraestructura (Salimi & Ghonoodi, 2012).

Tot i que oferir processos automatitzats és l'objectiu final, l'estat actual de la Indústria 4.0 permet millores inicials com el sistema de gestió d'escoles intel·ligents promogut a Malàisia, un programari per a administradors d'escoles que gestiona tots els elements (recursos i processos) necessaris per donar suport a l'ensenyament i aprenentatge, incloses funcions administratives com a horaris de lliçons, activitats de programació i computació dels expedients acadèmics dels estudiants (Salimi & Ghonoodi, 2012). L'ús intensiu de la tecnologia a l'escola intel·ligent aporta el canvi sistèmic a un edifici automatitzable.

La intel·ligència artificial és reconeguda per la Comissió Europea com a facilitadora per aportar innovacions de gran impacte en educació (European Commission, 2020). Es preveu que les analítiques d'aprenentatge (*learning analytics*) i la intel·ligència artificial proporcionin dades dels processos d'aprenentatge per adaptar solucions a cada moment i a cada estudiant, per crear camins d'ensenyament i aprenentatge adaptatius, tot i que cal millorar les solucions existents (Renz & Hilbig, 2020). Segons la investigació publicada, la intel·ligència artificial per a l'educació es pot utilitzar en serveis de suport acadèmic i també per donar suport als serveis institucionals i administratius, que disposen de quatre àrees principals: perfils i predicció, avaluació, sistemes adaptatius i personalització, i sistemes de tutoria intel·ligent (Zawacki-Richter et al., 2019).

Internet de les coses (IdC), *Internet of Things* (IoT), permet la interconnexió d'objectes físics amb el núvol, per tenir el màxim control i interacció a través de nodes sensorials, realitat augmentada i altres tecnologies (Gilman et al., 2020). IdC pretén una millor organització perquè els estudiants aprenguin més ràpidament i els professors tinguin millors condicions laborals. Pot ser en forma de taulers digitals intel·ligents, aprenentatge interactiu, aplicacions educatives de dispositius mòbils i tauletes, llibres electrònics que introdueixen la millor manera d'aprendre, mesures de seguretat avançades, sensors de temperatura, sistemes de seguiment d'assistència i altres (Abdel-Basset et al., 2019).

La informàtica en núvol (*cloud computing*) no es limita a l'emmagatzematge d'informació al núvol, sinó que també serveix per processar dades massives recollides a través d'IdC o qualsevol altre procés d'aprenentatge electrònic en un centre de dades en línia, amb els avantatges de l'accés i l'escalabilitat globals (Humayun, 2020). La intel·ligència artificial, IdC i la informàtica en núvol són solucions alimentades per dades massives recollides mitjançant diferents tipus de sensors: des de pistes de sistemes d'administració d'aprenentatge fins a tecnologies sense fils i sensors específics per controlar factors ambientals, sistemes de seguiment ocular (Sun & Hsu, 2019), o portables (*wearables*) per proporcionar als professors dades físiques dels estudiants en temps real (Liang et al., 2020).

Donant atenció a tecnologies més populars, la literatura científica està ben coberta quant a la inclusió de robòtica educativa, realitat augmentada i realitat virtual (RA/RV) en experiències concretes d'aprenentatge (Anwar et al., 2019; Bacca et al., 2014; Maas & Hughes, 2020), però l'educació intel·ligent requereix una implementació addicional. En el cas de la robòtica, es poden utilitzar robots d'assistència social per ajudar en processos d'ensenyament de ciències o idiomes, tenint en compte l'experiència de l'usuari, l'actitud i la usabilitat (Papadopoulos et al., 2020). La realitat virtual pot promoure noves metodologies d'ensenyament com la simulació gràcies a l'experiència virtual d'immersió amb sensació de presència, i la realitat augmentada (mitjançant dispositius mòbils o dispositius portables com ara cascs o ulleres) pot proporcionar experiències d'aprenentatge més enriquidores si el contingut i l'enfocament d'aprenentatge són adequats (Elkoubaiti & Mrabet, 2018). Aquestes tecnologies, a part de ser innovadores a les escoles perquè ofereixen noves formes de treballar —insistim— haurien de permetre noves concepcions més profundes sobre la gestió de la informació i l'assistència als estudiants, ajudant al canvi sistèmic.

Els governs són clau per promoure el procés de canvi en educació, ja que són fonamentals per determinar les polítiques, les accions, l'estructura i la distribució de les oportunitats d'aprenentatge, i generen coherència d'objectius, infraestructures i rendició de comptes (OCDE, 2017b). A Catalunya, les lleis i les directrius polítiques aborden per separat els principals temes relacionats amb les escoles intel·ligents (tecnologia, inclusió i sostenibilitat). La tecnologia està menys regulada, però diversos informes ofereixen orientacions i recomanacions sobre com transformar l'escola i com implementar la tecnologia. El darrer és el Pla d'Educació Digital per a Catalunya 2020-2025 i busca teixir una xarxa d'escoles amb competències digitals amb estudiants i professors amb competència digital (Generalitat de Catalunya, 2019). Pel que fa a les tecnologies de la Indústria 4.0, no hi ha accions de desplegament a l'educació, però una estratègia global anomenada Catalunya.AI ja deixa entreveure que "l'educació serà profundament transformada per la intel·ligència artificial modificant les eines d'ensenyament, les formes d'aprenentatge i l'accés al coneixement. Gràcies a la intel·ligència artificial podrem facilitar un

acompanyament al docent i a l'estudiant per una educació més flexible i personalitzada" (Generalitat de Catalunya, 2020a, p. 49).

2.5. La necessitat social d'oferir espais inclusius

El segon pilar de les escoles intel·ligents és la inclusió. Les directrius del Disseny Universal per a l'Aprenentatge (DUA) es consideren un marc de referència per millorar i optimitzar l'ensenyament i l'aprenentatge de cada individu independentment de les seves capacitats i necessitats particulars (CAST, 2018, 2019). L'educació accessible se centra en aspectes com l'entorn físic de les escoles, la comunicació i el llenguatge, els materials d'aprenentatge, l'avaluació dels estudiants, el suport a les necessitats individuals, la mobilitat i els dispositius o tecnologies d'assistència (Booth & Ainscow, 2002). La presència inherent de les tecnologies digitals ha de permetre que les escoles siguin més intel·ligents en tres aspectes: sense barreres arquitectòniques, aplicant els principis del DUA i afavorint la personalització de l'aprenentatge.

L'educació i el desenvolupament de la societat estan intrínsecament connectats. L'educació millora el benestar individual i comunitari d'una manera sostenible. Els marcs internacionals com l'Agenda 2030, promoguda per les Nacions Unides, que tracten sobre el desenvolupament sostenible, s'entenen com una oportunitat per als països i les societats per emprendre un camí per millorar la vida de tots. Aquestes iniciatives no perden la importància d'oferir l'oportunitat d'accedir a una educació de qualitat. Així, dels disset objectius per al desenvolupament sostenible inclosos a l'Agenda 2030, el quart és rellevant, centrat en la necessitat de "garantir una educació de qualitat inclusiva i equitativa i promoure oportunitats d'aprenentatge permanent per a tothom". Aquest objectiu va més enllà d'assolir la matriculació primària universal, tot i que les dades són alarmants: "Actualment, més de 265 milions d'infants no estan escolaritzats, el 22% en edat escolar primària" (United Nations, 2019). Per assolir aquest objectiu, una de les accions proposades és promoure l'educació inclusiva, així com apropar els processos i entorns d'aprenentatge a la diversitat dels aprenents, superant les limitacions de barreres físiques i d'aprenentatge.

La inclusió és un concepte no només referit a l'educació, sinó a qualsevol situació de la vida, tot i que és a les aules on la societat pot respondre a la diversitat i ha d'educar els estudiants perquè tinguin igualtat d'oportunitats i s'empoderin per a l'aprenentatge permanent. Però què s'espera de l'educació inclusiva? Segons Brenes et al. (2018), l'educació inclusiva inclou les estratègies o enfocaments següents:

- Aportar mesures específiques de suport per satisfer les necessitats individuals.
- Oferir oportunitats d'aprenentatge i participació a les persones mitjançant mètodes d'ensenyament diferenciats en formats accessibles.
- Oferir dispositius d'assistència i serveis d'assistència necessaris.
- Empoderar tots els estudiants, en particular els de grups vulnerables com persones amb discapacitats d'aprenentatge, de desenvolupament o intel·lectuals.

Per tant, l'educació inclusiva consisteix a eliminar les barreres pel que fa a la presència, la participació i l'èxit en l'aprenentatge, de manera que tots els aprenents puguin maximitzar el seu potencial (Booth & Ainscow, 2002). En aquest sentit, cal insistir en el DUA, una proposta que detalla

com garantir “que tots els aspectes de l’entorn d’aprenentatge i dels processos d’ensenyament i aprenentatge siguin accessibles a tothom” (Brenes et al., 2018).

Altres autors com Muntaner (2014) estableixen diverses opcions per fer l’aula inclusiva. Per ell, l’aula inclusiva dona la benvinguda a tots els estudiants i els fa participar en les activitats i situacions previstes. Ha de complir cinc idees principals: els estudiants han de ser els protagonistes i estar disposats a preguntar allò que no entenguin; l’aula ha de mostrar proximitat als estudiants i als seus interessos; tots els estudiants han de ser ajudats en els processos; el mètode ha de fer que els estudiants siguin competents en la societat actual, i l’aula ha de potenciar la col·laboració amb objectius comuns. Per tant, entre les característiques identificades a les aules inclusives, hi ha una àmplia gamma d’enfocaments educatius, sentit comunitari i de pertinença, serveis basats en la necessitat, ensenyament adaptat als estudiants, estratègies educatives reforçades, etc. (Dueñas, 2010).

És evident, doncs, la necessitat de fer que els espais d’aprenentatge i les escoles siguin inclusives, però alguns estudis mostren com les estructures tradicionals d’aula no faciliten la personalització i l’accessibilitat a l’aprenentatge. Segons la investigació duta a terme per Arnaiz et al. (2017), l’indicador “flexibilitat i polivalència de l’espai” semblava que era deficient. Dit d’una altra manera, no es responia prou eficaçment a les condicions arquitectòniques del centre, l’adequació dels espais de lleure i esbarjo a les necessitats de tots els estudiants i les mesures de seguretat a les infraestructures per a tots els estudiants i, en particular, per als que tenen necessitats educatives especials. Les barreres físiques són tractades per Booth i Ainscow (2002) com tot allò que limita les possibilitats inclusives a les aules i als centres: la cultura educativa, la flexibilitat curricular, la caracterització dels espais, l’organització interior del centre, etc.

Tal com afirmen alguns autors (per exemple Bakken et al., 2016), les persones amb necessitats educatives especials poden beneficiar-se dels avantatges de l’escola intel·ligent. Alguns dels processos es duren a terme induïts pels agents implicats en l’acció (són els responsables de l’èxit), mentre que d’altres es poden generar gràcies a les aules intel·ligents definides a favor de totes les persones implicades. Des d’una altra perspectiva, la inclusió pot aportar beneficis no només als estudiants amb necessitats d’aprenentatge especials, sinó a tot el grup, basat en el concepte de “potencial educatiu de l’heterogeneïtat” (Pujolàs, 2012).

La inclusió a les escoles catalanes es regula en una llei que estableix l’atenció educativa a l’alumnat en el marc d’un sistema educatiu inclusiu, el Decret 150/2017.² Aquesta llei descriu les funcions de l’Administració educativa, les funcions dels centres educatius, totes les mesures, suports i recursos necessaris.

2.6. Edificis sostenibles i educació per al desenvolupament sostenible

El tercer pilar de les escoles intel·ligents és la sostenibilitat, que d’entrada inclou l’eficiència energètica, els mètodes de regulació de les condicions ambientals i qualsevol aspecte necessari per

² Decret 150/2017, de 17 d’octubre, de l’atenció educativa a l’alumnat en el marc d’un sistema educatiu inclusiu. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 17 d’octubre de 2017, núm. 7477 <<https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/7477/1639866.pdf>>.

aconseguir edificis sostenibles i respectuosos amb el medi ambient. Els edificis escolars poden utilitzar infraestructures IdC per proporcionar control i gestió en temps real i així abordar problemes d'eficiència energètica i educatius (Pocero et al., 2017). Pel que fa als factors ambientals, un nombre creixent d'iniciatives mesura paràmetres d'il·luminació, nivells acústics, qualitat de l'aire, temperatura i humitat a les aules (Saini & Goel, 2019), i s'ha demostrat que aquestes condicions ambientals a l'aula tenen un efecte en els estudiants i professors, especialment si es poden regular en funció de la tasca que es duu a terme (Brink et al., 2020). A més a més, però, les escoles intel·ligents també es converteixen en organismes que poden promoure valors i l'educació per al desenvolupament sostenible mitjançant l'aplicació de metodologies que l'afavoreixin.

2.6.1. La sostenibilitat com a eix estructural

El concepte d'escola intel·ligent apareix quan les innovacions tecnològiques a les escoles es complementen amb la innovació pedagògica i es milloren els processos de comunicació i gestió juntament amb dissenys i decisions inclusives cap a la sostenibilitat. L'escola intel·ligent tracta directament quatre dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) (United Nations, 2019): garantir una educació de qualitat (objectiu 4), fomentar indústria, innovació i infraestructures (objectiu 9), reduir desigualtats (objectiu 10) i construir ciutats i comunitats sostenibles (objectiu 11). El desenvolupament sostenible promou l'equitat, la justícia social i les pràctiques ambientals que sostenen la biodiversitat i els processos ecològics (United Nations, 2012) i treballa per aconseguir individus ètics, comunitats col·laboratives i sistemes i institucions socials que siguin participatius, transparents i justos (Hill et al., 2004).

Les escoles intel·ligents han de tenir en compte, entre altres elements, la personalització de tots els processos per oferir un escenari més eficaç tant per a tasques grupals com individuals (Boulanger et al., 2015), la inclusió per garantir que tots els estudiants tenen les mateixes possibilitats independentment de les seves habilitats i competències (Mogas et al., 2019), i també cal que facin un ús sostenible dels recursos i de la infraestructura en si mateixa (De Angelis et al., 2015; Dorizas et al., 2015; Webster & Dunn, 2011). El consum o la producció d'electricitat de vegades es tracta com una qüestió que s'ha de gestionar a les aules intel·ligents. Chan et al. (2017) presenten el sistema d'estalvi energètic del WSN. Jormanainen et al. (2018) parlen de la producció d'electricitat a partir del sistema de plaques solars de l'edifici. Un nombre creixent de projectes arquitectònics se centren en la promoció de materials verds per a l'absorció del so (Trematerra & Lombardi, 2017) i l'estalvi del consum d'energia (Clayton & Nesnidol, 2017; Jormanainen et al., 2018). Entre altres referències puntuals a l'habilitació de l'aula intel·ligent per estalviar energia i controlar l'electricitat d'una manera més eficient.

Durant les dècades passades s'ha vist un pròsper reconeixement i la comprensió política de l'educació com a element promotor clau d'una societat més conscient del medi ambient, social i equitativa (UNESCO, 2005; United Nations, 2012). Ho demostren diversos avenços i acords polítics nacionals i mundials. Per exemple, les Nacions Unides van declarar el 2005 la Dècada de l'Educació per al Desenvolupament Sostenible (abreujat com a UNDESD, 2005-2014), que va ser dirigida i coordinada per la UNESCO; el 2011 la Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a Europa (UNECE) també va aprovar la seva pròpia estratègia en educació per al desenvolupament sostenible (EDS); el 2015 els líders polítics mundials van aprovar l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible, que

inclou els 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), amb objectius específics que s'han d'assolir el 2030 (United Nations, 2015).

La proclamació de la UNDESD el 2005 va catalitzar la integració dels principis de l'EDS en tots els nivells educatius (UNESCO, 2005). Es preveu que les institucions educatives siguin els principals agents per donar resposta a l'objectiu de desenvolupament sostenible a què s'enfronta la humanitat, en què la interdisciplinarietat i l'acció innovadora són essencials (Cotton & Winter, 2010; United Nations, 2012). El programa educatiu, els mètodes d'ensenyament, l'estructura i el funcionament de les infraestructures i recursos, i els valors i les creences existents a l'organització són elements intrínsecs de l'educació; això implica que la integració d'EDS necessita un canvi global que afecti tota la institució educativa i es refereixi al contingut, als resultats dels estudiants, als mètodes d'ensenyament i a l'organització de l'aula, en lloc d'afegir temes complementaris sobre sostenibilitat en assignatures i programes educatius existents (Leicht et al., 2018; Sterling, 2004).

Per tant, l'EDS implica reconsiderar l'espai d'aprenentatge físic i virtual d'acord amb el desenvolupament sostenible, que implica la transformació de les aules cap al compromís de l'alumne, avaluacions formatives i metodologies actives. En aquest context, l'educació intel·ligent guanya força com a mitjà per posar en pràctica processos d'EDS, ja que permet la creació d'entorns intel·ligents d'aprenentatge, personalitzats i adaptatius (Zhu et al., 2016).

La necessitat d'incorporar la sostenibilitat a les escoles ha estat reconeguda per la Generalitat de Catalunya mitjançant la creació d'una xarxa d'escoles per a la sostenibilitat i el Programa Escoles Verdes (Generalitat de Catalunya, 2020b), que inclou, com a àrees d'actuació clau del currículum, la gestió ambiental, la participació activa i el compromís dels agents escolars, i l'aprenentatge comunitari i de serveis.

2.6.2. Educació per al desenvolupament sostenible (EDS)

La rellevància de l'educació en la creació de comunitats sostenibles basades en la justícia social, l'equitat i la sostenibilitat ha estat reconeguda en els àmbits nacional i internacional per agències com les Nacions Unides, la UNESCO i la CEPE, que han aprovat nombrosos esquemes i plans d'acció en les darreres dues dècades (UNESCO, 2009, 2017; United Nations, 2012). La declaració de la UNDESD (2005-2014), liderada per la UNESCO, va actuar com a promotora de la integració de la sostenibilitat en diversos contextos i nivells educatius per abordar, des del punt de vista educatiu, els reptes globals als quals s'enfronta la societat actual. A més, els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) acordats per la comunitat internacional a les Nacions Unides reconeixen la importància de l'educació, i determinen un ODS específic en educació, el quart: Educació de qualitat, definint un conjunt d'objectius i indicadors que haurien d'aconseguir-se el 2030 (United Nations, 2015). L'objectiu 4.7 de l'ODS 4 se centra específicament en l'EDS, els coneixements i les habilitats en sostenibilitat que s'han de desenvolupar entre tota mena d'aprenents per crear ciutadans globals que puguin contribuir activament a una societat més sostenible, inclosa la igualtat de gènere, el consum sostenible, els drets humans, diversitat cultural i pau i democràcia (UNESCO, 2017).

By 2030, ensure that all learners acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development, including, among others, through education for sustainable development and sustainable lifestyles, human rights, gender equality, promotion of a culture of peace and non-violence, global

citizenship and appreciation of cultural diversity and of culture's contribution to sustainable development.

L'EDS s'ha d'entendre com un procés d'aprenentatge transformador cap a la sostenibilitat, que es basa en pràctiques d'ensenyament i aprenentatge innovadores, diversitat de mètodes, aprenentatge basat en problemes, reflexió crítica, avaluació i aclariment dels valors propis i de les concepcions, context i accions existents (Huckle & Sterling, 1996; Tilbury, 2004). L'ESD adopta com a nucli la capacitat de pensar en futurs escenaris alternatius, pensament crític i creatiu, col·laboració, processos de presa de decisions participatius, associacions, aprenentatge actiu i participatiu, interdisciplinarietat i pensament de sistemes (Tilbury, 2011).

Una quantitat considerable de la literatura sobre sostenibilitat s'ha centrat en aspectes pedagògics relacionats amb la sostenibilitat (Cotton et al., 2009; Lozano et al., 2017). La integració dels principis de sostenibilitat a l'educació requereix una innovació metodològica cap a l'aprenentatge basat en la investigació, processos centrats en l'alumne i enfocaments d'aprenentatge actius i experiencials que proporcionin oportunitats per aprendre de la pràctica real i en la seva pràctica (Sterling, 2004). En el treball d'aquesta tesi, s'han escollit quatre metodologies (Cebrián et al., 2020):

1) Oferir situacions d'aprenentatge realistes basades en el context, mitjançant l'ús d'enfocaments centrats en els estudiants, com ara *l'aprenentatge basat en projectes o problemes i l'aprenentatge experiencial*, és fonamental per als estudiants per mobilitzar el pensament crític i la reflexió, l'aprenentatge autònom, el compromís actiu amb la comunitat i la recerca d'habilitats (Moore, 2005; Thomas, 2009). L'aprenentatge basat en projectes o problemes són metodologies didàctiques en què es crea la capacitat d'aplicar informació a qüestions i circumstàncies genuïnes del món real, i de buscar i avaluar diverses fonts de dades per tal de solucionar el problema que s'està considerant. Per aquestes raons, es veu com una metodologia apropiada per a l'EDS (Bessant et al., 2013; Thomas, 2009).

2) Els *estudis de casos* s'han utilitzat habitualment en diverses àrees d'estudi i en mòduls que no estan enfocats a la sostenibilitat. Aquesta metodologia potencia la comprensió del tema i del sistema en general, tenint en compte la seva complexitat i múltiples interconnexions. Els estudis de casos són reals i orientats al context, una característica que permet aprendre de pràctiques i situacions reals i establir solucions tenint en compte els diferents grups d'interès (Cotton & Winter, 2010). Les descripcions i anàlisis profundes d'escenaris, problemes i debats del món real sobre sostenibilitat poden ajudar els estudiants a adquirir les habilitats que els permeten manejar la complexitat i la incertesa des del punt de vista comunitari, regional i mundial (Sprain & Timpson, 2012). Els estudis de casos permeten als estudiants investigar, examinar exemples del món real incloent les perspectives de diversos col·laboradors i trobar la complexitat dels sistemes socioambientals (Lozano et al., 2017; Scholz et al., 2006).

3) Les *simulacions o jocs de rol* són una estratègia didàctica que afavoreix l'aprenentatge vivencial. Els estudiants es converteixen en personatges i han de reproduir un context o situació tancada a la vida real (Tejedor et al., 2019). Inclou la interpretació i la dramatització, el fet de compartir opinions i sentiments amb els altres i la reflexió sobre el tema o els temes implicats. Els jocs de simulació són eines valuoses per a l'anàlisi de problemes socials, econòmics i ambientals en totes les seves facetes, inclosos els metodològics, institucionals i històrics, entre d'altres. Més enllà, també es poden utilitzar recursos tecnològics per treballar determinats objectius mitjançant mons virtuals en

entorns 3D, per exemple SIMUL@B (Palau et al., 2018), o altres sistemes avançats de la 4IR que aporten solucions immersives mitjançant realitat virtual o realitat augmentada. En tot cas, es pot plantejar aquesta nova aproximació amb la concepció de l'aprenentatge vivencial. Segons l'aprenentatge experiencial de Kolb i Fry (1975), la simple experiència no aporta un aprenentatge efectiu (seria aprenentatge pràctic, no processat ni necessàriament assimilat). Cal que l'aprenent sigui conscient i estigui atent a les accions per poder fer una reflexió profunda sobre el que ha fet i observat, i això es reforça en un cicle de quatre etapes: experiència concreta, observació reflexiva, conceptualització abstracta i experimentació activa.

4) La *investigació cooperativa o col·laborativa* comprèn l'aprenentatge a través de l'execució de tasques i investigació amb altres persones, de manera que grups d'estudiants i grups d'interès participen en un procés de recerca, en què totes les decisions de recerca són compartides per companys que es converteixen en coinvestigadors (Coghlan & Brannick, 2005). Establir una comunicació i un intercanvi eficaços i col·laborar constructivament amb els membres del grup de l'equip és fonamental per fomentar les competències de sostenibilitat que permetin construir una comunitat més respectuosa amb el medi ambient i un futur sostenible. El compromís de múltiples socis i grups d'interès, el compromís actiu, la col·laboració i la investigació amb la comunitat ajuden a fomentar el desenvolupament de competències en sostenibilitat (Tilbury, 2011).

Capítol 3. Caracterització de les aules intel·ligents a través de les dimensions tecnològica, ambiental i pedagògica

Aquest capítol adapta informació parcial de la Publicació 1 i Publicació 3

No és estrany trobar a la literatura científica estudis que esmentin aprenentatge intel·ligent i entorns intel·ligents d'aprenentatge (SLE) sense evidències de les característiques bàsiques que els defineixen. A la publicació 1 es va plantejar la qüestió que els SLE no estan prou ben definits, ja que la popularitat de l'adjectiu intel·ligent provoca usos esbiaixats. Aquests usos van des de qualificar de manera intel·ligent qualsevol espai o entorn que inclou dispositius electrònics com una tauleta, fins a l'ús comercial de l'etiqueta *smart*, que algunes empreses aprofiten per a la comercialització.

Per deixar clar quines característiques s'han de tenir en compte quan es parla de SLE i d'aules intel·ligents, es va fer una revisió sistemàtica de la literatura (Palau & Mogas, 2019). Algunes investigacions anteriors ho havien fet en el mateix camp però amb objectius diferents. Ha i Kim (2014) van dur a terme una revisió sistemàtica de la literatura per analitzar les tendències de l'aprenentatge intel·ligent però no van identificar les característiques d'un SLE. Més recentment, Durán-Sánchez et al. (2018) van presentar un treball relacionat amb la literatura científica publicada sobre l'aprenentatge intel·ligent, però el focus es va centrar més aviat en l'estudi bibliomètric comparatiu dels articles i no en el contingut dels documents recuperats. En conseqüència, es necessitava una revisió sistemàtica de la literatura amb la consegüent anàlisi qualitativa de les característiques que defineixen el SLE.

Donat l'impacte que aquesta revisió sistemàtica ha tingut en l'obra posterior del doctorand, a continuació es presenten resultats enriquits de la caracterització de les aules intel·ligents, seguint l'estructura presentada a la **figura 5**.

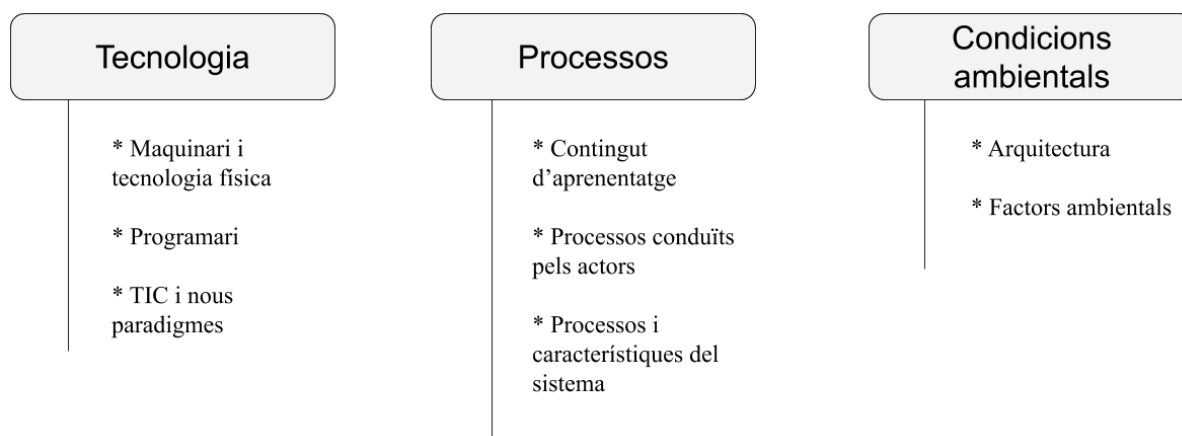


Figura 5. Classificació de dimensions i característiques en una aula intel·ligent

3.1. Suport tecnològic a les aules intel·ligents

Al capítol 1 hem introduït la 4IR i al capítol 2 hem definit les escoles intel·ligents també des del seu pilar tecnològic com un dels tres eixos que la tracen. A continuació aprofundim en solucions concretes recuperades de la literatura que mostren recerca publicada a l'entorn de l'ús de tecnologia en aules intel·ligents.

3.1.1. Maquinari i tecnologia física

Quant a aules intel·ligents dotades de tecnologia, la major part dels autors parlen de l'ús de dispositius mòbils per millorar els entorns d'aprenentatge. Els dispositius mòbils solen ser telèfons intel·ligents i tauletes tàctils, però també es proposen tauletes gràfiques (Alelaiwi et al., 2015) i dispositius portables, vestibles o *wearables* (Kim et al., 2018; D. Liu et al., 2017d). Respecte a les tecnologies portables, normalment són rellotges intel·ligents, però amb finalitats de recerca per millorar les aules intel·ligents també s'utilitzen aparells que permeten la detecció d'ones cerebrals (electroencefalogrames) i sistemes de reconeixement d'emocions (Kinshuk et al., 2016). També s'utilitzen com a portables els guants hàptics (Kim et al., 2018). Diversos autors introdueixen la tecnologia RFID com a sensors portables. Un dels usos de RFID és ajudar a controlar els senyals fisiològics dels estudiants (Korozi et al., 2017), però el més comú és ajudar a controlar l'assistència: els estudiants tenen una etiqueta RFID passiva a la targeta d'estudiant i el lector de RFID els pot reconèixer fàcilment (El Mrabet & Moussa, 2017).

L'ús de sensors als SLE no es limita a RFID. De fet, la literatura mostra una àmplia gamma de tipologies de sensors i amb finalitats diferents. Per a Liu et al. (2017b), als SLE es pot controlar l'aire, la temperatura, la llum, el so, l'olor i altres factors ambientals físics amb tecnologia de sensors per proporcionar als estudiants un entorn físic còmode, que és l'enfocament més comú de l'ús de sensors. Per a Uskov et al. (2015), els sensors estan relacionats amb la detecció d'ubicacions, la detecció de veu, els sensors de moviment, els tèrmics, la humitat, els sensors per al reconeixement facial i de veu, etc.

Als SLE també s'utilitza una xarxa de sensors distribuïda que s'integra a l'edifici i n'afavoreix l'automatització i la presa de mesures o medicions (Uskov et al., 2015). Els sensors sensibles a la pressió de la cadira de cada alumne poden ajudar a identificar si l'alumne està assegut o no (Korozi et al., 2017), i fins i tot alguns autors parlen de sensors que no es refereixen a sensors físics a l'aula, sinó de sensors a l'interior del dispositiu (tauleta o PC) per verificar la identitat dels estudiants (Negron & Graves, 2017).

Els sensors estan íntimament relacionats amb els sistemes de seguiment i reconeixement. Els sistemes de reconeixement i els dispositius corresponents solen estar associats al reconeixement facial, al seguiment dels ulls (*eye-tracking*), al reconeixement de la veu, dels gestos i dels moviments humans, etc. En l'actualitat, el reconeixement facial pot detectar en una aula l'estat d'ànim dels alumnes, la direcció de la seva mirada (si es distreuen), i el professorat obté informació per prendre les decisions pertinents. A la **figura 6** s'exemplifica en un context extern el reconeixement facial d'un grup de persones, que informa a temps real del seu sexe, la seva edat i l'estat d'ànim que presenten en cada moment mitjançant una numeració gradual.



Figura 6. Exemple de reconeixement facial (Mobile World Congress 2019)

Uzelac et al. (2015) també es van referir a l'atenció dels estudiants mitjançant l'anàlisi dels moviments oculars i van apuntar a la supervisió mitjançant una càmera i un sistema informàtic de monitoratge d'emocions o ansietat (el nivell de malestar o ansietat mesurat com el nombre de moviments repetits de l'alumne, identificats mitjançant un acceleròmetre). A més, s'han dut a terme experiments de seguiment dels ulls per investigar les reaccions dels estudiants universitaris al tauler visual com a estímul mitjançant un tauler d'anàliques d'aprenentatge (Ha et al., 2015).

Per tant, l'ús de càmeres és bàsic per millorar l'aula intel·ligent: Korozi et al. (2017) parlen de càmeres sofisticades per fer un seguiment no només dels moviments oculars, sinó també de la postura del cap, de la postura corporal i de gestos específics. A més, Kim et al. (2018) introdueixen càmeres infraroges en rastrejadors d'ulls o càmeres de vídeo d'alta resolució. Uzelac et al. (2018) van presentar un estudi amb dispositius com la càmera i un micròfon de banda ampla per controlar el comportament dels estudiants.

Finalment, les pantalles tàctils, les eines interactives, la pissarra interactiva i altres eines similars s'introdueixen habitualment als SLE i a les aules intel·ligents. Alelaiwi et al. (2015) expliquen un estudi de cas mitjançant un sistema intel·ligent per permetre als estudiants dibuixar anotacions en el material digital del professor (en directe), van utilitzar l'anomenat e-podi. Dejian Liu et al. (2017e) parlen de conduir la interacció amb la pantalla directament amb el moviment corporal mitjançant un equip somatosensorial. Per a MacLeod et al. (2018), als SLE es necessiten múltiples pissarres interactives controlades pels estudiants o televisors de pantalla tàtil. Al-Sharhan (2017) afirma que entre de les tecnologies que s'utilitzen a les aules intel·ligents, la pissarra intel·ligent o interactiva i el projector de dades són essencials, i aporta una conceptualització detallada i una llista de les principals característiques de la pissarra intel·ligent interactiva en una aula intel·ligent.

3.1.2. Programari

Atenent que els SLE i les aules intel·ligents milloren amb la tecnologia, el programari i la programació són bàsics per donar resposta a les demandes concretes. És molt habitual trobar a la literatura referències al programari, però sovint sense concreció o sense una explicació detallada de les particularitats i característiques. Més concretament, l'expressió principal de programari es presenta mitjançant els sistemes de gestió d'aprenentatge comuns (Learning Management Systems, LMS). Tot i que s'utilitzen arreu i el seu ús per si mateix no fa una aula intel·ligent, alguns autors argumenten la possibilitat d'adaptar-los. Segons Kinshuk et al. (2016), els LMS actuals podrien evolucionar cap a entorns intel·ligents d'aprenentatge personal virtuals (iPLE) capaços de personalitzar la instrucció a les necessitats de cada aprenent. Chen et al. (2015) proposen integrar la seva iniciativa SCALE en un LMS. Ara bé, cap dels autors estudiats en aquest treball focalitza la investigació en LMS més enllà de la seva utilitat proporcionant continguts d'aprenentatge.

Paral·lelament, alguns estudis proposen sistemes o plataformes intel·ligents per a una aula intel·ligent i un aprenentatge intel·ligent. Aquests podrien ser complementaris a programes diferents de LMS i permetre que l'aprenentatge es duqués a terme no només al campus (D. Liu et al., 2017d), sinó que connectés l'aula i els entorns exteriors. Aquestes plataformes també aprofiten les dades recollides per autoalimentar-se i créixer seguint els principis de la intel·ligència artificial en la 4IR. Korozi et al. (2017) proposen LECTOR, una arquitectura de programari que busca recopilar, analitzar i emmagatzemar les metadades d'aprenentatge enregistrades. Jormanainen et al. (2018) presenten HiljaNet, una plataforma basada en internet de les coses. Li et al. (2018) presenten Smart Learning Partner (SLP), una plataforma d'anàlisi de dades i serveis intel·ligents de dades massives.

La ubicació dels estudiants a l'aula mitjançant GPS es podria classificar en altres categories, però també requereix programari. Com recorden Liu et al. (2017b): ofereixen els recursos d'aprenentatge relacionats amb l'entorn de l'aprenent segons la seva ubicació i l'estil d'aprenentatge, de manera que s'aconsegueix un aprenentatge adaptat i ubic.

3.1.3. *Tecnologies de la informació i nous paradigmes*

Els nous paradigmes, sobretot a partir de l'adveniment de la Quarta Revolució Industrial (4IR), remodelen els SLE i les aules intel·ligents per a donar resposta a les necessitats educatives actuals. Reforçant el que s'ha comentat als capítols anteriors, la literatura específica sobre SLE i aules intel·ligents mostra les tendències següents.

Entre les més esmentades, una de les tendències és Internet i la informàtica en núvol, ja que es busca que els entorns intel·ligents d'aprenentatge estiguin molt distribuïts i basats en el núvol (Chen et al., 2015). Es veuen exemples, com a Jemni i Khribi (2017), que prenen com a base ALECSO. Proposen un marc sobre aprenentatge intel·ligent amb l'objectiu d'un ús eficaç de les TIC en educació, el qual es basa en tres dimensions clau: aprenentatge obert, tecnologia mòbil i informàtica en núvol.

Les dades massives (*big data*) i les analítiques d'aprenentatge (*learning analytics*) també són un punt de mira pel que fa als SLE. Per exemple, Aguilar et al. (2017) expliquen com es poden utilitzar les tasques d'analítiques d'aprenentatge per recopilar i analitzar les dades acumulades en una aula intel·ligent. En el cas d'Ami-RIA (Mathioudakis et al., 2014), l'objectiu és informar el professor sobre les activitats dels estudiants i identificar debilitats potencials mitjançant el seguiment de les seves interaccions i generar mètriques de progrés i rendiment a tota l'aula. Diversos autors destaquen la importància de tractar les dades per millorar l'aprenentatge en un SLE o una aula intel·ligent.

L'ús d'internet de les coses (IdC) està estretament relacionat amb les tecnologies portables. La proposta de Freigang et al. (2018) es basa en el disseny dels SLE mitjançant l'ús d'IdC amb finalitats d'aprenentatge. A la plataforma HiljaNet anteriorment esmentada, El Mrabet i Moussa (2017) demostren el registre de l'assistència d'estudiants a través d'IdC. Chan et al. (2017) afirmen que IdC fa una classe més intel·ligent perquè tots els objectes estaran connectats al servidor o a Internet per al processament i el control de dades. També és aquesta una característica bàsica del treball realitzat per Uzelac et al. (2015).

La intel·ligència artificial (IA) s'esmenta en diversos estudis com a quelcom que s'ha d'aplicar als SLE i a l'aula intel·ligent. A partir d'aquestes mencions, no es revela una aplicació profunda a hores d'ara. L'estudi més rellevant és el de Li et al. (2018), que poden afirmar que tots els estudiants aspiren a obtenir un servei personalitzat i un servei intel·ligent en l'era del les dades massives, i això és el que ofereix SLP, una plataforma intel·ligent basada en *data mining* i intel·ligència artificial. A part, la intel·ligència artificial està en línia amb els SLE, ja que pot guiar els estudiants en les interaccions de manera més eficaç i eficient (Christensen et al., 2017).

La introducció de la realitat augmentada (RA) pot ajudar al procés d'aprenentatge de conceptes teòrics en una aula intel·ligent (Aguilar et al., 2017) perquè és una aplicació orientada a l'aprenent (Isaksson et al., 2017). S'expressen de la mateixa manera D. Liu et al. (2017b), afegint la seva qualitat immersiva i la capacitat de facilitar l'organització de l'aprenentatge col·laboratiu. Altres autors també parlen d'aprenentatge virtual i fins i tot de mons virtuals en 3D.

Finalment, en determinades ocasions també es valoren les xarxes socials per afavorir l'aprenentatge col·laboratiu en un SLE (Karoudis & Magoulas, 2017), tot i que no s'informa d'aplicacions concretes ni es consideren una línia elemental.

3.2. La dimensió pedagògica

En general està molt acceptat que la tecnologia s'ha d'integrar per millorar l'aprenentatge de l'estratègia pedagògica i les necessitats formatives dels estudiants (López, 2019). Així, tal com s'ha remarcat als capítols anteriors, la tecnologia és un instrument que permet beneficiar l'ensenyament i l'aprenentatge, i aquesta dimensió és essencial, bàsica, entesa com objectiu final en el qual repercuteix el benefici de totes les decisions i accions.

3.2.1. Continguts d'aprenentatge

El contingut que s'ha d'aprendre és el més esmentat en relació amb la dimensió de processos de l'aula intel·ligent. Normalment es proposa personalització gràcies als sistemes que permeten que els estudiants puguin personalitzar i adaptar els seus camins o necessitats en el marc dels objectius d'aprenentatge. S'expliquen, per exemple, els diversos nivells d'adaptació i precisió de les condicions d'aprenentatge diversificades (inclosos el currículum, el contingut del curs, l'estratègia i el suport, etc.) (Kinshuk et al., 2016). De forma similar, D. Liu et al. (2017c) parlen sobre l'adaptabilitat dels continguts d'aprenentatge per proporcionar allò que els aprenents volen aprendre i necessiten aprendre segons la seva personalitat. Per tant, en un entorn intel·ligent, els plans d'estudis i els cursos també haurien de facilitar la transformació de tradicional a intel·ligent (Segredo et al., 2017).

Els recursos i les eines poden ajudar tant a assolir un contingut ric d'aprenentatge com a realitzar activitats. Kinshuk et al. (2016) presenten el concepte "Education-as-a-Service", a través del qual els recursos educatius es fan fàcilment accessibles per als estudiants globals oferint-los com a servei. Per a Ha i Kim (2014), l'aprenentatge intel·ligent permet als estudiants tenir un entorn de comunicació convenient i recursos enriquits amb tecnologia, una idea que es repeteix a D. Liu et al. (2017a) i a altres estudis. Gràcies als SLE, l'instructor pot utilitzar molts materials d'aprenentatge digitalitzats per explicar amb més eficàcia (Jayahari, Nair, et al., 2017). Certament, hi ha moltes referències que reforcen una aproximació als recursos i eines en una aula intel·ligent.

Aguilar et al. (2018) proposen avaluar recomanacions basades en els coneixements sobre el perfil de l'alumne i el seu rendiment previ en activitats o recursos. D'altra banda, s'exposa un enfocament diferent a Wang i Wang (2017), amb un sistema prototip amb diverses activitats docents com ara donar suport a la conferència, preguntes i respostes entre professor i estudiants, proves d'aula, deures després de classe, elogis, etc.

3.2.2. Nova pedagogia i metodologies educatives

La literatura fa referència a processos conduïts pels actors, que són el professorat, els estudiants i els pares i mares, però sobretot als segons, ja que els estudiants són els agents protagonistes del seu propi aprenentatge. Hi ha diversos enfocaments de la pedagogia i la varietat de processos educatius en una gran quantitat de documents seleccionats. De vegades, sense justificació o raonament explícit i d'altres que expliquen bé com aplicar les teories de l'aprenentatge en un entorn intel·ligent. Seria tediós donar-ne detalls, de manera que la idea principal que cal remarcar és que el concepte SLE implica un canvi de mentalitat, una evolució i que ofereix múltiples vies d'acció. L'aprenentatge intel·ligent significa un nou paradigma d'aprenentatge (I. Ha & Kim, 2014), significa adoptar noves

pedagogies, noves metodologies, noves habilitats i competències per als ciutadans del segle XXI (Segredo et al., 2017).

És cert que es pot fer una menció especial a la pedagogia constructivista, que és la més referida en els treballs revisats en aquesta tesi. Li et al. (2018) expliquen la pedagogia constructivista com a base per a la seva investigació, i és que l'aula intel·ligent es basa en l'epistemologia constructivista (MacLeod et al., 2018).

Quant a les metodologies d'ensenyament i aprenentatge, la col·laboració i cooperació dels estudiants és molt comuna a l'hora de configurar una aula intel·ligent o un sistema d'aprenentatge intel·ligent. El mateix passa amb l'experimentació i l'aprenentatge basat en problemes. Ens podem referir en aquest punt a les metodologies llistades a Cebrián et al. (2020) (presentades a la secció 2.6.2) per explicar tendències en educació utilitzant les aules intel·ligents, tot i que no es tracta d'una llista restrictiva: aprenentatge basat en projectes o problemes, aprenentatge experiencial, estudis de cas, simulacions o jocs de rol, i investigació cooperativa o col·laborativa.

3.2.3. Característiques del sistema

En aquest apartat s'han agrupat característiques dels SLE i les aules intel·ligents que tot i ser propietats de l'ecosistema, es consideren necessàries per donar resposta amb qualitat a la dimensió pedagògica. Estan estretament lligades a la pedagogia i als atributs de la tecnologia educativa, o fins i tot al maquinari, i són a la part final dels processos realitzats pels actors amb l'ajut d'un sistema que fa l'entorn intel·ligent.

L'aprenentatge personalitzat és la regla bàsica per al disseny dels SLE (D. Liu et al., 2017b). De la mateixa forma, Boulanger et al. (2015) afirmen que la personalització és una característica clau que cal atendre, i és que una de les característiques principals d'una aula intel·ligent és la capacitat d'adaptació a les necessitats de l'alumne (Aguilar et al., 2017). Segons el perfil d'aprenentatge de cada alumne, Kinshuk et al. (2016) proporcionen a educadors i aprenents un enfocament personalitzat de l'aprenentatge en què els estudiants poden aprofundir en els interessos propis. L'ecosistema intel·ligent d'aprenentatge electrònic presentat a Ouf et al. (2017) també proporciona personalització a l'alumne. Aquestes referències apareixen constantment a la literatura de SLE i aula intel·ligent.

El compromís i la motivació també són un altre factor clau en els SLE. Els entorns intel·ligents poden ajudar a estimular la motivació de l'aprenentatge (X. Liu et al., 2016), i la idea que els SLE i l'aula intel·ligent siguin motivadors i atractius es recupera en gairebé la meitat dels documents seleccionats. En la investigació feta per Van De Bogart i Wichadee (2016) s'informa que la motivació de l'aprenentatge a l'aula intel·ligent proposada és moderada, un aspecte positiu, tot i que es pot millorar, però en termes generals és una característica que es reporta positiva i beneficiosa.

L'eficàcia i l'eficiència també són característiques necessàries a les aules intel·ligents, reportades de forma recursiva. Aquestes característiques o qualitats es presenten en termes diferents, però transmeten la necessitat de millorar tot el sistema. D'una banda, es pot referir a l'aprenentatge, ja que es busca que sigui fàcil, compromès i eficaç (D. Liu et al., 2017a). D'altra banda, pot referir-se a un altre tipus d'eficiència, com el sistema d'estalvi en energia per a aules intel·ligents requerit per Pirahandeh i Kim (2017), l'eficàcia percebuda de les tecnologies educatives estudiada per Van De

Bogart i Wichadee (2016) o, en general, les millors condicions d'aprenentatge, físiques i metodològiques, procedint d'una manera eficient i satisfactòria (Al-Sharhan, 2017).

La connexió i les interaccions són necessàries als SLE per construir relacions personals de suport i d'ajuda amb els companys o professors dels estudiants (MacLeod et al., 2018). Sovint s'esmenten altres tipus de connectivitat i construcció de comunitats. En aquesta línia, els SLE s'han de veure com a escenaris que permeten la interacció com a nucli de l'aprenentatge (X. Liu et al., 2016). En l'estudi realitzat per Li et al. (2018), la variable independent són les preferències dels professors de servei previ per a la interacció social a l'aula intel·ligent. Altres autors fan referència a les interaccions entre professors i estudiants i el mateix espai, o semiòtica espacial, així com a la relació entre la interacció home-ordinador i els edificis (Sardinha et al., 2017).

Si la personalització és essencial, l'autoregulació i l'autonomia també són un tema rellevant en l'aprenentatge intel·ligent. Els SLE i les aules intel·ligents són entorns o espais on s'ha de potenciar l'autonomia de l'alumne. Als SLE, l'alumne vol establir objectius personals més alts, per exemple innovar (aprendre coses millors) o desenvolupar habilitats d'autoregulació (aprendre coses millor) (Isaksson et al., 2017). Normalment, aquesta autoregulació es veu com una característica proporcionada pels SLE per ajudar professors i estudiants, però en alguns casos fins i tot podem llegir que els SLE donen suport a l'autoaprenentatge sense professors, amb continguts d'aprenentatge, objectius d'aprenentatge predeterminats i avaluació (D. Liu et al., 2017b). Es pot afirmar que l'aprenentatge als SLE es serveix de mètodes que afavoreixen l'autoregulació i se centra en els humans (Durán-Sánchez et al., 2018).

La contextualització, el context d'ús i la consciència del context es refereixen a proporcionar informació i/o serveis rellevants a la tasca a un estudiant que combina l'aula física amb entorns virtuals d'aprenentatge (Kinshuk et al., 2016), o al context d'aprenentatge. Alguns exemples indiquen que els professors de determinades escoles poden utilitzar HiljaNet com a plataforma per construir exercicis i projectes contextualitzats (Jormanainen et al., 2018). El sistema SCALE proposat per Boulanger et al. (2015) no se centra tant en el context físic d'un estudiant, sinó en el context d'aprenentatge de l'estudiant (és a dir, els coneixements de base). I en la mateixa línia, perquè el sistema exposat per Aguilar et al. (2018) funcioni correctament, hi ha d'haver un perfil d'usuari ampliat, un perfil d'ítem ampliat i el coneixement del context i el domini de la matèria.

El seguiment apareix com una característica del sistema que cal considerar. Aquí, diferenciem els sistemes de seguiment físic per al reconeixement (seguiment d'ulls, seguiment d'emocions, seguiment de moviments, etc.) del seguiment o supervisió de l'aprenentatge, més relacionat amb el *big data* i analítiques d'aprenentatge o *learning analytics*. Korozi et al. (2017) centren el seu estudi en l'ús de les analítiques d'aprenentatge en una aula intel·ligent, que podria ajudar en termes de predir el rendiment de l'alumne, descobrir els diferents patrons d'aprenentatge de cada estudiant, analitzar la col·laboració i la interacció, analitzar les estratègies d'avaluació durant el procés d'aprenentatge, analitzar la motivació dels estudiants en el context d'un procés d'aprenentatge, etc.

Finalment, la tecnologia pot modificar processos, simplificar i automatitzar diversos nivells de flux de treball i provocar altres canvis (Durán-Sánchez et al., 2018). Per exemple, Kim et al. (2018) presenten un sistema d'aula intel·ligent per proporcionar comentaris en temps real al professor o

presentador que li permet fer els ajustaments o correccions necessàries al comportament no verbal. Es tracta d'un sistema automatitzat per ordinador que s'utilitza a les aules físiques.

3.3. Condicions ambientals

Les aules intel·ligents han d'oferir sistemes de control i regulació respecte de la llum, el so, la temperatura, la qualitat de l'aire i altres condicions ambientals derivades o relacionades. Hi ha evidències que suggereixen que controlar aquests factors a les aules pot proporcionar als alumnes un ambient més còmode (D. Liu et al., 2017b), que en millori el rendiment (Cech, 2016) i que afavoreixi el seu progrés en l'aprenentatge (Barrett et al., 2017). L'arquitectura i el disseny funcional en una aula intel·ligent han d'assegurar la capacitat d'integrar sistemes per autoregular tots els factors ambientals (Ricciardi & Buratti, 2018).

3.3.1. Arquitectura

El disseny funcional de l'espai d'una aula intel·ligent pot ajudar els estudiants amb millors possibilitats d'aprenentatge. MacLeod et al. (2018) confirmen que l'aula intel·ligent proporciona capacitat física per satisfer còmodament i eficaçment les necessitats flexibles de l'espai.

Liu et al. (2017e) analitzen la disposició espacial en diversos tipus d'aules, i altres autors confirmen el valor de l'arquitectura. Per exemple, Sardinha et al. (2017) han dut a terme investigacions que conclouen que l'espai físic de l'aula inclou diverses dimensions: d'aprenentatge, social, cultural, arquitectònica i tecnològica. Per a aquests autors, falta una innovadora estratègia de disseny d'interiors que englobi i compleixi les dimensions de l'espai físic de l'aula. En realitat, i malgrat la seva importància, Freigang et al. (2018) també alerten que l'arquitectura d'espais i els efectes del disseny espacial en els processos d'aprenentatge no tenen encara un paper suficient en la investigació actual sobre SLE.

L'equipament és una altra característica que cal tenir en compte a l'hora d'abordar l'estructuració arquitectònica i el disseny dels SLE i les aules intel·ligents. Parlem, per exemple, de taules i cadires que es poden moure i muntar fàcilment (D. Liu et al., 2017e). Van De Bogart i Wichadee (2016) informen per la seva experiència que, des del punt de vista dels estudiants, el que millor es valora de l'aula intel·ligent és la tecnologia moderna, l'ambient relaxat, les cadires mòbils i el disseny d'interiors. La decoració també s'esmenta en altres obres (Cech, 2016).

3.3.2. Il·luminació

Els principals aspectes a considerar en relació amb la il·luminació de l'aula amb efectes sobre els processos d'ensenyament i aprenentatge són la font lluminosa, la intensitat de la llum i la temperatura del color correlacionada.

Font lluminosa. La procedència de la llum pot ser natural o artificial. En general, es pot acordar que una combinació d'ambdues fonts és beneficiosa. És preferible aprofitar la llum natural sense incidència directa i controlant com es filtra (finestres), però s'han de regular els valors d'intensitat i temperatura del color mitjançant la llum artificial per garantir una il·luminació òptima. De fet, la normativa (UNE-EN 12.464-1:2012, 2012) indica que, en interiors amb finestres laterals, la llum natural

disponible disminueix ràpidament amb la distància a la finestra i cal col·locar enllumenat suplementari per tal de mantenir la il·luminació requerida, així com per equilibrar la distribució de luminàncies en tots els espais i racons de l'aula. Per tant, la llum artificial es considera fonamental per a un entorn d'aprenentatge efectiu i obtenir el màxim potencial dels alumnes (Mott et al., 2014). En estudis de Barrett i companyia, es prova preferible l'existència d'alts valors d'il·luminació natural i artificial, encara que es puntualitza que la incidència directa de llum natural pot provocar reflexos (Barrett et al., 2013, 2015, 2017). Des d'una aproximació biològica, a més, es recomana que la il·luminació artificial segueixi el cicle circadiari de llum natural, especialment pel que fa a la temperatura del color (Lin et al., 2019).

Intensitat de la llum. La intensitat de la llum es considera òptima per a ambients de treball en valors compresos entre els 300 i els 500 lux. La normativa europea dicta que la intensitat mínima en centres educatius ha de ser de 300 lux (García, 2017), i segons la norma ISO-8995 es recomana que la lluminositat mínima en aules d'educació superior sigui de 500 lux (Lara & Sangucho, 2017). És freqüent trobar aules que presenten valors que oscil·len en el rang de 50 i 200 lux (Martinez-Nicolas et al., 2011), que resulten insuficients i poden provocar fatiga ocular, cansament, mal de cap o estrès (LedBox, 2020), i com a conseqüència, distraccions i pitjor rendiment. Així mateix, intensitats molt elevades, d'un rang superior als 1.000 lux, com les que poden trobar-se en sales d'operacions i espais de treballs amb requeriments visuals especials (LedBox, 2020), són excessives i també poden causar efectes negatius als estudiants en una aula, especialment si la exposició és perllongada.

Temperatura del color correlacionada (més coneguda en anglès com Correlated Color Temperature, CCT). Considerant els efectes psicològics de la CCT, la societat ha tendit a ambientar, per exemple, salons de te amb butaques i llums de llum càlida per relaxar, en contraposició a biblioteques i sales d'espera en hospitals amb cadires rígides i llum freda i intensa. Pel que fa a les aules, una il·luminació amb temperatura de color baixa, de 2.900K o menys, càlida, amb tonalitat vermelloso groguenca, tradicionalment no s'ha considerat apropiada. Les aules escolars acostumen a presentar uns nivells de CCT d'entre 3.000K i 3.700K, que encara que és relativament neutra, tendeix a freda. Això sí, hi ha estudis que indiquen que una il·luminació amb temperatura de color més alta, de 5.000K o més, freda, amb tonalitat blanca blavosa, és beneficiosa per als alumnes (Hartstein et al., 2018). Diversos estudis suggereixen que el sistema d'il·luminació dinàmic hauria de permetre realitzar activitats com classes magistrals o exàmens amb una llum freda, i fer treballs en grup o tasques que requereixin reflexió, fins i tot les més creatives, amb una llum més càlida (Hansen et al., 2018; Mott et al., 2014; Slegers et al., 2013).

3.3.3. Acústica

S'ha de considerar l'acústica per controlar el temps de reverberació (Pääkkönen et al., 2015), els sorolls de l'exterior (Secchi et al., 2018) i l'interior de l'aula (Tristán et al., 2016), per evitar efectes de ressò o eco (Uzelac et al., 2018) i per millorar la qualitat del so en general (Radosz, 2013). Aquests aspectes afecten directament el procés d'aprenentatge dels estudiants. Els casos particulars són els d'alumnes sords i amb problemes d'audició (Grempe & Easterbrooks, 2018) i els aprenents amb autisme (Kanakri et al., 2017), entre d'altres. A continuació es revisen els principals aspectes amb relació a l'acústica de l'aula, que poden afectar tant alumnes com docents. Mentre que el soroll i la reverberació són fenòmens físics, tant la claredat del missatge com l'índex de transmissió de la paraula

són índexs de referència relacionats amb la intel·ligibilitat, i, per tant, amb la comunicació en el procés d'aprenentatge.

Soroll. El soroll és el paràmetre acústic més rellevant que afecta professors i estudiants a l'aula (Augustyńska et al., 2010; Tiesler et al., 2015; Yassin et al., 2016). Pot procedir de fonts alienes a l'alumnat, el qual es considera soroll passiu, o pot procedir dels mateixos estudiants, el qual es considera soroll actiu de la classe. El soroll passiu pot provenir de l'exterior de l'aula (sons de trànsit, sorolls de pati) o de l'interior de l'edifici (soroll de màquines de ventilació, calefacció i aparells electrònics) (Bluyssen, 2017). L'Organització Mundial de la Salut va especificar l'estàndard de 35 dB de soroll de fons per al procés d'aprenentatge a l'aula (World Health Organization, 2015), i hi ha estudis que consideren 40 dB com a contaminació acústica durant la classe (Hadzi-Nikolova et al., 2013; Yassin et al., 2016). D'altra banda, el soroll actiu inclou la manipulació d'objectes a l'aula, el moviment de mobiliari (cadires, taules...), el moviment i parla dels alumnes, i el seu nivell de decibels depèn de la matèria objecte d'aprenentatge, de l'edat de l'alumnat i de la metodologia aplicada a l'aula (Sala & Rantala, 2016).

Reverberació. La reverberació es mesura en segons, a través del temps de reverberació (*Reverberation Time* - RT). És un fenomen que consisteix en una lleu permanència del so una vegada que la font original l'ha deixat d'emetre. En altres paraules, és el fenomen de reflexió que es produeix quan les ones de so xoquen contra el material. Afecta directament la comunicació a l'aula perquè empitjora el soroll (Sodsri, 2012). També afecta el clima de treball a l'aula i l'estat emocional de professors i alumnes (Sarlati et al., 2014). No hi ha una mesura estàndard de RT per a tots els ambients i metodologies de classe. Per exemple, quan la font d'emissió del missatge està més a prop que la font de soroll, l'òptim RT és 0, però quan la font d'emissió de soroll està més a prop que l'emissor del missatge, certa quantitat de reverberació és positiva (Hodgson & Nosal, 2002; Mckellin et al., 2011).

Claredat del missatge i índex de transmissió de la paraula. La claredat del missatge és la mesura que descriu la qualitat de recepció del missatge. Té una relació directa amb les ones reflectants de la reverberació i amb la posició del receptor. Una claredat òptima del missatge a l'aula ha de tenir en compte que la quantitat de so directe que arriba a la posició de l'alumne ha de ser més gran que el so reflectit (Youssef et al., 2014). D'altra banda, l'índex de transmissió de la paraula (més conegut en anglès com *Speech Transmission Index*, STI) és la mesura que relaciona les ones emeses pel receptor amb el soroll i la reverberació. S'obté un índex de 0 a 1, segons el qual 1 es considera el valor òptim de transmissió del missatge. A l'aula, certa reverberació serà necessària per a la transmissió de la paraula, però l'excés en redueix el STI i, per tant, la comunicació entre docent i alumne (Garcia et al., 2014). L'òptim STI de l'aula s'aconsegueix entre 0,4 s i 0,6 s (Nijs & Rychtáriková, 2011).

3.3.4. Qualitat de l'aire

Els principals aspectes a considerar amb relació a la qualitat de l'aire i l'ambient d'una aula, en un sentit ampli, es poden classificar en la temperatura i la humitat, els nivells d'oxigen i CO₂, la pressió atmosfèrica, la pol·lució i els compostos orgànics volàtils, així com possibles olors.

Nivells d'oxigen i CO₂. Les aules tradicionals són espais tancats que es ventilen puntualment mitjançant l'obertura de finestres i portes. Això comporta empitjorar la qualitat de l'aire respirat a mesura que avancen les classes, fins que es ventilen, moment en què es produeix una alteració inadequada d'altres condicions (per exemple, entrada d'aire fred a l'hivern, entrada de pol·len a la

primavera, entrada de soroll exterior, etc.). És obvi que els espais han de garantir nivells òptims d'oxigen i un control efectiu de la concentració de diòxid de carboni. Encara que hi ha evidència que grans valors de CO₂ tenen un impacte advers en els estudiants, que poden perdre concentració i capacitat per atendre les tasques requerides (Uzelac et al., 2015), la veritat és que poques escoles o centres educatius regulen i controlen aquest aspecte de forma apropiada, malgrat ser un tema de màxima urgència especialment a causa de la crisi sanitària causada per la pandèmia de la COVID-19 agreujada durant l'any 2020.

Pol·lució, compostos orgànics volàtils (VOC) i gasos. La qualitat de l'aire ha de ser òptima en qualsevol espai que habiti l'ésser humà. Així mateix, s'ha d'assegurar a l'aula el control i la regulació de compostos orgànics en forma de vapors o gasos. Les reaccions químiques que tenen lloc en l'ambient poden procedir d'influència externa i fins i tot de processos interns com tasques de neteja (o falta d'higiene) i dels mateixos alumnes i ocupants de l'espai (Bluyssen, 2017). Addicionalment, s'està demostrant que els virus (com podria ser la COVID-19) es transmeten per múltiples vies aèries com també aerosols i pols (Asadi et al., 2020).

Pressió atmosfèrica. Un dels aspectes més desconeguts però ja plantejats com a rellevants per ser controlats a l'aula és la pressió atmosfèrica. Heppell (2020a) presenta, en col·laboració amb Jisc, una eina dissenyada per mesurar les condicions ambientals de l'aula, el Learnometer, entre les funcions de la qual es destaca el càlcul de la pressió atmosfèrica. Segons Heppell (2020b), la pressió pot ser causa de mals de cap que comporten distracció i possible pèrdua de concentració.

Olors. Les olors inesperades o persistents poden afectar el funcionament normal d'una classe. En negatiu, es reporten casos molt concrets referents a olors de fonts externes com ara emissions de vehicles motoritzats o pudors de clavegueram (Radwan & Issa, 2014). Fins i tot la pròpia olor generada pels alumnes tancats en una aula durant les sessions de classe és un repte que s'ha de solucionar en espais d'aprenentatge. No obstant això, les olors de fonts externes també poden tenir efectes positius, com l'ús puntual de perfums per provocar estímuls.

3.3.5. Humitat i temperatura

Uzelac et al. (2015) van dur a terme un experiment per mesurar paràmetres de l'entorn físic o de l'aula, els quals poden afectar el focus o l'atenció dels estudiants cap a la classe. Entre els paràmetres, es va utilitzar la fórmula humidex, que és una fusió de temperatura i humitat. El seu experiment va demostrar quina és la calor que realment sent una persona, sense tenir en compte la percepció real dels subjectes. Els resultats indiquen que els estudiants estan més concentrats quan l'humidex és inferior, cosa que significa que els estudiants se senten menys "calents". Hi ha d'haver una temperatura agradable constant per no alterar les condicions dels subjectes, i la humitat també s'ha de regular d'acord amb les condicions de la zona i època de l'any.

Capítol 4. Anàlisi de les condicions ambientals que cal regular a les aules intel·ligents per millorar els processos d'ensenyament-aprenentatge

Aquest capítol adapta informació parcial de la Publicació 4 i Publicació 5

Fins fa pocs anys, les aules de qualsevol centre educatiu eren sales amb cadires i taules disposades en files orientades cap a una pissarra des d'on el mestre o professor impartia les classes magistrals. Si bé en l'actualitat noves metodologies d'aprenentatge i noves orientacions pedagògiques es van incorporant a la pràctica docent, en general les aules encara reben aquests innovacions educatives amb aquesta disposició física dels elements antiga i rígida, heretada d'una tradició passada. No obstant això —i aquí sorgeix un problema—, s'estan fent propostes de modernització que pretenen convertir l'aula en un espai més flexible (per exemple, Bosch, 2018; JISC, 2006; Lehtniemi, 2016), però sense considerar totes les possibilitats d'adaptació que es podrien esperar al segle XXI per aproximar-se al que coneixem com aules intel·ligents o *smart classrooms*.

Com hem vist al capítol 3, les aules intel·ligents són les que donen resposta a tres dimensions de característiques: la tecnològica o digital, la de processos o pedagògica i l'ambiental (G. [@smart_open] Bautista, 2019; Palau & Mogas, 2019). Amb molta més evidència que amb qualsevol altre factor, les condicions ambientals no es regulen mai o quasi mai, tot i que les tecnologies de la 4IR permetrien proposar sistemes de regulació i automatització ja demostrats influents segons diversos estudis. En aquest capítol es fa una revisió més exhaustiva de les condicions ambientals, i més concretament dels dos factors que s'han identificat com a més determinants i influents en els processos d'ensenyament i aprenentatge: la il·luminació i l'acústica.

4.1. Com afecta la il·luminació al rendiment dels alumnes?

La societat cada vegada és més conscient de la importància dels elements arquitectònics i físics dels espais d'aprenentatge per a la productivitat i l'eficiència de les pràctiques educatives. D'aquests, la il·luminació es pot considerar un dels més significatius. Monteoliva et al. (2016) afirmen que la il·luminació és una de les característiques físiques més crítiques en un espai d'aprenentatge, i Barrett et al. (2017) identifiquen la il·luminació i la flexibilitat com a factors de necessària consideració quan es parla d'espais educatius.

D'acord amb la literatura publicada en relació amb la il·luminació de l'aula, es pot afirmar que hi ha set aspectes diferenciats en els seus enfocaments (**taula 2**).

Taula 2. Classificació dels aspectes estudiats

Aspecte	Descripció
<i>Automatització</i>	Molts estudis sobre la il·luminació a l'aula conclouen que l'automatització és fonamental per avançar cap a l'aula intel·ligent.
<i>Confort de l'estudiant</i>	Molts estudis se centren principalment en la percepció que tenen els usuaris de la comoditat quant a il·luminació de l'aula. La tècnica més utilitzada per recollir dades és el qüestionari (autopercepció).
<i>Sostenibilitat</i>	Hi ha estudis que se centren en l'estalvi d'energia a les aules o en sistemes d'il·luminació més eficients. Estan relacionats amb l'aula intel·ligent per la seva contribució com a espai sostenible <i>per se</i> .
<i>Processos cognitius</i>	Aquests estudis fan servir diversos mètodes per estudiar l'impacte de la il·luminació en els processos cognitius. Els processos cognitius estudiats són variats. Aquest aspecte mereixerà tota l'atenció en el nostre estudi.
<i>Temes tècnics</i>	Diversos estudis analitzen la il·luminació de l'aula des d'un punt de vista tècnic i tracten qüestions com la llum del dia i la reflexió de la llum, o sistemes informàtics per controlar i proposar millores en els sistemes d'il·luminació a centres educatius.
<i>Disseny de l'espai</i>	Alguns articles adopten punts de vista arquitectònics i discuteixen com es podria adaptar la il·luminació a millors dissenys d'espais d'aprenentatge, des d'una perspectiva pràctica o estètica.
<i>Impacte en la salut</i>	Determinats articles estudien l'impacte de la il·luminació en la salut dels estudiants. La majoria tracten sobre la miopia.

A continuació ens revisem els factors de la il·luminació que cal atendre i la seva afectació en els processos cognitius.

Els efectes de la il·luminació de l'aula s'aborden 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.

El tipus de llum que millora més o promou els processos d'aprenentatge és un punt de debat. Diversos estudis han demostrat que la il·luminació LED és la millor opció per a un impacte positiu en els processos d'aprenentatge dels estudiants. En aquest sentit, Pulay i Williamson (2019) van comparar el compromís dels estudiants d'educació infantil a aules equipades amb il·luminació LED i a aules equipades amb il·luminació fluorescent. Els resultats van revelar una millor participació a l'aula il·luminada amb LEDs, i la diferència va ser encara més gran en estudiants amb discapacitats o necessitats educatives especials. De la mateixa manera, després d'algunes investigacions experimentals en una aula d'estudiants de psicologia, Eo i Choi (2014) també van trobar que les làmpades de LED tenien un millor impacte en l'aprenentatge i en els sentiments que la il·luminació fluorescent.

Pel que fa a les mesures tècniques bàsiques d'il·luminació, l'interès en la recerca publicada se centra en els efectes de la temperatura de color correlacionada (CCT), mesurada en graus Kelvin (K), i en la intensitat de la il·luminació, mesurada en lux (lx). La majoria dels documents recuperats en aquesta tesi es basen en la temperatura del color, mentre que només uns quants tracten la intensitat (i sempre com a complement al CCT).

La llum ambiental CCT té un impacte directe en els escenaris d'aprenentatge, ja que pot afectar la capacitat d'atenció dels estudiants. Una CCT baixa, associada a atmosferes més càlides amb llum a l'espectre vermell, taronja o groc, no és adequada per a determinades activitats que es duen a terme a les aules, com pot ser una classe magistral o un examen; mentre que una CCT més alta, associada a la llum blava o blanca, pot afavorir l'alerta i un millor rendiment en aquests casos. Per tant, fins ara a les aules s'ha considerat més apropiat utilitzar llum neutra tendint a freda. En aquest sentit, Hartstein et al. (2018) han mostrat els resultats de l'exposició dels nens en edat preescolar a diferents nivells de CCT, i els seus resultats mostren que el canvi de tasca es millora considerablement a CCT més elevada (combinant 3500K i 5000K); és a dir, l'ús de més llum blava millora l'alerta i el rendiment dels alumnes joves. Keis et al. (2014) també van obtenir resultats que van mostrar els beneficis d'una CCT freda en el rendiment dels estudiants, en particular una velocitat de processament cognitiu més gran i una millor concentració. Aquests autors afirmen que la il·luminació blanca enriquida amb blau sembla influir principalment en el processament d'informació bàsica, ja que no s'han trobat en els seus experiments efectes en la codificació i recuperació de memòries a curt termini.

Ara bé, podem afirmar que la il·luminació no s'ha de fixar. Els paràmetres lumínics haurien de variar segons les activitats que es realitzen a l'aula. Choi i Suk (2016) proposen un sistema d'il·luminació dinàmic per a un entorn d'aprenentatge intel·ligent. Van dur a terme tres estudis (amb tres prearranjaments d'il·luminació: 3500K, 5000K i 6500K) i van concloure que la il·luminació dinàmica pot fer que els entorns d'aprenentatge siguin més intel·ligents. La il·luminació dinàmica també ha estat explorada per autors com Slegers et al. (2013), que van fer tres estudis sobre com un

sistema d'il·luminació dinàmica afecta la concentració dels nens de les escoles de primària holandeses. També van concloure que hi va haver una influència positiva en processos d'aprenentatge que requerien una càrrega cognitiva elevada. Ara bé, val a dir que tot i que els suposats beneficis d'una CCT baixa estan proposats, no hi ha documentació fefaent que pugui confirmar la teoria amb els principis del mètode científic.

Una altra tendència de la investigació és el contrast entre la llum del dia i la llum artificial. La investigació feta per Barrett et al. (2013, 2015, 2017) identifica la naturalitat com un factor important en el disseny físic de les aules, ja que està directament relacionada amb el progrés dels estudiants. Els autors van analitzar set paràmetres del disseny de l'aula, i la il·luminació va obtenir la correlació més alta amb el progrés general. El seu estudi demostra que com més gran és la quantitat de llum natural i elèctrica, però sense llum solar directa, més òptim és el condicionament de l'espai. Es va trobar també que massa llum solar directa a l'aula causava enlluernament i reflexos, especialment si s'utilitzaven pissarres interactives.

Els estudis realitzats per Mott et al. (2014) també sostenen de forma provada la tesi segons la qual la il·luminació artificial té un paper fonamental per ajudar a crear un entorn d'aprenentatge eficaç per assegurar que els nens assoleixin tot el seu potencial. En els seus estudis de cas, els estudiants funcionen millor amb una il·luminació d'alta intensitat (però sense enlluernaments), que els autors anomenen il·luminació de focus.

Tot i això, els mateixos autors (per exemple, Barrett et al., 2017) accepten que altres investigacions científiques demostren el contrari: és a dir, que s'ha vist que la llum del dia és positiva per a l'aprenentatge a les escoles. Per tant, el repte és trobar l'equilibri per obtenir bones condicions d'il·luminació ambiental.

Els aspectes més innovadors de la il·luminació a les aules solen centrar-se en sistemes automatitzats. Aquest és el cas dels estudis de Lee et al. (2016, 2015), que van desenvolupar i implementar un sistema de control d'il·luminació basat en la el context d'aplicació. Els autors pretenien millorar l'eficiència de l'aprenentatge a l'aula, però les dades que van recollir només els van permetre fer una proposta del sistema i van haver de deixar l'estudi de l'eficiència i l'atenció per a futures investigacions. Altres investigadors han proposat sistemes d'automatització (vegeu el focus més comú a la **taula 2**), però cap d'ells n'ha analitzat l'efecte directe en els processos cognitius.

Tots els treballs aquí analitzats informen d'un impacte directe de la il·luminació de l'aula en el rendiment dels estudiants (concentració, atenció, èxit, etc.). Només l'estudi de Murillo i Martínez-Garrido (2012) afirma que hi ha una manca de correlació entre la il·luminació i qualsevol variable d'aprenentatge. Tot i que la seva investigació està científicament ben preparada, la seva metodologia no sembla justificar aquesta conclusió. Per tant, la nostra revisió bibliogràfica aquí presentada apunta que la il·luminació de l'aula és un aspecte rellevant que cal considerar i que mitjançant l'automatització amb tecnologies de la 4IR es pot arribar a proposar solucions adaptatives que ajudin al desplegament de les aules intel·ligents. La part experimental d'aquesta tesi se centrarà en aquest problema identificat.

4.2. Com afecta l'acústica de l'aula a professors i a estudiants?

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) (Mattys et al., 2012). 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). 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).

S'estan desenvolupant solucions tecnològiques per a aules intel·ligents juntament amb la 4IR. Eines com SoundOut poden servir als educadors per mesurar les condicions acústiques bàsiques de les aules (Mealings, 2019). La 4IR introdueix en educació dades massives, intel·ligència artificial, internet de les coses i altres possibilitats (Zhong et al., 2017). També permet millorar la personalització de les experiències d'aprenentatge i oferir un sistema d'ensenyament molt més eficaç (Mogas et al., 2020). Mitjançant l'ús dels avenços esmentats o solucions menys complexes, el control de l'acústica a les aules intel·ligents apareix en forma de sistemes per millorar la qualitat del so i reduir el soroll (Russo & Ruggiero, 2019), sistemes per donar informació al professorat sobre les necessitats actuals (Jayahari, Beenu, et al., 2017), dispositius per controlar l'exposició al so (Guntha et al., 2016) i dissenys destinats a proporcionar configuracions més ecològiques i sostenibles (Tahsildoost & Zomorodian, 2018). Les solucions futures funcionaran cap a l'automatització de determinats processos (Mogas et al., 2020). Aquests avenços tecnològics amb una millor comprensió de professors, estudiants i entorn permetran que les aules siguin més intel·ligents en la nova era (Shahroom & Hussin, 2018).

El disseny d'escoles intel·ligents i aules intel·ligents guanya popularitat. Aquests espais haurien de poder confiar en l'acústica per oferir la millor configuració per als processos que hi tenen lloc i proporcionar opcions per regular paràmetres quan sigui possible. Cal tenir en compte requisits com ara qüestions arquitectòniques, inclosos els materials ecològics (Iannace et al., 2014; Trematerra & Lombardi, 2017). De fet, això no només és important per a professors i aprenents, sinó que la sostenibilitat també té un paper clau en acústica per a aules intel·ligents (Roy, 2010). Pel que fa a l'edat dels estudiants, les aules intel·ligents poden acollir qualsevol grau, des d'educació infantil fins a l'educació superior, però normalment es destinen als més grans (de secundària a universitat). S'hauria d'explorar millor amb els nens més petits, ja que requereixen millors condicions acústiques per aconseguir un reconeixement de frases equivalent als seus companys més grans i adults (Wróblewski et al., 2012).

No hi ha proves sobre l'eficàcia de les estratègies per controlar aquest entorn mitjançant el disseny acústic de les aules (Reinten et al., 2017), però la influència de l'entorn sonor en el rendiment és una preocupació; a continuació es presenten els paràmetres que caldria considerar.

4.2.1. Paràmetres acústics a considerar a les aules escolars

Hi ha quatre variables físiques o paràmetres importants implicats en les condicions acústiques de les aules escolars, tal com es mostra a la **figura 7**. Aquestes quatre variables estan estretament relacionades entre si, però cal recordar que l'emascarament és elemental per entendre la recepció de la parla en entorns sorollosos i reverberants. Hi ha diverses degradacions ambientals i cal tenir en compte la distinció entre senyals competitiu, que condueixen a l'emascarament energètic, i senyals competidors, que causen distorsió sense emascarament energètic (Mattys et al., 2012).



Figura 7. Paràmetres a considerar quant a l'acústica de l'aula

El soroll es mesura en decibels (dB - dBA) i és el paràmetre més significatiu dels estudis recuperats. Afecta estudiants i professors tant pel que fa al rendiment acadèmic com als problemes de salut (Augustyńska et al., 2010; Tiesler et al., 2015; Yassin et al., 2016). El temps de reverberació (RT) i l'índex de transmissió de la parla (STI) es proposen generalment com a mitjà per mesurar com escolten els estudiants als entorns de l'aula. Hi ha debats freqüents sobre quins d'aquests dos factors estudiats habitualment representen realment les condicions acústiques a les aules (Shams & Ramakrishnan, 2012). De fet, la reverberació és el factor més destacat de la literatura i també és el paràmetre de mesura acústica més referenciat (Gómez & Barrigón, 2015; Mikulski & Radosz, 2011). Hi ha una relació important entre RT i STI. L'augment de RT pot afectar negativament la intel·ligibilitat de la parla i, per tant, ha de ser òptim per fer intel·ligible la parla del professor (Shams & Ramakrishnan, 2012). La claredat de la parla o del missatge és el quart paràmetre principal, ja que té un impacte en l'aprenentatge i l'atenció dels estudiants (Drahorád et al., 2016).

4.2.1.1. Soroll de fons i sorolls d'activitat

A l'aula, el soroll pot provenir d'entrades externes en forma de soroll de fons o directament dels estudiants com a sorolls d'activitat. El soroll de fons pot originar-se a l'exterior (sons del trànsit, sorolls als passadissos, sorolls del pati) o a l'interior (soroll passiu d'equips com ara calefacció, ventilació, aire condicionat i dispositius tecnològics) (Bluyssen, 2017). Aquests aspectes contribueixen a un augment del soroll independentment de l'activitat a l'aula. Tal com s'explica a les seccions següents, el soroll de fons té un efecte directe en estudiants (Persson-Waye et al., 2019) i professors (Karjalainen et al., 2020).

Els sorolls d'activitat, en canvi, provenen directament dels mateixos estudiants i inclouen el maneig de diversos objectes, el canvi de cadires i taules, el desplaçament i la conversa (Sala & Rantala, 2016). Els nivells de soroll d'activitat varien en funció de la matèria que s'imparteixi, del nombre i l'edat dels estudiants i de la metodologia pedagògica (Sala & Rantala, 2016). L'OMS (World Health Organization, 2015) especifica un nivell de soroll de fons estàndard de 35 dBA durant l'ensenyament

de les lliçons com a pauta. Per a una correcta transmissió del discurs a l'aula, una mesura de 40 dB es considera contaminació acústica (Hadzi-Nikolova et al., 2013; Yassin et al., 2016).

4.2.1.2. *Temps de reverberació*

La reverberació és el fenomen acústic de reflexió que es produeix en un recinte quan les ones sonores xoquen contra el material de construcció. El paràmetre que permet quantificar la reverberació d'una aula és el temps de reverberació (RT), que es defineix com el temps en segons necessari perquè el so d'un recinte caigui 60 dB després d'apagar la font de so. La xifra de 60 dB la va establir Sabine el 1922, que va ser la primera a desenvolupar la fórmula de RT (Zainudin et al., 2018). Tanmateix, a hores d'ara s'estudien quatre tipus de reverberació, que són el temps de decadència, RT15, RT20 i RT30. RT20 és el més utilitzat a la pràctica, i això significa que el pendent de la corba de desintegració en l'interval de -5 dB a -25 dB determina la RT (Zainudin et al., 2018).

El temps de reverberació és el factor més important en la qualitat acústica de l'entorn de l'aula (Sarlati et al., 2014). No hi ha cap reverberació universal i perfecta per al rendiment a l'aula. El RT òptim és zero quan la font sonora o el professor està més a prop de l'oient que la font de soroll, però quan la font de soroll és més propera que l'altaveu, és recomanable una certa reverberació (Hodgson & Nosal, 2002; Mckellin et al., 2011). A partir d'aquest moment hi ha valors específics que s'han d'evitar. A les aules, per a mètodes d'ensenyament flexibles amb un màxim de 40 estudiants, els temps de reverberació no haurien de ser superiors a 0,6 segons en condicions d'ocupació completa o de 0,7 s a les aules moblades sense ocupar (Garcia et al., 2014). L'Acoustical Society of America va estandarditzar el nivell màxim recomanat de RT60 per a les aules a 0,5 s, però l'estàndard acústic de l'aula no és estricte i es pot fer referència mitjançant un codi estatal, una ordenança o una regulació (Rosenberg, 2010). Aquest valor pot variar entre països segons les seves legislacions.

Quant als altres paràmetres, els experiments han demostrat que la RT té un efecte considerable en la intel·ligibilitat de la parla a l'aula (Sodsri, 2012). Els estudis suggereixen que els temps de reverberació lleugerament superiors (entre 0,45 s i 0,5 s a les aules ocupades) podrien ser òptims i que els temps de reverberació més baixos no són necessàriament millors, basant-se en consideracions de confort vocal. A més, els temps de reverberació inferiors a 0,3 s podrien donar lloc a un "excés d'amortiment", és a dir, una atenuació excessiva dels nivells de parla (Garcia et al., 2014).

4.2.1.3. *Índex de transmissió de la parla*

La intel·ligibilitat és el nom tècnic que s'utilitza per descriure la precisió de la pronunciació de la parla. És obvi que, en termes d'aprenentatge, aquest paràmetre s'ha de considerar essencial. La importància està especialment en l'índex d'intel·ligibilitat que els estudiants obtenen del professor o professora, ja que tindrà un impacte directe en l'aprenentatge que adquireixen.

La manera com els professors modifiquen la seva parla (pel que fa a la velocitat, el volum o la freqüència) fa que aquest paràmetre sigui difícil de mesurar. Tot i això, és important determinar les condicions òptimes per a una bona intel·ligibilitat independentment dels paràmetres del factor humà. En aquest cas, des d'un punt de vista científic, hem de referir-nos a l'índex de transmissió de parla (STI). Es tracta d'una mesura física i objectiva de la qualitat de la transmissió de la parla. Es mesura de 0 a 1 i indica la intel·ligibilitat de la parla: 1 indica la millor qualitat de transferència de la parla, i 0 indica la pitjor. Els resultats de l'estudi confirmen que l'STI és un bon predictor de la puntuació mitjana

d'intel·ligibilitat de qualsevol aula (Gómez & Barrigón, 2015). De tota manera, l'STI no està relacionat amb sorolls de fons fluctuants (IEC 60268-16:2011, 2011).

Com a mesura, l'STI s'utilitza en diversos estudis per determinar una bona taxa de reverberació a l'aula. També es constata que els temps de reverberació més alts disminueixen la intel·ligibilitat de la parla (Russo & Ruggiero, 2019). Si el temps de reverberació oscil·la entre 0,4 i 0,6 segons, la intel·ligibilitat es considera "bona" per als emissors i els oients normals. Perquè l'STI d'una aula es consideri "excel·lent" per als estudiants situats a la part posterior, el RT no hauria de superar els 0,4 s (Nijs & Rychtáriková, 2011). Els temps de reverberació més alts redueixen la intel·ligibilitat de la parla, cosa que al seu torn desvincula els estudiants de l'aprenentatge (Garcia et al., 2014).

4.2.1.4. Claredat del missatge

La claredat del discurs o del missatge es pot referir tant a la comunicació professor-alumne com a la millora del rendiment acústic de l'aula. La claredat descriu la nitidesa amb què l'oient pot escoltar el discurs (o el so), i és important augmentar la claredat per millorar el discurs a l'aula. Està relacionat amb reflexions tardanes, ja que tendeixen a deteriorar la claredat de la parla. Per tant, com més alt sigui el temps de reverberació, menor serà la claredat.

Per aconseguir una bona qualitat de claredat del missatge a les aules, la quantitat de so directe que arriba a determinades posicions ha de ser superior al so reflectit (Youssef et al., 2014). Això es basa en el fet que les primeres reflexions que arriben fan que el so directe sigui més fort, mentre que les que arriben més endavant degraden la parla del so. Així, el missatge parlat queda poc clar i pot afectar el rendiment de l'aula. El mateix article assenjala una relació interessant entre la claredat de la parla i la freqüència de les ones sonores. Es va observar que la claredat de la parla augmentava a mesura que augmentava la freqüència, cosa que significa que la claredat de la parla podria ser millor per a freqüències més altes. De fet, es va trobar un nivell de claredat baix, especialment entre 125-2000 Hz, entre les quals es troben les freqüències utilitzades en la parla normal.

4.2.2. Efectes de l'acústica en el professorat

La relació entre el soroll, la veu del professor i l'acústica de l'aula s'ha explorat àmpliament en els darrers deu anys (Rudner, 2018). L'atenció se centra en tres àrees que exploren les conseqüències de l'exposició al soroll per a la salut: malalties de la veu, malalties auditives i problemes de salut. Alguns estudis assenyalen malalties generals de salut causades pel soroll, com mals de cap i hipertensió arterial (Cutiva & Burdorf, 2015; Hadzi-Nikolova et al., 2013; Kristiansen et al., 2013; Seetha et al., 2008; Tiesler et al., 2015) i problemes emocionals com l'estrès, la manca d'energia, el desinterès pel treball i la baixa motivació (Kristiansen et al., 2013, 2014). Amb tot, la majoria d'investigacions sobre acústica a l'aula suggereixen que la veu i el comportament vocal són l'element clau en l'estudi de la temàtica.

L'acústica afecta la producció de veu del professor i, per tant, també el rendiment a l'aula, perquè la veu del professor és el factor més directe per comunicar-se amb els estudiants (Augustyńska et al., 2010). Més concretament, Hunter et al. (2020) distingeixen entre fatiga vocal, esforç vocal, càrrega vocal i càrrega vocal. En qualsevol cas, tots aquests conceptes s'han de tenir en compte en els dissenys d'aula, avaluant conseqüències concretes com la disfonia o l'efecte Lombard. La disfonia vocal més típica és la disfonia (Rincón & Reyes, 2014), també coneguda com a "veu ronca", cosa que

significa que la veu sona alentida o tensa involuntàriament. Les veus disfòniques són ronques, però també poden ser doloroses i conduir a un comportament advers. Pot tenir un efecte en l'oïent la combinació d'una veu disfònica de professor i una acústica deficient. L'efecte Lombard, que és l'increment involuntari del nivell de veu en presència de soroll de fons, es considera comunament un factor determinant en les disfuncions vocals (Rantala et al., 2015).

El soroll de fons té un efecte negatiu en el benestar dels professors (Karjalainen et al., 2020), però són menys afectats pel soroll dins de l'aula, on el poden controlar, que pel soroll de fons exterior (Nusseck et al., 2018). A més, no tots els professors responen de la mateixa manera a un augment de decibels a l'entorn laboral. En alguns casos, quan augmenta el soroll, l'efecte Lombard també augmenta, però això no sempre passa. Un punt important és que els professors sembla que alcen la veu més en el soroll ambiental que en el soroll de l'activitat de les classes diàries (Rantala et al., 2015). Alguns resultats no troben cap relació entre els nivells de soroll de l'aula i el fet que un professor alci la veu (Nusseck et al., 2018).

Pel que fa al gènere del professor, hi ha diferències significatives en alguns resultats relacionats amb l'efecte Lombard, en particular en el cas de la freqüència de veu. En algunes mostres només els homes van modificar la seva veu quan el so ambiental també va augmentar, explicat pel fet que el so ambiental estava entre 20 i 100 Hz, i aquestes dades són més properes a la banda de veu de freqüència dels homes (Rantala et al., 2015).

Un excés de reverberació s'avalua negativament. Els professors que treballen a les aules amb temps de reverberació alts perceben que el seu clima social és més competitiu i menys relaxat i còmode (Persson et al., 2013).

Davant les malalties auditives, diversos investigadors indiquen l'efecte negatiu del soroll en l'audició. A part de la pèrdua d'audició, un problema estudiat habitualment a les aules és la hiperacúsia, una malaltia que consisteix en la sensibilitat auditiva als sons quotidians. És una malaltia que experimenten el 3,7% dels nens i fins al 9,2% dels adults al món (Fackrell et al., 2017), i en l'àmbit de l'aula afecta professors i nens (sobretot aquells amb trastorns de l'autisme). La hiperacúsia sovint conviu amb el tinnitus, la qual cosa implica la percepció del so quan no existeix un so extern corresponent. En l'estudi realitzat per Meuer i Hiller (2015), es va concloure que molts professors (el 30%) patien les tres malalties auditives (és a dir, hiperacúsia, tinnitus i pèrdua auditiva). És probable que els professors d'educació infantil pateixin símptomes relacionats amb l'audició i alguns autors destaquen la necessitat d'aplicar mesures preventives (Fredriksson et al., 2019).

4.2.3. Efectes de l'acústica en els estudiants

És un repte interpretar com les condicions acústiques afecten les capacitats cognitives a causa de les limitacions de control del soroll en l'avaluació (Klatte et al., 2013). Tot i això, hi ha dades rellevants que s'inclouran en aquesta revisió. Klatte et al. (2013) argumenten que hi ha proves dels efectes del soroll en l'aprenentatge dels nens, especialment en àrees no auditives com la memòria a curt termini, la lectura i l'escriptura. En els processos d'aprenentatge hi ha una distinció entre tasques lèxiques i no lèxiques. Tot i que els resultats més crítics estan relacionats amb les tasques lèxiques, l'exposició a un soroll alt té un efecte en tasques no lèxiques com la memòria, la capacitat de lectura, l'atenció i la motivació (Prodi & Visentin, 2015), i la numeració (Dockrell & Shield, 2012).

Amb les tasques de lectura, la reverberació ha de ser significativament elevada perquè es puguin trobar correlacions entre la velocitat de lectura i la claredat de la parla (Puglisi et al., 2018), tenint en compte que els llargs temps de reverberació fan que els nens percebin que es diverteixen menys i que són menys feliços amb ells mateixos (Astolfi et al., 2019). Els nens exposats a nivells de pressió sonora superiors als 80 dBA mostren un rendiment inferior, especialment en l'ús de les capacitats lèxiques tant en lectura com en escriptura (Santos et al., 2013).

Tant les noies com els nois pensen que el soroll és inquietant. Ara bé, així com més nois pensen que el soroll no els molesta, més noies creuen que el soroll els dificulta la comprensió del que expliquen els professors (Simion, 2018). Es poden trobar algunes diferències en relació amb l'estrès, l'ansietat i la salut. Els estudis demostren que els estudiants se senten més ansiosos que estressats o deprimits quan el nivell de contaminació acústica és extrem (Sarlati et al., 2014). Segons les opinions dels nens en altres estudis, el benestar no està influït pel soroll a l'escola ni a l'aula (Simion, 2018).

La majoria dels nens afirmen que el soroll els molesta, però no hi ha consens sobre l'edat dels estudiants per fer aquesta afirmació. Mentre que als nens més petits els molesta el soroll en tasques de percepció de la parla i comprensió auditiva (Simion, 2018), altres estudis demostren un rendiment pitjor i un efecte perjudicial per als nens més grans quan hi ha soroll de fons (Connolly et al., 2019), de manera que els alumnes d'1 a 5 anys són els menys afectats pel soroll (Persson-Waye et al., 2019).

La percepció del soroll també depèn de l'estat d'ànim o de l'actitud de l'alumne: en males condicions acústiques a l'aula, els estudiants més feliços informen de la percepció de trastorn del soroll, mentre que els infeliços es queixen d'una mala acústica de l'aula en lloc d'associar el problema al seu benestar (Astolfi et al., 2019).

L'acústica a l'aula té efectes particulars en nens amb necessitats especials, com ara discapacitat del llenguatge (Sala et al., 2014), TDAH (Allen & Pammer, 2018), autisme (Kanakri et al., 2017) i trastorns de l'audició (Iglehart, 2020). També cal tenir en compte les dificultats d'aprenentatge, la pèrdua d'audició de lleu a greu o el bilingüisme quan es tracta d'estudiar l'acústica de l'aula (Gheller et al., 2020). Tota la investigació en aquest sentit és concloent: aquests nens es veuen més afectats per la mala acústica i el soroll de l'aula que la resta dels seus companys i companyes.

SECCIÓ SEGONA

Metodologia i resultats

Capítol 5. Disseny metodològic

El treball aquí compilat 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. Aquestes dades permeten fonamentar uns quants principis a partir de la concatenació de resultats:

The expression concatenated exploration refers at once to a research process and the resulting set of field studies that are linked together, as it were, in a chain leading, to cumulative grounded or inductively generated theory. Studies near the beginning of the chain are wholly or predominantly exploratory in scope. Each study or link in the chain examines or, at times, reexamines a related group, activity, or social process or aspect of a broader category of groups or social processes. Exploration describes the nature of the overall approach to data collection that is followed, especially at the beginning of the chain or concatenation, but to a significant degree all along it as well. Exploration may be qualitative or quantitative, although most researchers in this area seem to favor mixing the two, with the first being primary and the second being secondary. (Stebbins, 2001, p. 12)

L'exploració concatenada d'aquesta tesi es reflecteix en diferents treballs que han requerit mètodes i procediments diversos, els propis i escaients en cada cas. El procés es pot dividir en dues fases: una primera fase en què es pretenia bastir els principis teòrics subjacents als interessos d'investigació entorn de la conceptualització de les aules intel·ligents, i una segona fase amb afany d'utilitzar el coneixement generat prèviament per indagar determinats aspectes mitjançant el mètode empíric, el qual permet una verificació fàctica a partir de mostres de participants determinades.

Donat que cada publicació requeria la pròpia estratègia i responia sovint a decisions particulars, s'ofereixen a continuació algunes concrecions que s'han estimat necessàries per aportar una visió fundada del treball executat. No s'hi reflecteixen, però, tots els detalls exposats als textos complets. En aquest capítol es presenten els objectius d'aquesta tesi, es mostra la temporització del procés i s'esquematitzen les tècniques i els instruments utilitzats en les 12 publicacions compendiades; a continuació es concreten el context i els objectius que es perseguien a les publicacions; tot seguit s'explica l'anàlisi de dades, i finalment es fan aclariments sobre l'ètica de la recerca.

5.1. Objectius de la tesi

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.

5.3. Temporització

En una primera fase es va aprofundir en la base teòrica i conceptual. En una segona fase, arran de l'avenç en la investigació, s'hi han afegit nous objectius justificats per la naturalesa exploratòria de la recerca. Superades les revisions programàtiques, a la **figura 8** es pot consultar un diagrama de Gantt que mostra l'organització final de la tesi (treball i publicacions).

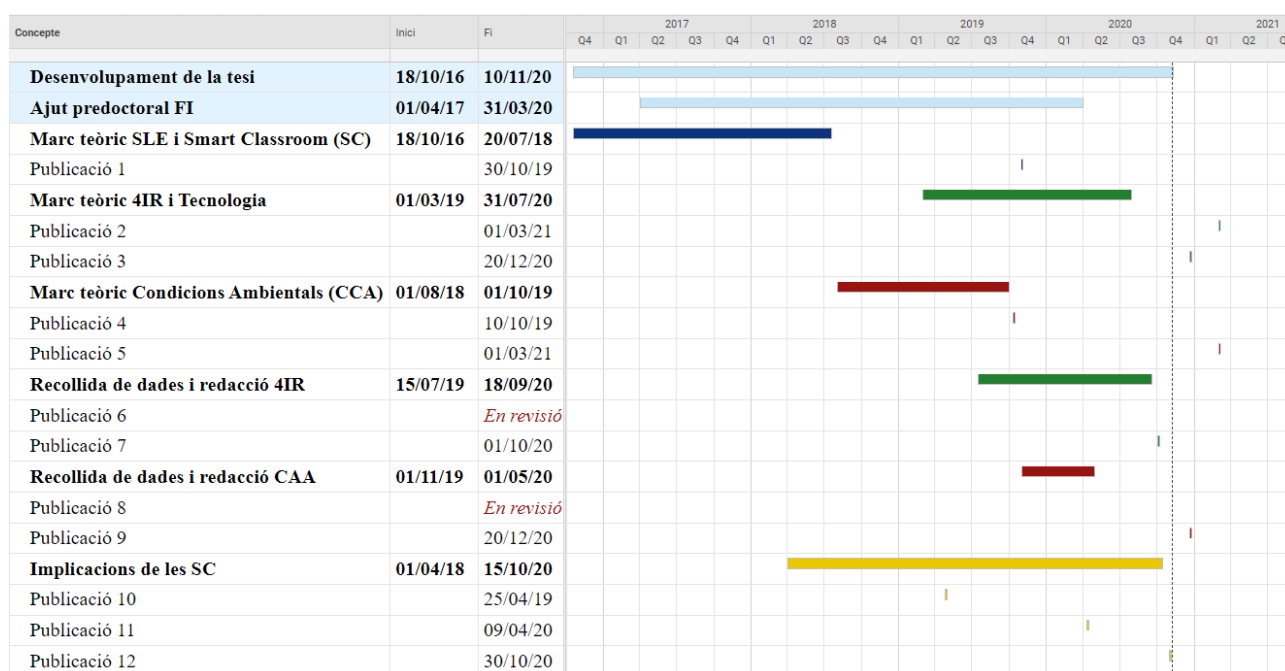


Figura 8. Diagrama de Gantt amb la planificació de la tesi i les dates de les publicacions

5.4. Tècniques i instruments de recollida de dades

Aquesta tesi compila la feina realitzada en un total de dotze treballs que han utilitzat diferents tècniques i instruments. Set d'aquests treballs són de caire teòric, els quals comprenen una fonamentació imprescindible i estructural de la proposta global, i serveixen de base per a procedir de forma consistent a la recollida de dades empírica, que s'ha dut a terme en cinc treballs derivats. A la **taula 3** s'esquemmatitza la distribució d'aquests treballs, i en els subapartats següents s'aprofundeix en el raonament d'utilitzar cadascuna de les tècniques, així com els principals detalls de la seva aplicació.

Taula 3. Tècniques i instruments utilitzats en la concatenació exploratòria de la recerca publicada

	<i>Secció</i>	<i>Tècniques i instruments</i>	<i>Publicacions</i>	<i>Temes tractats</i>
<i>FASE 1 Fonamentació teòrica</i>	5.4.1	Revisió sistemàtica de la literatura	Publicació 1	Aules intel·ligents
			Publicació 4	Il·luminació a l'aula
			Publicació 5	Acústica de l'aula
	5.4.2	Aproximació teòrica i aportació d'experts	Publicació 2	Indústria 4.0 i educació
			Publicació 3	Factors ambientals a l'aula
			Publicació 10	Inclusió
			Publicació 11	Sostenibilitat
<i>FASE 2 Recollida de dades</i>	5.4.3	Entrevistes	Publicació 6	Indústria 4.0 a les escoles
			Publicació 9	Acústica a l'aula
	5.4.4	Grup focal	Publicació 7	Indústria 4.0 a les escoles
	5.4.5	Tests objectius	Publicació 8	Il·luminació a l'aula
	5.4.6	Anàlisi documental	Publicació 12	Aules intel·ligents

5.4.1. Revisions sistemàtiques de la literatura

En educació és habitual fer revisions teòriques que no segueixen un procés sistemàtic i que condueixen a generar teories que no tenen una fonamentació coherent (F. Esteve et al., 2014). Segons Gisbert i Bonfill (2004), les revisions sistemàtiques es consideren investigacions científiques, ja que pretenen ser rigoroses, informatives, exhaustives i explícites. Mitjançant les revisions sistemàtiques de literatura s'especifica detalladament el procés de cerca, recopilació i avaluació de la informació obtinguda i, de la mateixa manera, és possible repetir-les per verificar els resultats i les conclusions a les quals s'ha arribat. Els resultats d'aquest procés són més fiables que els de les anomenades revisions narratives, que no compleixen els criteris científics desitjats.

Per fer les revisions sistemàtiques d'aquesta tesi s'han seguit els sis passos representats de forma cíclica a la **figura 9**. Aquest cicle fa referència als criteris científics establerts al Manual de revisors de Cochrane Collaborators (J. P. Gisbert & Bonfill, 2004, p. 32). No en va, els passos coincideixen amb els detallats per Ferreira et al. (2011) i estan estretament relacionats amb els emprats en altres models de revisió sistemàtica de literatura.

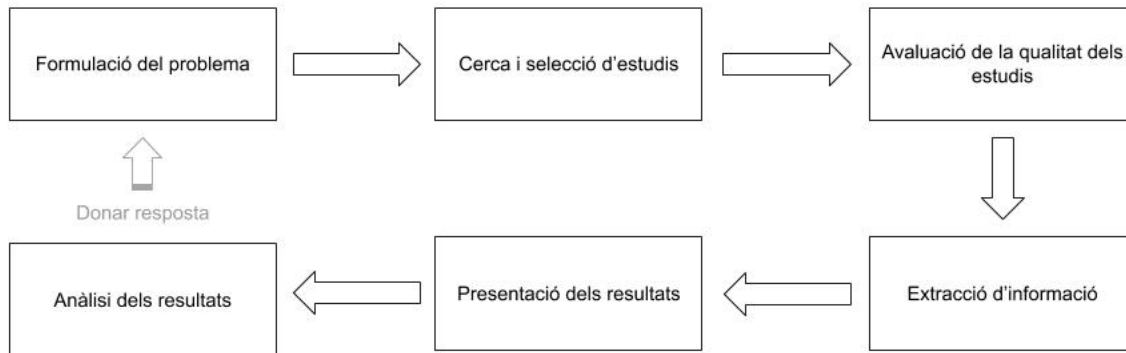


Figura 9. Cicle procedimental en una revisió sistemàtica de la literatura

En tots els casos, la revisió de la literatura s'ha basat en articles indexats en dues de les principals bases de dades educatives: Web of Science (WoS) i Scopus. D'acord amb la investigació feta per Durán-Sánchez et al. (2018), aquestes dues bases de dades són adequades i representatives per recuperar documents científics publicats sobre la nostra temàtica d'estudi, i així s'ha confirmat en les successives publicacions derivades.

5.4.1.1. *Revisió sistemàtica per caracteritzar els entorns intel·ligents d'aprenentatge i les aules intel·ligents*

A la **figura 10** es mostra el procés per etapes que es va seguir a la publicació **1** per a la recuperació de documents, el qual es va dur a terme d'acord amb criteris preestablerts que garanteixen la qualitat de la sistematització. Després d'una cerca inicial amb els criteris corresponents, es van seleccionar títols elegibles, d'entre 466 resultats inicials. En una segona etapa, es van llegir els resums de cada títol seleccionat, i es van descartar els que no eren adients. Després de deixar de banda duplicats, es van descarregar totes les publicacions seleccionades que estaven disponibles; en total 49, tot i que en la lectura del text complet encara se'n van descartar quatre més (n=45). A Palau i Mogas (2019) es pot consultar el detall del procediment: els criteris de cerca avançada, les paraules clau utilitzades, els operadors booleans, la quantitat de documents recuperats en cada pas, els criteris de filtratge i selecció, etc. També en aquesta publicació es fa una lectura estadística descriptiva bàsica en referència a la qualitat dels articles que permet determinar tendència en l'any de publicació, composició de les autories en les publicacions i qualitat dels documents. Es constata una tendència amb creixement exponencial en les publicacions sobre entorns intel·ligents d'aprenentatge i aules intel·ligents.

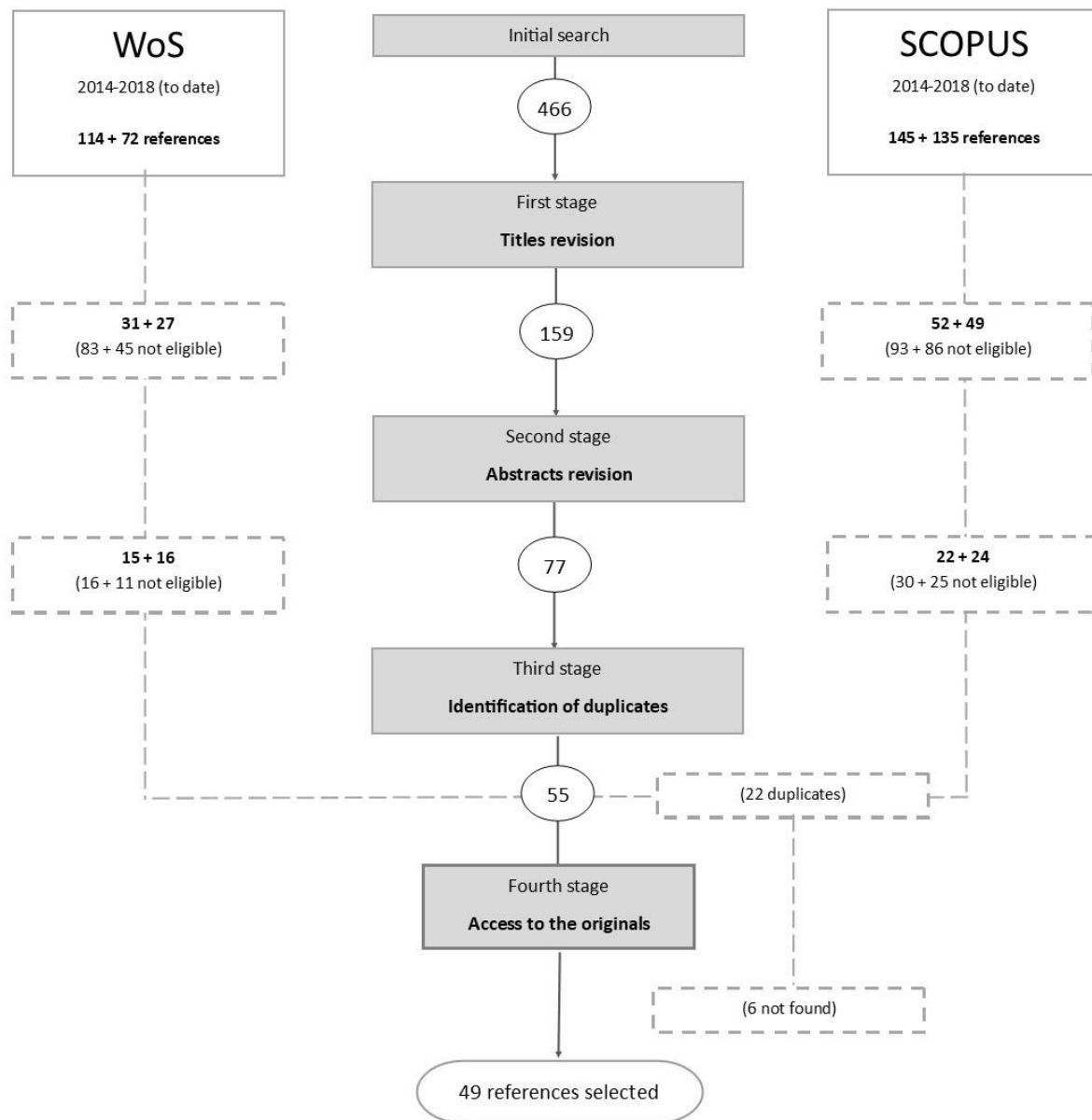


Figura 10. Procés de revisió sistemàtica seguit a Palau i Mogas (2019)

Quant a l'extracció d'informació, les publicacions escollides es van analitzar a fons per identificar qualsevol tipus de característica a tenir en compte quan es parla d'entorns intel·ligents d'aprenentatge o aules intel·ligents. Per processar aquesta informació, es va construir una matriu per tal de crear cada article amb la llista de les característiques identificades, utilitzant cites literals completes i tractant cada característica com una unitat (Annex 1). A mesura que la matriu va créixer, buscant una millor comprensió, es van identificar nou categories diferents i es van col·locar les característiques en conseqüència. Un cop completada la matriu, es va considerar raonable el llindar del 10% per declinar les característiques amb una freqüència d'aparició inferior: atès que la revisió sistemàtica es basava en 45 articles efectius, es van suprimir de la llista totes les característiques identificades de SLE esmentades en només quatre o menys articles (és a dir, <4,5). S'ha conservat un registre per si investigacions posteriors tornaven a mostrar-les, però la baixa freqüència d'aparició va ser significativa per validar l'omissió en aquesta revisió sistemàtica.

5.4.1.2. Revisions sistemàtiques sobre factors ambientals

Les altres dues revisions sistemàtiques d'aquesta tesi (publicacions 4 i 5) han seguit un mètode similar, si bé s'han regit per la proposta de Vangrieken et al. (2017). En aquests casos s'ha dividit la recerca bibliogràfica en dues fases: la primera a fi de recuperar tots els documents que estudien totes les formes d'il·luminació i acústica de l'aula per obtenir una comprensió general de tots els focus, i la segona de selecció dels estudis clarament centrats en la relació entre la il·luminació i acústica de l'aula i la cognició dels estudiants (processos d'aprenentatge, impacte cognitiu, concentració, etc.) i dels docents si era oportú.

Com en el cas anterior, emplacem al lector a consultar les publicacions originals a fi de conèixer els detalls relatius a l'estratègia de cerca: criteris, paraules clau, filtres, etc.

Una revisió sistemàtica de la literatura típica acabaria en aquest punt, però tenint en compte la limitació observada prèviament a Palau i Mogas (2019), calia complementar la informació recuperada amb altres estudis rellevants per abordar amb més profunditat i qualitat els objectius de la investigació. Per aquest motiu, seguint els consells dels revisors de les revistes a què s'han enviat els treballs, la versió final d'aquestes revisions s'ha millorat amb referències addicionals.

5.4.2. Aproximació teòrica i aportació d'experts

El mètode utilitzat en els quatre articles que fan una aportació d'experts (publicacions 2, 3, 10 i 11) va consistir en una revisió bibliogràfica de tots dos marcs teòrics per separat. D'una banda, el d'aula intel·ligent per part del doctorand i el seu director; i d'altra banda, Indústria 4.0, condicions ambientals, educació inclusiva i ESD, segons correspongués amb cadascuna de les col·laboracions. En el cas d'aula intel·ligent, la teoria de base prenia com a model el publicat a Palau i Mogas (2019), si bé en cada nou estudi es complementava amb bibliografia addicional, més actual i ampliada en concordança al tema d'especialització a debatre. L'anàlisi experta per identificar interrelació entre els marcs teòrics i fer-los confluïr amb el sorgiment de nou coneixement es va realitzar mitjançant un procés de discussió iteratiu i triangulació entre autors experts.

5.4.3. Entrevistes

A la publicació 6 es van dur a terme 37 entrevistes semiestructurades de preguntes obertes amb directors d'escoles d'educació primària i secundària de Catalunya. L'enfocament d'entrevistes semiestructurades permet obtenir una comprensió profunda del problema que s'està investigant mitjançant la documentació de les experiències dels participants (Kvale & Brinkmann, 2009; Minichiello et al., 1990). Més concretament, les dades es basen en les experiències i el coneixement tàcit dels participants, que permet obtenir informació detallada de fenòmens específics (Denzin & Lincoln, 2011; Silverman, 2006). Les escoles van ser seleccionades mitjançant un mostreig de conveniència seguint criteris de diversitat en el context escollit, només condicionat per la seva disponibilitat voluntària a participar en aquest estudi. Es va seleccionar una metodologia qualitativa, ja que l'objectiu era obtenir una comprensió profunda de la percepció dels directors d'escola sobre l'adopció de tecnologia i temes relacionats amb el seu lideratge educatiu (Flick et al., 2004). La investigació qualitativa se centra a obtenir una comprensió profunda de les situacions socials (Creswell, 2007), en què les dades recopilades per exemple amb entrevistes sorgeixen de manera natural.

A la publicació 9 es van realitzar les entrevistes tenint com a informants 20 docents en actiu, que exerceixen en educació primària, secundària i batxillerat. La mostra va ser novament escollida per conveniència, amb un perfil heterogeni de participants pel que fa a procedència (dins del territori català), gènere, edat i experiència en la professió. En aquest cas s'ha utilitzat l'entrevista estructurada com a tècnica per a la recollida de dades, atès que es buscava recaptar una informació molt concreta. A més, s'ha realitzat a través de mitjans informàtics a distància, ja que les entrevistes en línia són un instrument eficient en la investigació qualitativa (Kitto & Barnett, 2007).

5.4.4. Grups focals

En aquesta tesi s'han organitzat dos grups focals o *focus groups*. Se'n va constituir un primer amb sis doctorands en Tecnologia Educativa en una sessió profitosa per redefinir millor la classificació dimensional de característiques prèviament publicada a Palau i Mogas (2019). Tanmateix, aquesta sessió no està associada a cap publicació. Amb posterioritat es va conformar un altre grup focal amb directors d'escola, el qual va servir de base per a la publicació 7.

El grup focal ha estat reconegut com un mètode comú en la investigació qualitativa (Creswell, 2009; Mason, 2002). En comparació amb una entrevista individual i altres tècniques de recopilació de dades, és especialment útil perquè la interacció entre els participants pot aportar nous coneixements a investigacions exploratòries com la present. Per tant, es va considerar el mètode més adequat per a l'objectiu d'aquest estudi, ja que va permetre recopilar informació relacionada amb la indústria 4.0 per a aules intel·ligents mitjançant un paradigma interpretatiu.

Mogas et al. (2020) expliquen el mètode, incloent detalls sobre com es van captar els participants, els criteris de selecció, el perfil de cadascun dels participants (edat, nivell educatiu del seu centre, anys d'experiència), com es va procedir el dia del grup focal, lloc i data, les preguntes, els aspectes ètics de la recerca, etc. En total hi van participar 6 directors. Aquesta es considera una mostra correcta en nombre (Creswell, 2009) i en qualitat: a partir del coneixement expert dels participants, es va extreure una visió centrada en les perspectives i necessitats actuals de les seves escoles i es van recollir dades suficients per assolir els objectius plantejats. La direcció escolar és un perfil amb una bona comprensió de la realitat contextual de les escoles, dels estudiants, de les famílies i sobretot de les possibilitats reals que té la Indústria 4.0 per innovar i millorar l'educació als seus centres. Els directors i les directores d'escola es situen al capdamunt de la jerarquia (sense comptar els nivells administratius superiors), i són la figura encarregada de la presa de decisions per a la innovació a les aules.

5.4.5. Tests objectius

Mitjançant dos tests objectius utilitzats a la publicació 8 s'ha seguit el mètode empíric-analític amb un disseny creuat en què s'han equilibrat dos grups participants (*counterbalanced cross-over design*) seguint un procediment de test-retest. És un disseny experimental en què els participants d'un grup van fer un test amb il·luminació càlida el primer dia, i en una segona ocasió van fer el mateix test amb una il·luminació freda. Donat que l'aplicació de test-retest pot generar resultats esbiaixats degut a factors com ara l'efecte memòria (el segon cop tenen millor pràctica) o bé l'efecte cansament (el segon cop ja no estan tan motivats), calia que un segon grup de mida similar participés a l'experiment primer responent el test sota una il·luminació freda, i en el segon intent ho fes amb llum càlida (**figura 11**) per tal d'inferir l'efecte de la llum en els resultats, controlant que era aquesta la variable independent i no l'ordre de realització del test. Aquest disseny creuat es va repetir en ambdós tests.

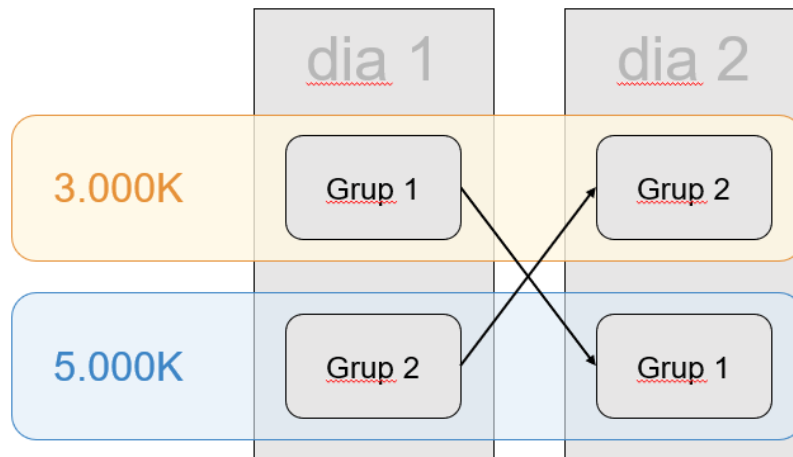


Figura 11. Disseny creuat utilitzat en els tests objectius

Per condicionar els escenaris lumínics ideals, es van adquirir tres jocs de tires LED de 6 metres amb intensitat i temperatura del color regulables.³ Per aconseguir el resultat necessari es van fer proves en un escenari real i es van generar fins a tres informes amb l'objectiu de perfilar la viabilitat de l'experimentació. A partir d'aquests assaigs (vegeu-ne resultats a l'Annex 2. Proves lumíniques) es va acabar de definir la disposició requerida, consistent a eliminar tota la llum natural de l'espai, i col·locar les tires LED de forma independent a una alçada de 25 a 30 cm per sobre de la zona d'escriptura, o bé col·locar les tires en disposició doble a una alçada de 50 a 55 cm. Aquest requisit permetia garantir un control total sobre la temperatura del color (sense influència de la llum natural o de la llum artificial habitual de l'aula) i també permetia garantir un control total sobre la intensitat (que en tots els casos seria de 500 lux aproximadament).

Aquest disseny es va aplicar per comprovar l'efecte de la temperatura del color correlacionada en dos processos cognitius oposats: la concentració (mesurant l'atenció selectiva i sostinguda mitjançant el test d'atenció d2) i la creativitat (mesurant el pensament divergent mitjançant un test de Torrance per al pensament creatiu).

5.4.5.1. Test d'atenció d2

En aquesta tesi s'ha utilitzat el test d2 per mesurar la concentració dels alumnes sota diferents condicions lumíniques. Proposat inicialment per Brickenkamp el 1981, es tracta d'un test que consta de 14 línies amb 47 caràcters per línia. Aquests caràcters són les lletres *d* i *p*, cadascuna entre un i quatre guionets disposats a dalt o a baix. Cada participant ha d'identificar i marcar en un temps limitat a 20 segons per línia totes les *d* amb dos guionets, tal com s'il·lustra a la figura 12.

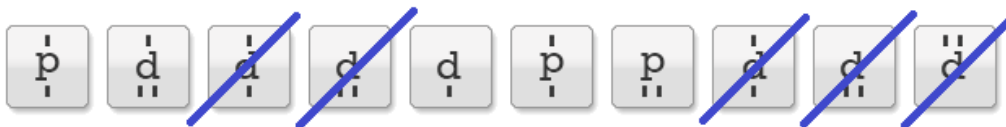


Figura 12. Exemple de realització del test d2

³ 6M Tira LED Interior 12V, Novostella Cinta LED da Luz Blanco Frío Blanco Cálido (3000K-6000k) Intensidad Regulable.

En cinc minuts de concentració, el participant és capaç de demostrar el seu nivell d'atenció selectiva i sostinguda. A l'Annex 3. Test d'atenció d2 es pot consultar el model de test utilitzat, les instruccions preparades per procedir en el primer experiment a Kortrijk, i la descripció en anglès dels principals ítems a avaluar. També s'afegeix un model de test resolt amb la corresponent plantilla de correcció. A la **figura 13** es mostren dues fotografies de l'escenari real en què es va dur a terme el test; a l'esquerra tenim el test d2 amb llum càlida, i a la dreta el test amb llum freda.

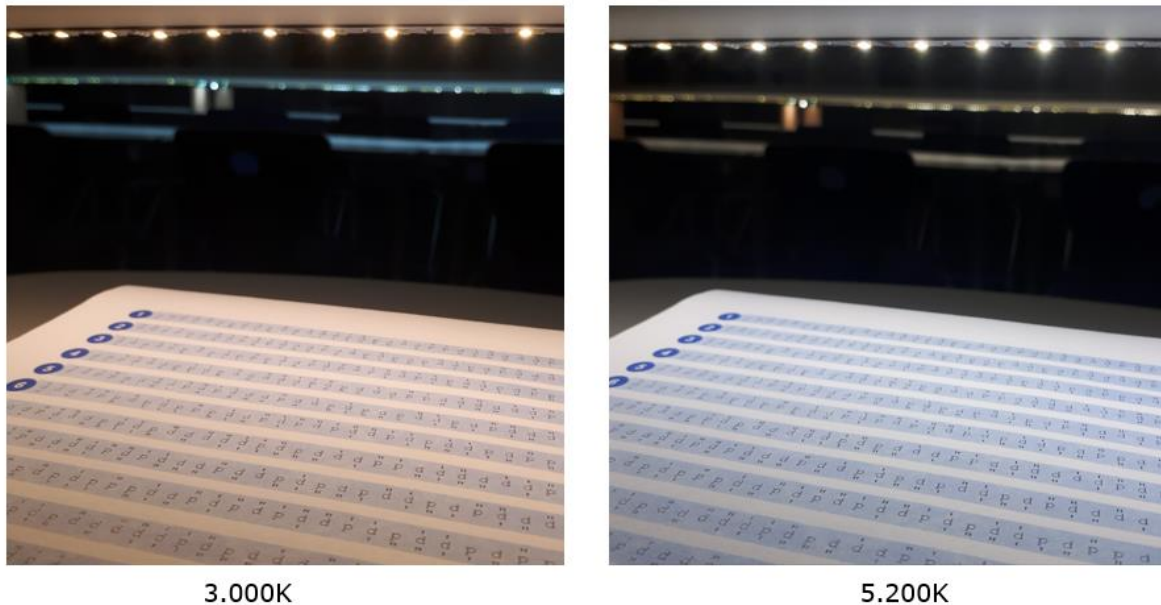


Figura 13. Fotografies dels tests d'atenció d2 des de l'òptica dels participants sota les dues condicions lumíniques oposades (càlida a 3000K i freda a 5200K)

Per mesurar i controlar la temperatura del color correlacionada (CCT) i la intensitat de la llum es va utilitzar un telèfon intel·ligent dotat de sensor de llum ambiental i espectre de color, juntament amb una aplicació informativa de les mesures a temps real.

La fiabilitat del test-retest amb el test d'atenció d2 es considerava alta quant a resultat total després de 5 hores, i molt alta quant a resultat final menys errors després de 12 mesos, tot i que amb gent normal es pot arribar a preveure un efecte de fins al 25% en els retests, reduïbles a mesura que passa el temps (Spren & Strauss, 1998). Per al nostre estudi, el retest es va distanciar una setmana del test inicial.

5.4.5.2. *Test de Torrance*

Coneguts com a Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT), els tests de Torrance serveixen per estudiar el pensament creatiu a través d'una sèrie d'activitats agrupades segons la tipologia, les quals permeten mesurar de forma objectivable la creativitat dels participants. En aquesta tesi es va escollir una prova figurativa que permet mesurar el pensament divergent. La prova es compon d'una figura repetida amb una línia de punts a la part inferior. Aquesta figura és una forma geomètrica simple que ha d'inspirar tants objectes del món real o conceptes derivats com sigui possible. La forma ha de ser part integral del dibuix proposat. La fila de punts es reserva per donar títol a la forma creada, ha de ser descriptiu en una o dues paraules.

De la mateixa manera que en el test anterior, es va fer amb 2 CCT diferents. La primera setmana es va escollir una figura consistent en cercles (vegeu-ne un exemple a la **figura 14**), que va ser conduïda

per cadascun dels grups sota una condició lumínica diferent. Donat que repetir la mateixa figura hauria provocat un efecte memòria massa elevat, la setmana següent es va requerir als mateixos participants que treballassin en una figura diferent consistent en línies paral·leles (**figura 15**), invertint la CCT respecte de la setmana anterior. Els participants van disposar de 5 minuts per representar tants objectes com la seva creativitat els permetés, en un cas i en l'altre.

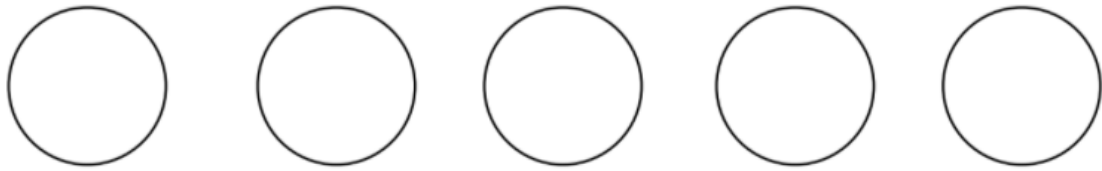


Figura 14. Exemple de fila amb cercles per solucionar el test de figures repetitives al TTCT



Figura 15. Exemple de fila amb línies paral·leles per solucionar el test de figures repetitives al TTCT

A partir del rendiment, es van avaluar aquestes mesures:

- *Fluïdesa.* Quantes figures úniques i diferents pot completar l'estudiant? (cal tenir en compte que les figures semblants poden no comptar; per exemple, un dau amb un punt i un dau amb dos punts representen el mateix).
- *Originalitat.* En comparació amb la resta de participants, es puntua el nivell de singularitat de les respostes ofertes. Aquesta valoració es basa en el principi d'unicitat i es va establir controlant freqüències intragrups.

5.4.6. Anàlisi documental

Els instruments de recollida de dades emprats a la publicació [12](#) han estat els diaris de camp i els registres de vídeo. La seva utilització es contextualitza al projecte SIMUL@B, en què es va dur a terme una activitat relativa al disseny i construcció de l'aula com a ambient d'aprenentatge en un món virtual 3D. Els entorns virtuals 3D recreen espais físics, en els quals les persones, representades mitjançant avatars i de manera sincrònica o asincrònica, interactuen entre elles i amb els objectes virtuals que es troben en els diversos espais immersius, interactius i personalitzables.

Al projecte es va aplicar l'instrument de diari de camp estructurat per identificar aspectes relatius a la implicació dels alumnes i la seva valoració de la creació dels ambients d'aprenentatge en el món virtual. Aquest instrument ha estat utilitzat ja en versions anteriors del projecte (F. M. Esteve, 2015). Els diaris van ser redactats de manera individual per cada alumne, amb la denominació "Diari

de l'estudiant". El disseny i estructura del diari va tenir en compte el treball de Yee (2006) sobre la motivació en entorns 3D, que es va concretar en sis apartats de guia: avatar, iniciativa, col·laboració, competició, autonomia, evasió i altres.

Amb relació als registres de vídeo, (Gläser-Zikuda et al., 2020) afirmen que l'anàlisi de vídeo és un mètode molt poderós en la investigació educativa empírica, i així es confirma en nombrosos estudis que fan servir el vídeo com a instrument amb finalitats educatives i de recerca (Major & Watson, 2018; Roller, 2016; Seidel et al., 2011; Sherin, 2004; Tochon, 2008). Fer servir el vídeo com a instrument d'investigació ofereix àmplies possibilitats i és cada vegada més utilitzat (Beauchamp et al., 2019). Fins i tot hi ha iniciatives avançades en la creació d'eines per al videoanàlisi (M. Gisbert & Usart, 2018; Usart & Palau, 2019). A SIMUL@B es van recollir dades dels "Vídeos de l'aula", gravacions de pantalla (*screencasts*) creades per part de cada grup com a recurs audiovisual per mostrar i justificar les decisions preses pel que fa al disseny i construcció dels seus ambients d'aprenentatge.

5.5. Context de la recerca

La fonamentació teòrica demostra que les aules intel·ligents poden ser (i han de ser) estudiades en qualsevol context i en qualsevol nivell educatiu. El context geogràfic revisat no aporta indicadors que apuntin a la necessitat de diferenciar entre territoris, tot i que cada situació pot comportar elements distintius propis (per exemple, la regulació de la temperatura ha de ser diferent a Noruega que a Itàlia). El nivell educatiu apareix més rellevant, ja que la majoria d'estudis teòrics es fan en educació superior, mentre que la majoria d'iniciatives pràctiques es realitzen amb menors d'edat.

Per a aquesta tesi s'han recollit dades de diversos informants o subjectes que han participat en experimentació empírica (fase 2). A la **taula 4** es presenta la mostra, mentre s'emplaça el lector a consultar els treballs originals per obtenir detalls sobre el perfil dels participants.

Taula 4. Resum d'estudis per recollir dades: tècnica, participants i mostra

<i>Estudi</i>	<i>Temàtica</i>	<i>Tècnica o instrument</i>	<i>Participants</i>	<i>Mostra</i>
Publicació 6	Indústria 4.0 a les escoles	Entrevistes	Directors de centres educatius de Catalunya	37
Publicació 9	Acústica a l'aula	Entrevistes	Professors en actiu de Catalunya	20
Publicació 7	Indústria 4.0 a les escoles	Grup focal	Directors de centres educatius de Catalunya	6
Publicació 8	Il·luminació a l'aula	Tests objectius: test d2 i Torrance Test	Alumnes d'universitat de Bèlgica	47
Publicació 12	Aules intel·ligents	Anàlisi documental: diaris de camp i registres de vídeo	Alumnes d'universitat de Catalunya i Andorra	73

5.6. Objectius de les publicacions

5.6.1. Objectius de la fonamentació teòrica

Els objectius principals i les preguntes que han guiat els tres treballs realitzats mitjançant la revisió sistemàtica de la literatura han estat els següents (**taula 5**):

Taula 5. Plantejament de les revisions sistemàtiques de la tesi

	Publicació 1	Publicació 4	Publicació 5
<i>Objectiu principal</i>	Cada cop hi ha més autors que fan referència a entorns intel·ligents d'aprenentatge (SLE) o aules intel·ligents, però no sempre des de la mateixa perspectiva. Es volia fer una anàlisi exhaustiva de la literatura per tal de respondre les preguntes de recerca següents.	Determinar quins factors d'il·luminació intervenen en els processos d'aprenentatge que tenen lloc en una aula física, segons la investigació científica publicada fins al moment.	Fer una revisió bibliogràfica exhaustiva per determinar quins paràmetres acústics són presents a les aules i com afecten tant a professors com a estudiants.
<i>Pregunta de recerca 1</i>	P1. Quines dimensions es poden identificar aprofundint en els conceptes d'entorns intel·ligents d'aprenentatge (SLE) i d'aula intel·ligent?	P1. En quins aspectes de la il·luminació de l'aula s'han centrat els estudis publicats?	P1. Quins factors acústics afecten l'aprenentatge a l'aula física?
<i>Pregunta de recerca 2</i>	P2. Quines són les principals característiques que s'han d'identificar en un entorn d'aprenentatge intel·ligent (SLE) o en una aula intel·ligent?	P2. Com influeixen els factors d'il·luminació de l'aula en els processos d'aprenentatge?	P2. Com afecta l'acústica d'una aula als professors i estudiants?

Complementàriament, s'han realitzat quatre estudis en què el valor principal ha estat l'anàlisi experta i generació de nou coneixement interdisciplinari en la conjunció d'àmbits rellevants relacionats a les aules intel·ligents:

- La publicació 2 es va elaborar conjuntament amb Neus Lorenzo i Ray Gallon, experts en pedagogia intel·ligent (*smart pedagogy*) i en Indústria 4.0 en educació. Ells són cofundadors de The Transformation Society i membres d'Information 4.0 Consortium, consorci del qual actualment Gallon és president. L'objectiu que es buscava en la col·laboració amb aquests autors era fonamentar de forma consistent com la Indústria 4.0 i la 4IR poden ajudar a millorar l'ensenyament i les aules intel·ligents, i oferir reflexions teòriques i recomanacions per a la seva implementació a les escoles. Posteriorment, com a recerca empírica derivada d'aquesta base teòrica inicial s'ha publicat Mogas et al. (2020) (publicació 7), amb els mateixos autors.

- La publicació 3 es va elaborar conjuntament amb Marian Márquez, compositora i professora d'institut, versada en els factors acústics i coneixedora de les condicions ambientals de l'aula escolar. L'objectiu que es buscava en aquesta col·laboració era establir clarament quines són les condicions ambientals a l'aula i, a partir de la indagació documental, poder determinar quines necessitats en investigació són més destacades. Amb la mateixa autora s'ha fet la revisió sistemàtica sobre acústica (publicació 5) i també s'han recollit dades empíriques per provar l'afectació dels efectes acústics en el professorat (publicació 9).
- La publicació 10 es va realitzar conjuntament amb Mònica Sanromà i José Luis Lázaro, tots dos pedagogs experts en educació inclusiva i investigadors amb diverses publicacions en aquesta línia. L'objectiu principal d'aquest treball era identificar quines característiques d'una aula intel·ligent afavoreixen la inclusió educativa, atès que es tracta d'un aspecte essencial del tema d'aquesta tesi com a pilar en la definició d'escola intel·ligent.
- La publicació 11 es va elaborar conjuntament amb Gisela Cebrián, experta en educació per al desenvolupament sostenible (EDS) i investigadora en temes relacionats amb l'educació i la sostenibilitat. L'objectiu d'aquesta col·laboració era establir com les aules intel·ligents poden contribuir a posar en pràctica les metodologies d'EDS d'una manera eficaç. Aquesta col·laboració era necessària, entenent que la sostenibilitat és un pilar de l'escola intel·ligent i cal entendre com abordar el tema a les aules.

5.6.2. Objectius de la recollida de dades

S'han dut a terme dos estudis per analitzar la potencial implantació de solucions tecnològiques de la 4IR a les escoles:

Publicació 6 L'objectiu principal era identificar la transició de les escoles catalanes cap a les escoles intel·ligents des d'un punt de vista holístic, exposar com s'enfronten les escoles al futur de l'educació mediada per la tecnologia, quines accions ja s'estan duent a terme i com fer front al futur.

Publicació 7 L'objectiu d'aquesta publicació era entendre millor com afronten les escoles la 4IR i apuntar la transformació educativa cap a aules intel·ligents.

S'ha conduït un estudi per analitzar els efectes de la il·luminació a l'aula. La hipòtesi de partida era que les diverses activitats realitzades a les aules requereixen diferents tipus d'il·luminació, en especial considerant la temperatura de la llum (CCT).

Publicació 8 L'objectiu general era comprovar si la temperatura de color correlacionada a l'aula afecta, i com, els processos cognitius de l'alumne.

OE1: Validar l'impacte de la temperatura de color correlacionada en l'atenció de l'alumne exposant-lo a processos cognitius diferents amb condicions lumíniques oposades.

OE2: Estudiar si hi ha diferències entre grups.

S'ha dut a terme un estudi per analitzar els efectes de l'acústica a l'aula, i en aquest cas l'atenció s'ha centrat en la percepció del professorat:

Publicació 9 **O1:** Analitzar de quina manera afecta l'acústica de l'aula als docents, com la perceben i quines estratègies s'apliquen per combatre el soroll.

O2: Identificar quins elements s'haurien de considerar per millorar el disseny de les aules pel que fa a l'acústica.

S'ha realitzat un últim estudi per analitzar la creació d'ambients d'aprenentatge en un món virtual 3D, entenent que pot ser un recurs potencial per fomentar la metacognició en la creació d'aules intel·ligents amb l'ajut d'eines tecnològiques:

Publicació 12 **O1:** Valorar el potencial dels mons virtuals en entorns 3D com laboratoris per al disseny i construcció d'ambients d'aprenentatge.

O2: Avaluar com les propostes fetes pels grups d'alumnes estan alineades als principis de *smart classroom*.

5.7. Anàlisi de dades

Si les tècniques de recollida de dades han estat diverses, les tècniques i procediments d'anàlisi de dades també ho han estat en conseqüència. Podem introduir els principis bàsics de les anàlisis de dades diferenciant les metodologies qualitatives i quantitatives.

5.7.1. Anàlisis qualitatives

A les revisions sistemàtiques es van analitzar en profunditat els documents i, com s'ha comentat prèviament, les matrius d'organització de la informació han estat útils per crear interrelacions entre els conceptes estudiats. A l'[Annex 1. Matriu \(parcial\) d'anàlisi conceptual de la revisió sistemàtica 1](#) es pot consultar l'estructura creada: a l'eix vertical es llisten les característiques identificades agrupades en dimensions, i a l'eix horitzontal s'enumera cadascun dels articles d'acord amb una codificació pròpia. El cos de la matriu conté descripcions, anotacions i cites textuais que ajuden a recuperar la informació (aquest text està tallat a cada cel·la, cal desplegar-lo en cada cas).

Les aportacions teòriques amb experts van sorgir de debats en profunditat. Per tant, les anàlisis de dades són un pas de la mateixa metodologia.

En el cas dels grups focals i les entrevistes, es va utilitzar un mètode narratiu per analitzar el contingut de les aportacions i extreure i agregar la informació rellevant. En primer lloc, es van identificar les idees principals per poder estructurar els resultats. Després, es va extreure una quantitat substancial d'informació de cadascun dels documents (enregistraments de vídeo o entrevistes escrites).

Als grups focals, com que alguns temes eren recursius o més repetitius, es va extreure la informació més rellevant i es van identificar les idees principals per poder estructurar els resultats. Per a l'anàlisi de resultats, es va utilitzar el programari Atlas.ti. Tal com suggereix Friese (2019), les aportacions es van codificar mitjançant les funcions següents:

- *Codes* per a la codificació selectiva, preestablerts segons el marc de referència de les categories intel·ligents i les seves característiques.
- *Memos* per afegir algunes idees específiques.
- *Quotations* per transcriure literalment les afirmacions més significatives dels informants.

Cal matisar, tal com Morgan (1997) va deixar clar, que interpretar les dades dels grups de discussió requereix distingir entre allò que els participants troben interessant i allò que consideren important, de manera que la forma més inequívoca d'avaluar les característiques importants a adoptar a les aules intel·ligents en un horitzó accessible era una pregunta directa.

Les entrevistes també es van codificar i analitzar mitjançant el programari d'anàlisi qualitativa d'Atlas.ti (en les seves versions versió 8.4.24 i Cloud, respectivament). En el primer cas (i.e. publicació 6), l'anàlisi va consistir en un procés de codificació, comparant els codis i identificant temes emergents seguint un enfocament d'anàlisi temàtica (Braun & Clarke, 2006) per donar sentit a les dades recollides durant la investigació. Es va escollir aquest enfocament perquè permetia una anàlisi i explicació profunda de les dades i la creació de temes clau que els participants consideraven rellevants per com es poden implementar innovacions tecnològiques i pedagògiques sostenibles a les seves escoles. Els temes es van crear d'acord amb la importància i l'ocurrència de les entrevistes, i representen una visió general del conjunt de dades, de tots els factors sorgits. En canvi, en el segon cas (i.e. publicació 9), es va realitzar l'anàlisi mitjançant una representació matricial a partir de les respostes dels participants. En tot cas, les respostes es van analitzar i etiquetar mitjançant una codificació oberta, entenent la codificació en un sentit ampli que comprèn els procediments de conceptualització, reducció, elaboració i vinculació de les dades (Strauss & Corbin, 2002). Un cop acabada l'anàlisi inicial en profunditat, es va realitzar una codificació axial addicional depurant categories i establint relacions categòriques d'acord amb els objectius de la recerca corresponent.

La publicació 12 va servir-se d'una altra tipologia de dades qualitatives, provinents dels diaris de camp i dels registres de vídeo. En aquest cas, també es va fer servir un procediment d'anàlisi narrativa. Tant les reflexions dels diaris com les justificacions dels vídeos es van analitzar mitjançant la creació d'una matriu temàtica de cites textuais similar a la realitzada amb les revisions sistemàtiques (Annex 4. Matriu (parcial) d'anàlisi de continguts a la publicació 12). A més a més, en aquesta investigació s'han respectat els quatre principis que van establir Derry et al. (2010) en relació amb l'ús de el vídeo com a instrument de recerca: per a la selecció, a SIMUL@B, a part dels diaris, es va decidir que cada grup gravaria un *screencast* amb l'explicació de la seva aula; l'anàlisi es va fer basant-se en el marc teòric de *smart classroom* i seguint el procediment descrit a la publicació; la tecnologia usada per a la recollida de dades va ser l'entorn virtual, i també es van respectar els principis d'ètica en la investigació, començant per l'acceptació dels alumnes per participar en el projecte.

5.7.2. Anàlisis quantitatives

La publicació 8 és un estudi de caire quantitatiu. Els resultats es van revisar inicialment amb SPSS, mitjançant un estudi de mesures repetides. Això no obstant, la versió final es presenta a partir de la lectura efectuada amb el programari R, amb què es va procedir seguint un model multinivell, el qual ofereix uns resultats equivalents.

5.8. Aspectes ètics

En tots els estudis s'ha vetllat pel compliment dels aspectes ètics de la investigació. En cadascuna de les accions de recollida de dades (fase 2) s'ha demanat als participants el seu consentiment informat de forma explícita, i se'ls ha assegurat l'anonimat a l'hora de publicar els resultats. Als annexos es poden consultar dos d'aquests models (Annex 5. Consentiment informat grup

focal de la publicació 7, a Catalunya, en català; Annex 6. Consentiment informat experiment TTCT - CCT de la publicació 8, a Flandes, en neerlandès).

En el cas dels experiments corresponents a la publicació 8, duts a terme a la KU Leuven, campus KULAK de Kortrijk, totes les accions planificades en què es requeria la intervenció d'alumnes van ser prèviament aprovades pel comitè d'ètica SMEC ([Social and Societal Ethics Committee](#)). A instrucció de SMEC, es van atendre els set principis d'ètica en la recerca llistats al recull *Research ethics: How to Treat People who Participate in Research* (Emanuel et al., 2006). Tal com vam informar:

1. Aquest projecte té un *valor social*, ja que recopilarem dades per entendre més bé com millorar els processos d'aprenentatge a l'aula. Aleshores, podem tenir informació sobre el desenvolupament.
2. *Validesa científica*. Els resultats han de ser útils per a la caracterització de les aules intel·ligents. És a dir, aquest projecte forma part d'una investigació més àmplia que proposa l'evolució dels escenaris d'aprenentatge. Es respectarà el mètode científic i s'evitarà qualsevol biaix.
3. *Selecció de temes justos*. Com que aquest projecte es trobava en un nivell exploratori, vam seleccionar un perfil específic de participants que s'adaptava perfectament a les necessitats de la investigació (estudiants de grau). Tot i que, i en funció dels resultats, també podríem ampliar el focus en altres projectes (per exemple, alumnes de secundària).
4. *Relació risc-benefici*. Aquest estudi no coneix els riscos i no suposa una càrrega per als participants, ja que han d'invertir deu minuts per respondre a la prova d2 / el test de Torrance (dues vegades, en dies diferents).
5. No hi ha cap *revisió independent* en aquest projecte, però la col·laboració entre dos grups de recerca (ITEC i ARGET) ha de reforçar qualsevol decisió o acció.
6. Els participants seran informats de l'estudi, se'ls convidarà a participar voluntàriament i signaran un *consentiment informat*.
7. Mostrem *respecte* als subjectes humans.

La proposta d'intervenció per estudiar els efectes de la il·luminació en l'atenció dels estudiants va ser aprovada per SMEC el dia 29 d'octubre de 2019, amb el número de dossier G-2019 10 1784. L'aprovació es considera vàlida durant un període de quatre anys. Posteriorment es van introduir canvis menors per estudiar els efectes de la il·luminació en la creativitat dels estudiants, i per aquest motiu es va demanar una esmena, que va ser aprovada per SMEC el dia 15 de gener de 2020, que conserva el mateix número de dossier.

Capítol 6. Resultats i discussió

A continuació es presenten de forma simplificada els resultats obtinguts als diferents estudis que conformen la tesi doctoral. En certa mesura estan reduïts, sintetitzats o fins i tot retallats perquè no es pretén reproduir aquí el detall de les dades obtingudes. A més a més, és preferible que els resultats —més que cap altre apartat— es consultin a les publicacions originals, que aporten aquesta informació convenientment desglossada. A continuació se n'ofereix, doncs, una visió global.

6.1. Caracterització dimensional de les aules intel·ligents per a una comprensió conceptual holística

Els resultats qualitius de caracterització de les aules intel·ligents s'han reflectit parcialment als capítols de la secció primera d'aquesta tesi.

Al capítol 2 s'ha proposat la següent definició d'escola intel·ligent d'acord amb un exhaustiu treball de fonamentació. En conseqüència, la **figura 4** utilitzada en el marc teòric és pròpiament un resultat d'aquesta investigació.

Les escoles intel·ligents 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 vetllar per la sostenibilitat; amb l'objectiu d'acollir una educació intel·ligent (*smart education*) adoptant de manera eficient noves metodologies d'aprenentatge i avenços de la 4IR.

Al capítol 3 s'ha aprofundit en el marc teòric emergent de la caracterització dimensional dels SLE i les aules intel·ligents, donat que el treball recollit a la publicació 1 va permetre fer una categorització inicial fonamental que ha servit de referent en recerques posteriors. Aquell treball va permetre fer una primera aproximació molt completa a la caracterització dels SLE, i gràcies a un grup focal posterior s'ha adaptat la classificació de característiques en vuit categories, i aquestes en tres dimensions superiors (**figura 16**). Si bé inicialment eren nou categories, el model final en prescindeix d'una. A continuació, es presenta l'esquema resultant i el detall de categories amb les característiques més habituals (amb freqüències entre parèntesi).

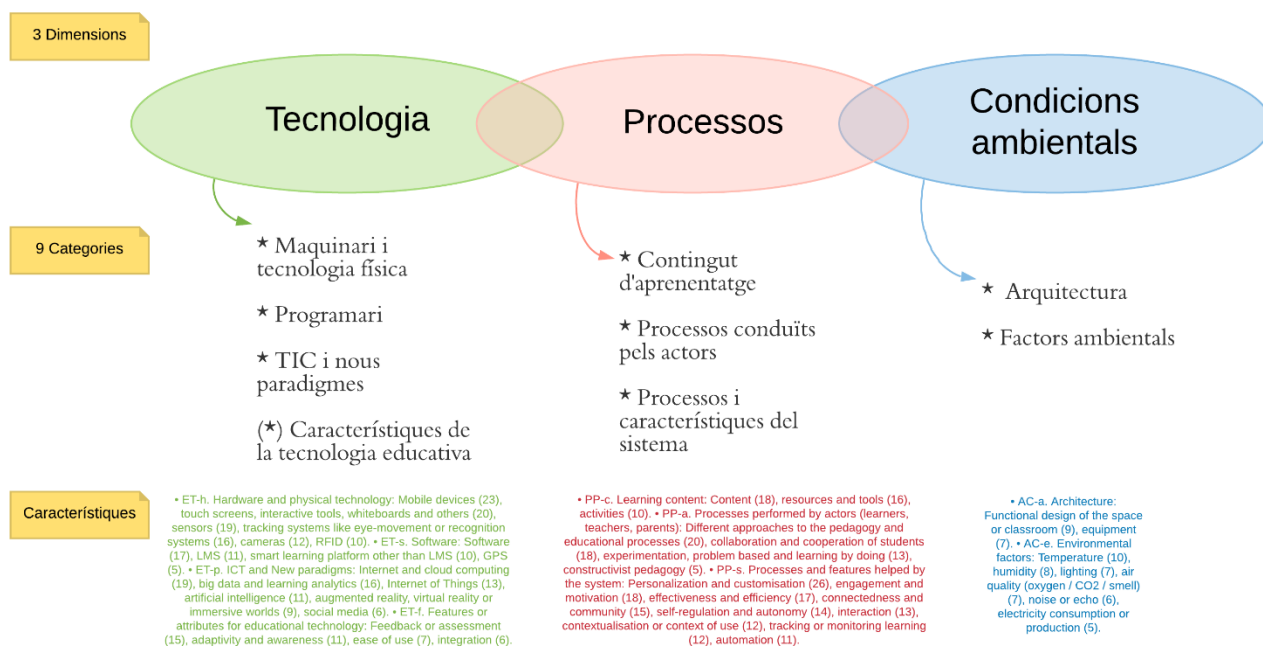


Figura 16. Classificació de les característiques dels SLE i les aules intel·ligents en dimensions i categories

- **Característiques relacionades amb la tecnologia:**

Maquinari i tecnologia física: dispositius mòbils (23), pantalles tàctils, eines interactives, pissarres electròniques i altres (20), sensors (19), sistemes de rastreig com sistemes de reconeixement i moviment ocular (16), càmeres (12), RFID (10).

Programari: programari (17), LMS (11), plataforma d'aprenentatge intel·ligent que no sigui LMS (10), GPS (5).

TIC i nous paradigmes: Internet i informàtica en núvol (19), dades massives i analítiques d'aprenentatge (16), internet de les coses (13), intel·ligència artificial (11), realitat augmentada, realitat virtual o mons immersius (9), xarxes socials (6).

- **Característiques relacionades amb les condicions ambientals físiques:**

Arquitectura: disseny funcional de l'espai o aula (9), equipament (7).

Factors ambientals: temperatura (10), humitat (8), il·luminació (7), qualitat de l'aire (oxigen / CO2 / olor) (7), soroll o ressò (6), consum o producció d'electricitat (5).

- **Característiques relacionades amb els processos realitzats:**

Contingut d'aprenentatge: contingut (18), recursos i eines (16), activitats (10).

Processos realitzats per actors (estudiants, professors, pares i mares): diferents enfocaments de la pedagogia i dels processos educatius (20), col·laboració i cooperació dels estudiants (18), experimentació, basada en problemes i aprenentatge fent (13), pedagogia constructivista (5).

Processos i funcions ajudats pel sistema: personalització i personalització (26), implicació i motivació (18), efectivitat i eficiència (17), connectivitat i comunitat (15), autoregulació

i autonomia (14), interacció (13), contextualització o context d'ús (12), seguiment o supervisió de l'aprenentatge (12), automatització (11).

Al sistema utilitzat per a l'anàlisi de dades, una matriu completa incorpora cites textuais o notes que donen informació sobre totes les característiques esmentades en cada document ([Annex 1. Matriu \(parcial\) d'anàlisi conceptual de la revisió sistemàtica 1](#)). Addicionalment, a Palau i Mogas (2019) es va publicar una taula amb la quantificació de freqüències per a cada publicació i característica esmentada.

Aquesta proposta de classificació en tres dimensions va sorgir de forma natural d'una revisió sistemàtica, atès que per resoldre la necessitat de controlar un gran nombre de característiques es van crear categories agrupables en dimensions. Per tant, no era una classificació final sinó funcional. Tot i no estar induïda per treballs concrets presenta gran similitud amb altres classificacions, i aquest fet reforça la validesa de la proposta:

1. Uskov et al. (2015) analitzen els components dels sistemes d'aula intel·ligent d'última generació i n'identifiquen quatre categories: les dues primeres estan dedicades a la tecnologia, d'una banda components, dispositius o equips de maquinari; i, d'altra banda, sistemes de programari, aplicacions i tecnologies emergents. Els dos darrers tracten d'activitats relacionades amb l'aprenentatge i l'ensenyament i amb tipus d'aprenentatge o pedagogia que s'ha d'utilitzar.
2. Freigang et al. (2018) també presenten un model significatiu amb possibles característiques per a un SLE. Ells identifiquen dues dimensions genèriques: la dimensió de l'espai (disseny de l'espai d'aprenentatge, especificat amb tecnologia, equips digitals i físics i arquitectura del lloc de treball) i la dimensió humana (disseny centrat en l'estudiant, especificat amb les necessitats de l'alumne, mètodes d'aprenentatge i de treball com a cultura d'aprenentatge i organitzativa).
3. Bautista i Borges (2013) van llistar una sèrie de requisits per a les aules intel·ligents, i l'evolució de la seva recerca ha portat a englobar-los en tres dimensions. Casualment, aquestes tres dimensions coincideixen amb les presentades en aquest treball, tot i que amb certa variació nominal: digital, ambiental i pedagògica, tal com es pot veure a la infografia publicada per Bautista (2019).

El treball realitzat inicialment a l'entorn de la caracterització de les aules intel·ligents va basar la identificació de característiques en la freqüència d'aparició a la revisió bibliogràfica. Això va funcionar per al nostre propòsit. Al contrari, també es podria veure com una limitació perquè les idees innovadores líders esmentades en només un dels quatre dels documents seleccionats han estat intencionalment desestimades. Tot i que, en el nostre sistema, mantenim un registre de totes aquestes dades i en investigacions posteriors explorarem característiques com el web semàntic (Ouf et al., 2017), la intel·ligència ambiental (Mathioudakis et al., 2014), entre altres.

Cal remarcar també que els resultats mostren tres dimensions clares concretades amb nou categories inicials. Les característiques, en canvi, poden canviar durant els propers anys i, per tant, és bastant significatiu considerar-les com a referència i prestar atenció a les categories per a una millor comprensió. Altres resultats sobre característiques definitòries de les escoles i les aules intel·ligents (tecnologia, condicions ambientals, inclusió, sostenibilitat, etc.) són tractats a continuació.

6.2. La comunitat educativa enfront dels avenços tecnològics de la 4IR i la potencialitat de les aules intel·ligents

Dues publicacions d'aquesta tesi aporten resultats sobre com la comunitat educativa entoma els avenços de la 4IR: publicació 6 i publicació 7. A continuació es narren els resultats més destacats, sense recuperar tota la informació publicada ni les cites textuais que aprofundeixen en la comprensió del missatge que els participants volien transmetre.

6.2.1. Resultats de les entrevistes sobre escoles intel·ligents

Les respostes habituals relacionades amb la **innovació tecnològica** a les escoles van ser que es disposa de dispositius digitals (ordinadors de sobretaula, portàtils, tauletes, iPads, Chromebook i panells interactius o pissarres interactives), connexió WiFi, LMS com a complement (principalment Moodle i Google Suite o Google Classroom) i altres serveis (webs, blocs, programes o aplicacions i emmagatzematge al núvol). Pocs directors van esmentar la robòtica i la programació (normalment utilitzant el Bee-Bot, Lego WeDo, Lego Robotics, Scratch) i només tres directors van informar sobre l'ús de la realitat augmentada i/o realitat virtual, tot i que aquestes són les tecnologies més innovadores (Anwar et al., 2019; Maas & Hughes, 2020). Per tant, l'adaptació tecnològica a les escoles es pot considerar limitada (Vincent-Lancrin et al., 2019). Durant les entrevistes també es van informar de mal ús de dispositius tecnològics, com pissarres interactives que només s'utilitzen com a projectors, i fins i tot alguns directors van referir-se als dispositius d'ús habitual i ordinadors com a "noves tecnologies". Cap director va considerar la intel·ligència artificial, internet de les coses, la informàtica en núvol (i no només l'emmagatzematge en núvol), els dispositius portables, els sensors o altres possibilitats de la 4IR com a formes d'innovació a les escoles.

Aquests resultats constaten que hi ha una enorme bretxa entre la investigació sobre tecnologies de la Indústria 4.0 aplicades a l'educació i l'impacte que aquesta investigació té a les escoles (Mogas et al., 2020; Oke & Fernandes, 2020). Tot i que la investigació s'interessa per la intel·ligència artificial i les solucions tecnològiques d'avantguarda de la 4IR (Johnston, 2018; SmartLET, 2020), les escoles reals passen a l'adopció més bàsica de dispositius digitals (Haria, 2020) o a serveis intel·ligents molt concrets (Saini & Goel, 2019). Això es pot explicar per dos motius: d'una banda, ni tan sols les empreses líders de tot el món han demostrat haver entrat a la 4IR d'una manera eficient i proporcionant resultats significatius (World Economic Forum, 2019); i, d'altra banda, la investigació educativa està molt centrada en avenços específics, i, per tant, cap proposta holística d'escoles intel·ligents és assequible, cosa que suma els costos econòmics i la manca de formació professional. Els resultats presentats en aquestes línies coincideixen amb investigacions anteriors (Mogas et al., 2020; Oke & Fernandes, 2020) que demostren la necessitat de fer més esforços respecte a l'adaptació dels edificis escolars i la gestió de les organitzacions d'aprenentatge per implicar-se en la 4IR. Els directors d'escola generalment ignoren la potencialitat dels darrers desplegaments tecnològics a causa de la manca de consciència en relació amb els seus avanços. Els responsables polítics i els grups d'interès de referència haurien de demostrar a la comunitat educativa l'impacte positiu d'aquestes tecnologies i la seva facilitat d'ús (OCDE, 2017b).

Els directors van respondre amb més interès i facilitat quan se'ls va preguntar sobre les **innovacions pedagògiques**, i van informar dels seus esforços per fer evolucionar l'ensenyament. Les noves metodologies més freqüentment referides van ser l'aprenentatge basat en projectes (fins a 19 directors s'hi referien), l'aprenentatge cooperatiu (esmentat 17 vegades), la ludificació (7 vegades) i

la classe inversa o *flipped classroom* (6 vegades). També es van esmentar altres metodologies: aprenentatge basat en la investigació, aprenentatge STEAM, robòtica i programació educativa, matemàtiques manipulatives, treball competencial, aprenentatge adaptatiu, metodologia CLIL, aprenentatge basat en el pensament, neuroeducació, atenció aplicada a l'educació, espais d'aprenentatge temàtics i aprenentatge per reptes. Els entorns virtuals d'aprenentatge també s'esmentaven normalment, especialment a les escoles de secundària, i es consideraven un referent per a la innovació pedagògica. Diversos directors van destacar explícitament el fet que aquestes metodologies depenen del professor o de l'assignatura, de manera que una organització pot tenir models diferents. Val a destacar, a més a més, que diversos directors van informar que la personalització de l'aprenentatge i l'augment de l'autonomia dels estudiants era rellevant en els seus projectes de centre. De totes les entrevistes realitzades, només dos directors van afirmar que les seves escoles no utilitzen noves metodologies per impulsar l'aprenentatge dels estudiants, i en general es pot afirmar que hi ha voluntat d'introduir canvis en l'educació i, per tant, que la comunitat educativa està preparada per al canvi educatiu (Zulkarnaen et al., 2019).

També es va preguntar als directors sobre els **sistemes de gestió** per tenir una comprensió de com s'encaren al potencial de les escoles intel·ligents. Els resultats mostren que la manera com els directors coordinen els equips i promouen la comunicació entre professors és mitjançant l'ús de serveis genèrics (sempre Google Suite), correu electrònic i WhatsApp. Dues escoles van informar que utilitzen una intranet, principalment per compartir fitxers o com a repositori per al seu web i amb funcions limitades. Altres serveis genèrics s'utilitzen per a accions de gestió específiques: per crear horaris i calendaris, per reservar aules o espais, emmagatzematge al núvol per compartir documents, etc. La comunicació amb les famílies sempre es fa mitjançant l'enviament de correus electrònics, mitjançant aplicacions o serveis web (Dinantia, Gescola, iEduca, Clickedu, Tokapp, Alexia, Bynapp, Gwido, Gestin), el web o el bloc institucional i, de vegades, les xarxes socials de l'escola s'utilitzen com a mitjans de comunicació (Twitter, Instagram, Facebook, Youtube). En tres casos, els directors també van admetre l'ús de WhatsApp amb les famílies. Es posa en relleu que les escoles no participen en sistemes de gestió integral per satisfer totes les possibilitats de gestió de la informació de les seves institucions. Prefereixen trucades telefòniques i reunions in situ i formes d'organització tradicionals ajudades pels serveis esmentats.

Hi ha **iniciatives per a l'educació inclusiva**. Les barreres arquitectòniques són el tema principal d'acció i va aparèixer a totes les escoles. La majoria dels entrevistats van assenyalar que havien eliminat barreres físiques amb rampes i ascensors, i fins i tot es van esmentar casos en què s'havien instal·lat baranes i adaptacions de portes. D'altra banda, sovint es va argumentar la individualització com a forma d'inclusió, per exemple mitjançant tutories individuals o en grups reduïts. Però, al mateix temps, es va remarcar la necessitat de considerar tots els estudiants en totes les circumstàncies per fer l'escola realment inclusiva. Cal remarcar que tres directors van informar que disposaven d'equips de suport intensiu per a l'escola inclusiva i diversos van agrair la feina feta pels equips d'assessorament i orientació psicopedagògica. Un dels directors de l'escola fins i tot va reflectir (per propi coneixement) la consciència sobre la necessitat de seguir el Disseny Universal per a l'Aprenentatge (DUA).

Un altre tema treballat a les entrevistes va ser el de les **instal·lacions** de les escoles amb visió **cap a la sostenibilitat**. Aproximadament dos terços dels entrevistats van declarar que una primera decisió cap a la sostenibilitat va ser el canvi de fluorescència i altres sistemes d'il·luminació per LED. El consum d'energia va sorgir com un segon gran problema. Hi ha escoles que han adoptat calefacció més sostenible (sistemes de menor consum d'energia o calefacció d'aigua amb biomassa), han canviat

les finestres i han instal·lat materials aïllants al sostre. Fins i tot dues de les escoles han instal·lat el seu propi sistema fotovoltaic. Altres temes considerats per fer l'escola més sostenible van ser el control del subministrament d'aigua per evitar el malbaratament d'aigua i els protocols de gestió de residus, inclosos compostadors per dipositar matèria orgànica. Els directors van mostrar un compromís amb el medi ambient promovent o forçant l'ús de carmanyoles reutilitzables en lloc de làmines d'alumini i plàstics, fomentant l'estalvi d'energia ensenyant a utilitzar correctament els electrodomèstics, digitalitzant quan no cal imprimir en paper, promovent la mobilitat mitjançant patinets i bicicletes quan sigui possible, adoptant hàbits de reciclatge, etc. En aquesta línia d'actitud, un director va expressar que són una escola verda. Per contra, però, 21 directors van confirmar que no han adoptat cap millora arquitectònica a les seves escoles per ser més sostenibles; altres van afirmar que les millores són limitades o insuficients. El motiu argumentat estava sempre relacionat amb el fet que són escoles públiques i que la gestió econòmica no depèn de si mateixes. En canvi, les sis escoles finançades parcialment han aplicat innovacions cap a la sostenibilitat ambiental.

Havent preguntat als directors quines **necessitats, desafiaments i resistències** trobaven als seus centres, els directors van apuntar temes diversos. La necessitat general que els directors van informar de les seves escoles és l'adquisició de més dispositius digitals. A més, van remarcar que no necessitaven tecnologies sofisticades ni avenços de la 4IR, sinó dispositius bàsics com poden ser USB, tauletes, ordinadors portàtils i pissarres interactives. La connexió WiFi també va ser una queixa recurrent: deu directors van afirmar que el seu accés a Internet és lent o que pateix congestió i interrupcions. En diverses entrevistes es va subratllar també la necessitat de formar professionals (professors i altres); en termes generals, la predisposició i la capacitat d'adaptació són assequibles, però la manca de formació es presenta com un repte important. Més important encara: molts directors van considerar la manca de recursos econòmics com un problema. Altres es van referir a la necessitat de disposar de més recursos humans, com ara personal informàtic, professionals per orientar projectes innovadors, més professors per organitzar millor l'ensenyament o més temps per invertir ells mateixos en formació i ser més hàbils digitalment. Quatre d'ells es referien a l'adaptació de l'espai per ser més flexibles i moderns. La necessitat de considerar qualsevol tipus d'innovació en de l'estratègia pedagògica de l'escola també es va posar de manifest diverses vegades durant les entrevistes. La tecnologia i qualsevol millora han d'estar al servei de l'educació, i el valor humà és predominant.

Tenint en compte aquests resultats, és evident que les escoles catalanes no compleixen les característiques dels sistemes ciberfísics interconnectats pel que fa a una gestió integradora de l'organització de l'aprenentatge, la comunicació entre agents i l'eficiència de l'edifici (Salimi & Ghonoodi, 2012). Per contra, la inclusió és l'aspecte més concorregut del concepte d'escola intel·ligent a causa de la regulació governamental per llei (Decret 150/2017). Sempre es considera l'eliminació de barreres arquitectòniques, s'utilitza el Disseny Universal per a l'Aprenentatge com a marc de referència (CAST, 2018) i es demostra que els líders escolars es preocupen per la inclusió. La sostenibilitat es veu d'una manera molt marginal tot i que hi ha escoles que estan implementant solucions més avançades, com ara plaques solars o sensors ambientals a l'aula, per controlar i regular aspectes com la il·luminació, l'acústica i la qualitat de l'aire; això les aproxima al concepte d'aules intel·ligents.

6.2.2. Resultats del grup focal sobre aproximació de les escoles a la 4IR

Tots els participants del grup focal (Mogas et al., 2020) van coincidir en la necessitat de fer **canvis a l'aula**, i que aquests canvis depenguessin en tots els casos de les **necessitats pedagògiques**. Els directors van reconèixer la necessitat d'evolucionar al ritme de la societat i de fer tot el necessari per respondre a les expectatives dels estudiants. També van destacar que el perfil dels estudiants ha evolucionat i que les aules s'han d'adaptar a noves habilitats i competències. Un gran nombre d'intervencions durant el grup de discussió, independentment de la pregunta formulada, va plantejar la necessitat de vincular qualsevol decisió d'aquest canvi a la pedagogia subjacent a la proposta. Sempre és essencial establir una relació clara entre qualsevol innovació estructural o tecnològica i els processos implicats. Treballs anteriors han destacat de la mateixa manera que la pedagogia és un tema clau a les aules intel·ligents (Yang et al., 2018). De fet, l'aula inclou l'aprenentatge en els seus aspectes socials, culturals, arquitectònics i tecnològics (Sardinha et al., 2017), per la qual cosa és fonamental treballar l'estratègia pedagògica. Els perfils professionals dels participants expliquen aquesta insistència i s'ajusta a la majoria de la literatura existent (Kinshuk et al., 2016; Uskov et al., 2018).

Els resultats també posen en relleu **en què cal invertir** per aconseguir millorar l'educació i les escoles, segons els directors participants. Els temes emergents van ser: tecnologia, mobiliari i control ambiental. El tema que va causar més interès va ser el de la tecnologia. Els enfocaments teòrics suggereixen que la tecnologia té un paper clau en 4IR i que en alguns anys la intel·ligència artificial es desenvoluparà prou per facilitar els processos educatius i proporcionar ingressos a tots els agents implicats. La IA oferirà serveis personalitzats i serveis intel·ligents (X. Li et al., 2018), i farà que les interaccions siguin més eficaces i eficients (Christensen et al., 2017). S'estan duent a terme altres esforços amb internet de les coses (IdC), que fa que una classe sigui més intel·ligent perquè tots els objectes estan connectats a un servidor per processar i controlar les dades (Chan et al., 2017). En aquest sentit, els directors del grup focal van reconèixer la predisposició a adoptar noves solucions tecnològiques, tot i que la IA o l'IdC es consideren inaccessible actualment, almenys a les escoles públiques. A partir de les característiques que defineixen les tres categories de la dimensió tecnològica (**figura 16**), només algunes es van considerar viables. Per als participants, la tecnologia es pot introduir de maneres més senzilles: dispositius bàsics com ara dispositius mòbils, pantalles tàctils, eines interactives o pissarres blanques, així com l'ús de possibilitats fàcils a Internet, realitat augmentada i xarxes socials o programari bàsic. Per explicar aquest fre a l'hora d'adoptar tecnologies de la 4IR, podem dir que són freqüents les dificultats per transformar escoles i aules (Ayneto, 2019). Aquest limitat desplegament tecnològic dificulta l'obtenció d'aules intel·ligents, però és evident que els directors acceptarien qualsevol tecnologia de la indústria 4.0 que millorés els processos a l'escola.

Sempre des del seu coneixement professional tàcit, alguns dels directors van identificar el canvi de mobiliari d'aula com una tendència, un aspecte accessible i fàcil de millorar. Emmarcat en la 4IR, en què la connectivitat i l'IdC creuen les fronteres tradicionals, el disseny funcional dels espais i els mobles té un paper clau en el suport a l'ensenyament i l'aprenentatge. El mobiliari no sempre es veu com una categoria principal a les aules intel·ligents i no es defineix específicament a la Indústria 4.0. Tot i ser tangencial a la indústria 4.0, una aula intel·ligent implica un espai físic còmode i eficaç dissenyat per satisfer necessitats flexibles (MacLeod et al., 2018).

Per acabar, sobre la concepció de les aules intel·ligents els participants van mostrar interès en el control de les condicions ambientals perquè es veu com un aspecte relativament fàcil de dominar i del qual s'entenen les conseqüències. La il·luminació i l'acústica van ser acceptats com a aspectes

rellevants a tenir en compte per millorar l'ensenyament i l'aprenentatge, i tots els directores veurien viable aquesta dimensió d'una aula intel·ligent a les seves escoles, tot i que no poden prendre decisions si no hi ha informació específica sobre els beneficis de cada solució. El seu valor es reforça amb propostes que consisteixen en sistemes d'il·luminació dinàmica (Choi & Suk, 2016), mesurant la qualitat de l'aire a l'aula (Uzelac et al., 2015) i ajustant l'acústica per garantir les millors condicions ambientals per a l'aprenentatge. Els directores van coincidir en la necessitat de controlar aquests aspectes, però van declarar la manca d'experiència en el camp, de manera que les propostes serien ben rebudes per implementar-les si se'ls informés científicament i beneficiosa. Dit d'una altra manera, la indústria 4.0 encara té molta feina a fer a les escoles, i això inclou l'oportunitat d'introduir canvis per donar suport als processos d'ensenyament i aprenentatge.

També es van treballar en profunditat les **limitacions percebudes** pels directores a l'hora d'implementar aules intel·ligents als seus centres, i encara més si volen convertir les seves escoles en *smart schools*. Entre les principals debilitats o limitacions que s'han de superar, hi ha les reticències reportades d'alguns professors, estudiants i famílies, així com la manca de competència dels educadors en molts casos o professors que es neguen a utilitzar tecnologies avançades. Aquestes són raons previsibles vinculades a l'evolució social que ja van esdevenir-se en diverses etapes de les revolucions industrials passades: des dels luddites que lluitaven contra la maquinària tèxtil al segle XIX, fins als escèptics actuals que dubten dels avenços de la nostra societat híbrida persona-ordinador. Segons estudis anteriors, sembla clar que una de les raons principals per no implementar immediatament la Indústria 4.0 és la manca d'empleats qualificats (Benešová & Tupa, 2017; Kaymaz et al., 2017), i una de les explicacions és que els professors de primària i secundària no estan preparats per al nou paradigma educatiu de la 4IR. Per aquest motiu, els continguts i les tècniques d'ensenyament haurien d'estructurar-se d'acord amb els objectius, les necessitats i les habilitats dels estudiants i les habilitats molt demandades pels agents econòmics (Atiku & Boateng, 2020). La sobrecàrrega d'informació per formar professionals no ajudarà. En línia amb la necessitat expressada d'una base pedagògica abans d'emprendre un canvi, la formació del professorat s'hauria de centrar més en els processos d'aprenentatge i aprendre a aprendre, en lloc d'intentar adquirir més informació sobre matèries. L'ensenyament ja té alts nivells d'estrès laboral (Garrick et al., 2014).

A part de les habilitats i competències com a limitacions percebudes, també se n'han identificat d'altres com limitacions econòmiques, influències negatives externes i aspectes ètics. Quant a aspectes econòmics, l'alt cost financer en l'afany de convertir una aula en aula intel·ligent sovint es planteja com a dificultat (Benešová & Tupa, 2017), i els participants també van esmentar aquesta preocupació. Cal recordar que tots els directores del grup de discussió dirigeixen escoles públiques i, per tant, els seus recursos són limitats. Des d'una altra visió, els participants van assenyalar la necessitat d'equilibrar els pressupostos a tot el territori per evitar diferències entre escoles riques i pobres o escoles privades i públiques, fet que agreuja les diferències i la bretxa social. D'altra banda, pel que fa a influències negatives, un dels participants va assenyalar que algunes informacions externes poden afectar la presa de decisions a les escoles, ja que els mitjans de comunicació no sempre són proclius a defensar la potencialitat de la Indústria 4.0. No obstant això, aquesta és una visió divergent que no s'informa generalment a la literatura científica sobre el tema. Per acabar, la discussió ètica també va emergir al grup focal. Quan es tracta dels avenços més avançats, cal una discussió ètica per garantir el compliment dels principis ètics i morals, d'acord amb les polítiques i lleis corresponents. Hi ha debats en algunes famílies sobre si les tecnologies enriqueixen el procés d'aprenentatge o produeixen efectes negatius en els nens (OCDE, 2015). Les escoles Waldorf han limitat l'ús de les

tecnologies (Wallace & Robichaux, 2018) i han guanyat popularitat, especialment Califòrnia amb pares que treballen en posicions estratègiques del sector tecnològic a les empreses més rellevants (Van Buren, 2019).

6.3. Efectes d'un sistema dinàmic de temperatura del color correlacionada en funció dels processos cognitius que es volen potenciar a l'aula

A la revisió sistemàtica sobre il·luminació a l'aula (publicació 4), de 3.362 articles recuperats a ambdues bases de dades (WoS i Scopus), es van seleccionar 194 títols. A la **taula 6** es pot veure un resum del procés que va conduir a aquest còmput. D'aquesta selecció, finalment, se'n van poder analitzar 130 (un cop descartats duplicats, els originals que no eren accessibles i els escrits en llengües que el doctorand no domina).

Taula 6. Quantificació dels resultats obtinguts a la revisió sistemàtica de Mogas & Palau (2021)

	Web of Science				Scopus			
	Recuperats	Elegibles	Descartats	SELECCIÓ	Recuperats	Elegibles	Descartats	SELECCIÓ
(1) lighting "learning processes"	189	0 0,00%	0	0 0,00%	51	3 5,88%	1	2 3,92%
(2) lighting "learning environment"	359	10 2,79%	3	7 1,95%	42	15 35,71%	1	14 33,33%
(3) classroom lighting	2371	95 4,01%	12	83 3,50%	350	96 27,43%	8	88 25,14%
TOTAL	2919	105 3,60%	15	90 3,08%	443	114 25,73%	10	104 23,48%

Els resultats consultables a Mogas i Palau (2021) mostren la importància d'utilitzar il·luminació LED a les aules intel·ligents, el debat entre el balanç de llum natural i llum artificial, la suposada conveniència de regular la temperatura del color correlacionada segons la tasca que es du a terme, i la tendència creixent quant a automatització o ús de sistemes informàtics per millorar els aspectes lumínics de l'aula.

Els resultats presentats a la publicació adés referida van servir per ampliar i enriquir la publicació 3, que tractava tots els factors ambientals a l'aula (no només il·luminació) i establia que els principals paràmetres lumínics a considerar en una aula intel·ligent són els següents, amb aquestes possibilitats en investigació:

- **Font lluminosa.** En nous dissenys d'aula s'ha de tenir en compte l'aprofitament de la llum natural des de la previsió arquitectònica i material: superfícies diàfanes o translúcides, amb finestres i connexió amb l'exterior. S'han d'evitar reflexos, ombres i altres efectes causats per la llum, ja sigui artificial o natural. Ara bé, no hi ha dubte que, mitjançant mecanismes tecnològics, l'aula intel·ligent oferirà solucions: l'oportunitat de regular la llum artificial amb

l'ús de sensors i sistemes de resposta automatitzada, molt especialment adaptant la intensitat i la temperatura del color.

- *Intensitat de la llum.* El que s'ha exposat en el marc teòric són valors de referència fixos aplicables a les aules tradicionals. Per al disseny d'aules intel·ligents s'hauria de crear un sistema dinàmic en el qual la intensitat sigui regulable i s'adapti en funció de l'activitat que es porti a terme. No obstant això, no hi ha estudis científics que determinin els paràmetres que s'han de considerar de forma concreta, i menys oferint resultats de proves objectives, estadístiques i generalitzables sobre efectes mesurables en processos cognitius i d'aprenentatge dels alumnes. Una cosa similar passa amb la temperatura del color.
- *Temperatura del color correlacionada (CCT).* A l'aula intel·ligent s'entén que no tots els processos, activitats i metodologies que es presenten requereixen la mateixa il·luminació, i es fa necessari un sistema dinàmic. Diversos estudis suggereixen que el sistema d'il·luminació dinàmic hauria de permetre realitzar activitats com classes magistrals o exàmens amb una llum freda, i realitzar treballs en grup o tasques que requereixin reflexió, fins i tot les més creatives, amb una llum més càlida (Hansen et al., 2018; Mott et al., 2014; Slegers et al., 2013). La intel·ligència artificial encara no pot interpretar i donar resposta a la regulació automatitzada de CCT, de manera que els sistemes actuals han de permetre al docent adaptar els paràmetres manualment. Això sí, encara que s'investiga la llum freda, encara no està empíricament demostrat que la llum càlida afavoreixi determinats processos, ni queda ben definit com estudiar els diferents processos cognitius convergents en el procés d'aprenentatge en relació amb la il·luminació. També es necessita ampliar la investigació provant quina il·luminació és més convenient per a cada tipus d'activitat o metodologia docent.

Justament per donar resposta a la necessitat detectada en el punt anterior, es va dissenyar una intervenció que pretenia esclarir com afecten diferents valors de la temperatura del color de la llum a processos cognitius oposats. Aquesta experimentació va consistir primer en una prova pilot a Tarragona (Catalunya), en què es van traçar les directrius de la recerca tot identificant febleses i dificultats per superar. Seguidament, es va poder dissenyar una intervenció fiable que va ser conduïda a Kortrijk (Flandes) i va donar com a resultat la publicació 8.

En primer lloc, la prova pilot executada a Tarragona es va centrar en l'aplicació del test d2 d'atenció en grups d'alumnes de la Universitat Rovira i Virgili. Aquest testatge va ser productiu en tant que es van identificar errors de disseny que posteriorment resoldríem.

Primerament es va fer l'experiment amb nou alumnes del grau de Pedagogia. Tots ells van respondre el test alhora, dos cops: primer amb llum freda i, passades tres hores de desconnexió (realitzant altres activitats), amb llum càlida. Els resultats obtinguts es mostren a la **figura 17**.

	TR	TA	O	C	E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR		TR	TA	O	C	E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR	
	551	219	19	1	19	3,3	45	32	532	218	13		503	188	26	1	27	5,3	43	26	475	187	17	
3K07T1	562	228	16	1	17	3,0	47	30	545	227	17		5K07T1	546	212	23	4	27	4,9	47	27	519	208	20
3K07T2	480	195	4	2	6	1,3	43	27	474	193	16		5K07T2	469	180	25	0	25	5,3	42	19	444	180	23
3K07T3	635	216	71	0	71	11,2	47	40	564	216	7		5K07T3	555	162	83	0	83	15,0	46	27	472	162	19
3K07T4	586	244	13	0	13	2,2	47	37	573	244	10		5K07T4	468	169	26	1	27	5,8	39	29	441	168	10
3K07T5	541	226	7	0	7	1,3	42	29	534	226	13		5K07T5	518	208	13	0	13	2,5	43	29	505	208	14
3K07T6	509	202	11	0	11	2,2	40	33	498	202	7		5K07T6	507	186	29	0	29	5,7	45	32	478	186	13
3K07T7	519	209	11	0	11	2,1	46	29	508	209	17		5K07T7	541	213	21	1	22	4,1	46	30	519	212	16
3K07T8	535	211	14	0	14	2,6	43	29	521	211	14		5K07T8	460	185	5	1	6	1,3	39	24	454	184	15
3K07T9	589	240	20	2	22	3,7	47	31	567	238	16		5K07T9	459	180	12	2	14	3,1	41	15	445	178	26

Figura 17. Resultats del test d2 amb estudiants de Pedagogia de Tarragona

Sense necessitat d'anàlisi estadística es pot observar que:

- Els valors de l'esquerra (llum càlida) són sempre millors que els de la dreta (llum freda). Això indica que el retest mostra un nivell d'efecte "entrenament" molt elevat si el període de separació de les dues mesures és reduït.
- El valor 5K07T3 està marcat en vermell perquè el participant es va quedar sense tinta i no va poder completar el test; s'ha de descartar.

Per tant, calia refinar el procés i així es va fer amb un segon grup de participants, aquest cop amb 10 estudiants del Doble Grau d'Educació Infantil i d'Educació Primària.

Per solucionar que el retest proporcionava resultats condicionats, es van introduir dues millores al disseny metodològic. Es buscava controlar que la variable independent era la CCT i no altres variables intervinents com podria ser l'ordre de realització de la prova. En la primera millora es van separar els participants en dos grups, de manera que aproximadament la meitat faria la prova primer amb llum freda i després amb llum càlida, i amb l'altra meitat, viceversa. En la segona s'allargaria la separació temporal a dies. A la **taula 7** es pot veure la distribució de la intervenció.

Taula 7. Distribució de la intervenció amb test d2 al grup de doble titulació

	Data	Hora	CCT	n
Grup 1	5/11/2019	16:40	3.000K	6
Grup 2	5/11/2019	17:00	5.300K	4
Grup 1	7/11/2019	16:45	5.300K	6
Grup 2	7/11/2019	16:55	3.000K	4

Els resultats es poden consultar a la **figura 18**.

	TR	TA	O	C	E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR		TR	TA	O	C	E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR	
	577	234	20	1	21	3,7	46	35	556	233	12		580	239	16	2	17	3,0	46	35	563	238	11	
3K11T1	590	181	80	0	80	13,6	47	34	510	181	13		5K11T1	600	252	14	1	15	2,5	46	35	585	251	11
3K11T2	535	191	37	0	37	6,9	47	29	498	191	18		5K11T2	511	210	5	0	5	1,0	42	33	506	210	9
3K11T3	483	189	13	0	13	2,7	42	27	470	189	15		5K11T3	653	295	4	0	4	0,6	47	46	649	295	1
3K11T4	600	256	12	0	12	2,0	47	34	588	256	13		5K11T4	543	207	25	3	28	5,2	45	33	515	204	12
3K11T5	533	226	1	1	2	0,4	46	33	531	225	13													
3K11T6	560	208	34	12	46	8,2	47	29	514	196	18		5K12T1	612	273	1	0	1	0,2	47	34	611	273	13
													5K12T2	581	220	35	0	35	6,0	47	33	546	220	14
3K12T1	573	245	5	0	5	0,9	47	34	568	245	13		5K12T3	611	244	29	1	30	4,9	47	35	581	243	12
3K12T2	653	299	0	0	0	0,0	47	46	653	299	1		5K12T4	530	216	9	0	9	1,7	47	31	521	216	16
3K12T3	604	259	10	0	10	1,7	47	39	594	259	8		5K12T5	608	236	36	10	46	7,6	47	38	562	226	9
3K12T4	641	284	6	0	6	0,9	47	41	635	284	6		5K12T6	554	238	0	0	0	0,0	46	35	554	238	11

Figura 18. Resultats del test d2 amb estudiants de doble titulació de Tarragona

Tots els valors calculats a partir de cada prova són els següents (consulteu [Annex 3. Test d'atenció d2](#)):

TR TA O C E E% TR+ TR- TOT CON VAR

D'aquests, els més significatius per a nosaltres són:

- **TOT** = Total. Nombre de lletres respostes (fins a quin punt de cada línia) menys els errors (tots dos, comissió i omissió). És a dir, $TOT = TR - (O + C)$
- **CON** = Índex de concentració. Es calcula per la quantitat total de coincidències menys els errors de comissió. És a dir, $CON = TA - C$
- **VAR** = Índex de variació. Indica la diferència entre la fila més ràpida i la més baixa de cada prova. És a dir, $VAR = (TR+) - (TR-)$
- **E o E%** = Error o percentatge d'error

Si desglossem els resultats, veiem que en tots els casos els valors TOT i CON milloren força al retest, i també es produeix una disminució significativa del percentatge d'error (**figura 19**). Com hem dit, aquesta millora no es deu a la CCT com a variable independent, sinó a l'ordre de realització del test d2. Bo i així, tenir els dos grups equilibrats permet comprendre mitjançant procediments estadístics quina és realment la influència de la CCT en la millora dels resultats; l'efecte de la llum en la concentració com a variable dependent. A més, es pot determinar si hi ha una il·luminació preferible per realitzar el test d'atenció amb independència de l'ordre amb què s'hagi experimentat.

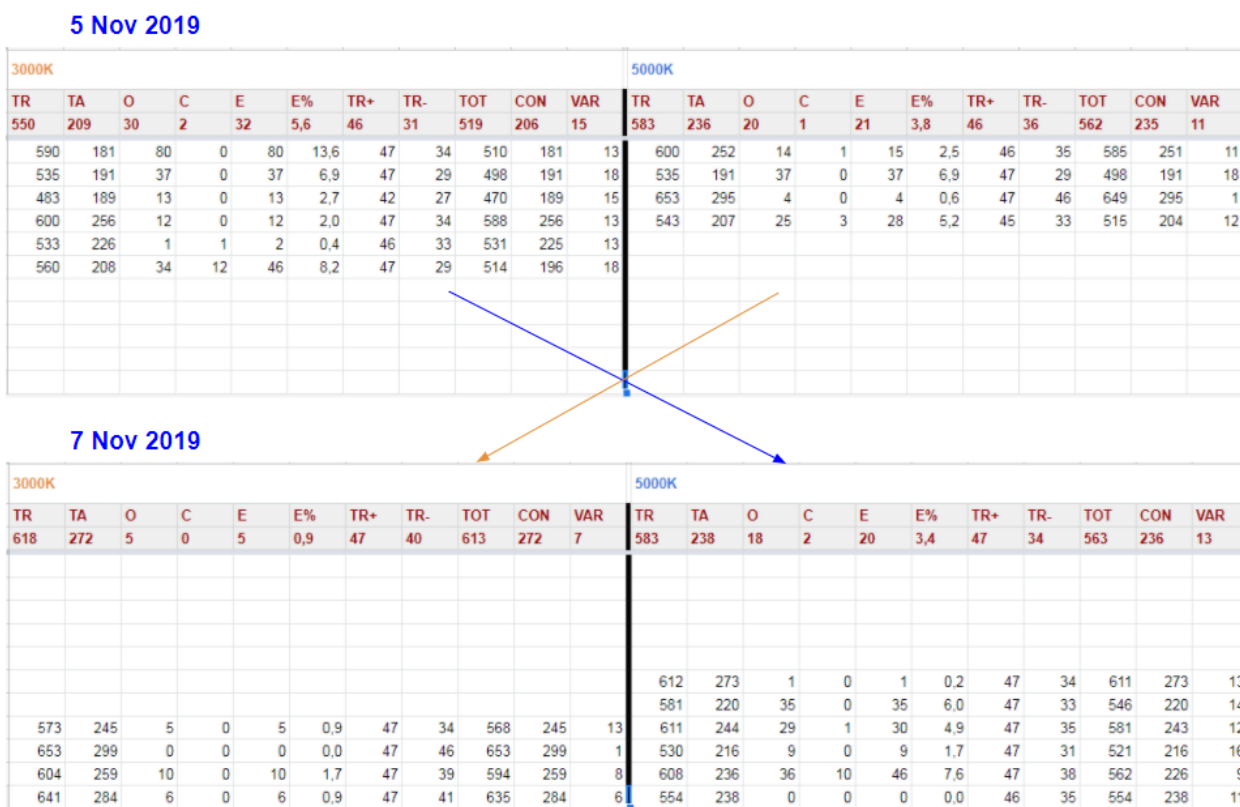


Figura 19. Resultats creuats del test d2 amb estudiants de doble titulació de Tarragona

A l'Annex 7. Anàlisi del d2 a Tarragona, amb R es mostra l'anàlisi estadística realitzada dels valors rellevants mitjançant un model lineal mixt. D'aquests resultats se'n podria extreure alguna interpretació, però la principal és que aplicar un disseny quantitativ d'aquest tipus requereix una mostra més gran per poder reportar resultats significatius.

L'experimentació pilot a Catalunya va servir per millorar la tècnica, preparar la infraestructura lumínica, provar requeriments de l'experimentació, etc. Com a resultat es va dissenyar una guia d'actuació presentada a l'Annex 3. Test d'atenció d2. Aquesta guia incorpora un exemple de full de respostes d2, els principis bàsics d'actuació en cada ocasió que es recullen dades, què cal explicar als

participants, com han de procedir, quin color de bolígraf han d'utilitzar (per facilitar la correcció), etc. En aquesta guia també s'ha afegit un informe d'una pàgina en què s'explica amb més detall quines dades es van comptabilitzar, i a continuació es mostra un model de pauta de correcció d'un test real.

A Flandes es va fer la intervenció definitiva per recollir dades referents a com afecta la CCT en processos cognitius de naturalesa oposada: l'atenció i la creativitat. Seguint el model descrit prèviament, es van poder considerar els test-retests de 41 alumnes matriculats a l'assignatura *Instructiepsychologie en -technologie* del grau en ciències de l'educació (*Bachelor in de onderwijskunde*). Van participar-hi en diversos torns, entre els dies 4 i 18 de desembre de 2019.

A la **figura 20** es mostra una fitxa individual amb el registre de l'avaluació. Es va generar un fitxa per a cada test corregit, i va permetre generar una matriu completa dels valors totals. Els alumnes van participar de forma anònima, però se'ls va demanar el nom com a identificador per ser substituït per un codi. Aquest codi permetia emparellar el test i el pretest de cada participant.

TR	TA	O	C			Σ
46	20	1	0		TR	450
36	12	2	0		TA	173
28	11	1	0		O	18
33	14	0	0		C	1
24	10	0	0		E	19
26	10	1	1		E%	4,2
34	12	3	0			
37	12	3	0		TR+	46
32	13	0	0		TR-	24
27	11	1	0			
33	13	0	0		TOT	431
28	10	2	0		CON	172
24	10	0	0		VAR	22
42	15	4	0			

Figura 20. Mostra de fitxa individual amb el càlcul de valors del test d2

Donat que els 41 participants van respondre dos cops el test, es van generar 82 fitxes que se sintetitzen a la matriu final (figura 21).

Codes	TR	TA	O	C	E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR		TR	TA	O	C	E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR
	483	191	18	4	23	4,8	42	28	471	187	14		511	200	18	1	19	3,7	43	30	493	199	13
3K1K01	525	182	43	1	44	8,4	46	29	481	181	17	5K1K01	567	210	33	0	33	5,8	47	34	534	210	13
3K1K02	414	163	7	2	9	2,2	36	24	405	161	12	5K1K02	503	202	8	0	8	1,6	46	29	495	202	17
3K1K03	528	169	58	1	59	11,2	46	29	469	168	17	5K1K03	521	193	25	0	25	4,8	46	32	496	193	14
3K1K04	455	171	18	0	18	4,0	39	23	437	171	16	5K1K04	548	216	14	0	14	2,6	47	33	532	216	14
3K1K05	465	183	13	2	15	3,2	42	19	450	181	23	5K1K05	555	229	9	1	10	1,8	47	34	545	228	13
3K1K06	492	201	3	0	3	0,6	40	29	489	201	11	5K1K06	523	209	11	0	11	2,1	43	33	512	209	10
3K1K07	530	188	45	0	45	8,5	47	27	485	188	20	5K1K07	576	203	47	3	50	8,7	47	33	526	200	14
3K1K08	453	169	22	0	22	4,9	38	28	431	169	10	5K1K08	547	202	32	0	32	5,9	46	37	515	202	9
3K1K09	467	178	22	0	22	4,7	44	21	445	178	23	5K1K09	497	194	12	0	12	2,4	40	32	485	194	8
3K1K10	449	166	20	0	20	4,5	34	27	429	166	7	5K1K10	420	168	6	0	6	1,4	34	24	414	168	10
3K1K12	482	193	8	0	8	1,7	39	30	474	193	9	5K1K12	607	264	6	0	6	1,0	47	40	601	264	7
3K1K13	425	173	3	0	3	0,7	35	25	422	173	10	5K1K13	487	199	3	0	3	0,6	38	33	484	199	5
3K1K14	493	200	7	0	7	1,4	42	28	486	200	14	5K1K14	542	224	8	0	8	1,5	47	30	534	224	17
3K1K16	407	138	32	2	34	8,4	43	9	373	136	34	5K1K16	424	150	30	0	30	7,1	43	19	394	150	24
3K1K17	552	232	7	0	7	1,3	46	33	545	232	13	5K1K17	609	272	2	0	2	0,3	47	36	607	272	11
3K1K18	391	132	30	2	32	8,2	33	18	359	130	15	5K1K18	502	177	33	0	33	6,6	46	29	469	177	17
3K1K19	449	124	62	0	62	13,8	39	25	387	124	14	5K1K19	559	172	69	0	69	12,3	46	35	490	172	11
3K1K20	535	219	7	0	7	1,3	42	33	528	219	9	5K1K20	579	252	3	0	3	0,5	46	37	576	252	9
3K2K21	561	242	1	0	1	0,2	46	35	560	242	11	5K2K21	514	213	4	0	4	0,8	41	32	510	213	9
3K2K22	512	217	1	0	1	0,2	46	33	511	217	13	5K2K22	442	175	10	2	12	2,7	39	21	430	173	18
3K2K23	520	195	26	1	27	5,2	47	29	493	194	18	5K2K23	485	162	31	2	33	7,1	40	25	432	160	15
3K2K24	493	170	39	2	41	8,3	41	27	452	168	14	5K2K24	424	142	31	3	34	8,0	34	24	390	139	10
3K2K25	522	190	34	0	34	6,5	47	26	488	190	21	5K2K25	498	188	27	0	27	5,4	47	27	471	188	20
3K2K26	527	219	3	0	3	0,6	43	34	524	219	9	5K2K26	489	203	1	0	1	0,2	40	30	488	203	10
3K2K27	519	211	8	0	8	1,5	46	32	511	211	14	5K2K27	420	165	11	0	11	2,6	40	23	409	165	17
3K2K28	602	250	17	0	17	2,8	47	37	585	250	10	5K2K28	568	208	39	1	40	7,0	46	34	528	207	12
3K2K29	475	190	7	0	7	1,5	40	29	468	190	11	5K2K29	434	169	11	0	11	2,5	34	24	423	169	10
3K2K30	647	295	1	0	1	0,2	47	40	646	295	7	5K2K30	603	261	7	0	7	1,2	47	37	596	261	10
3K2K31	567	242	5	0	5	0,9	47	35	562	242	12	5K2K31	468	187	12	0	12	2,6	47	26	456	187	21
3K3K32	636	287	1	0	1	0,2	47	43	635	287	4	5K3K32	633	261	7	1	8	1,3	47	37	625	260	10
3K3K33	584	250	9	0	9	1,5	47	34	575	250	13	5K3K33	576	233	20	0	20	3,5	47	33	556	233	14
3K3K35	598	250	15	1	16	2,7	47	38	582	249	9	5K3K35	559	233	13	0	13	2,3	47	34	546	233	13
3K3K36	610	391	35	0	35	5,7	47	37	575	391	10	5K3K36	545	195	41	1	42	7,7	46	34	503	194	12
3K3K37	564	238	8	0	8	1,4	45	34	556	238	11	5K3K37	539	224	11	0	11	2,0	45	27	528	224	18
3K3K39	563	231	14	2	16	2,8	46	35	547	229	11	5K3K39	535	212	16	1	17	3,2	46	27	518	211	19
3K4K40	530	208	15	1	16	3,0	46	33	514	207	13	5K4K40	580	245	11	1	12	2,1	47	38	568	244	9
3K4K41	540	216	17	0	17	3,1	46	29	523	216	17	5K4K41	542	231	3	0	3	0,6	43	32	539	231	11
3K4K43	596	244	23	0	23	3,9	46	34	573	244	12	5K4K43	653	293	6	0	6	0,9	47	46	647	293	1
3K4K44	611	264	9	0	9	1,5	47	40	602	264	7	5K4K44	653	296	3	0	3	0,5	47	46	650	296	1
3K5K46	450	173	18	1	19	4,2	46	24	431	172	22	5K5K46	525	186	40	1	41	7,8	46	32	484	185	14
3K5K47	618	270	9	0	9	1,5	47	38	609	270	9	5K5K47	503	189	24	1	25	5,0	46	24	478	188	22

Figura 21. Recompte global dels valors mesurats als tests d2 de Kortrijk



Figura 22. Files d'alumnes responenent un test sota una llum càlida



Figura 23. Files d'alumnes responenent un test sota una llum freda

No es reproduïen en aquesta tesi, ni s'han reflectit a la publicació corresponent, detalls secundaris del procés: es va generar un arxiu d'anotacions per especificar en cada mesura qualsevol incidència ocorreguda (sorolls puntuals al passadís, alumne que informa de problemes com falta de concentració per motius personals, etc.). Aquests detalls s'han valorat per separat però no s'ha considerat que representin limitacions ni alteracions dels resultats. Els participants que només han fet un cop el test (i no el retest) han quedat exclosos de l'estudi.

A la publicació 8 es mostren els resultats analitzats estadísticament. La conclusió és que tot i observar una millora en la realització del test quan s'utilitza la llum freda en comparació amb quan s'utilitza la llum càlida, els resultats no són estadísticament significatius malgrat que estudis previs indicaven el contrari (Mott et al., 2012; Slegers et al., 2013). Tampoc es contradiu.

Malgrat no haver demostrat estadísticament part de la hipòtesi inicial, els resultats no eren negatius i calia validar la segona part de la hipòtesi, la qual no estava estudiada en profunditat per altres autors: que la il·luminació càlida afavoreix els processos cognitius relaxats com pot ser la creativitat. Per a això es va utilitzar el test de Torrance (TTCT) de les figures repetides. El procediment per realitzar aquests tests va ser idèntic a l'emprat amb els tests d2, fins i tot el temps es va mantenir en 5 minuts. D'aquesta forma es podia fer una comparació més exacta d'ambdós processos cognitius. A les figures següents es mostren alguns dels resultats gràfics:

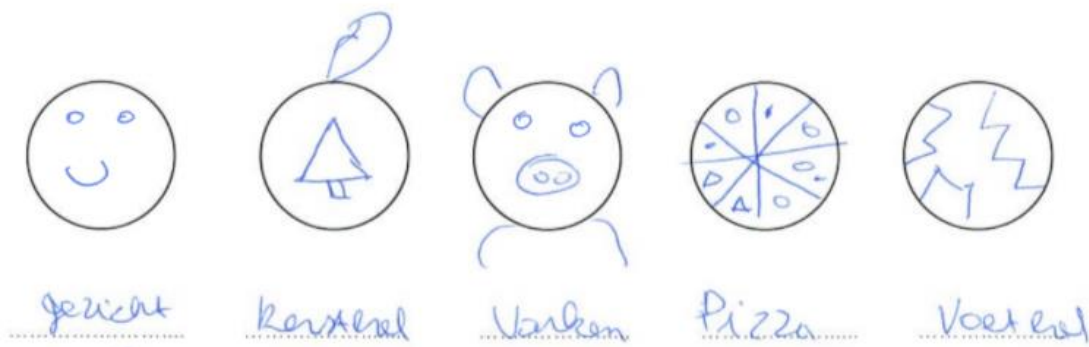


Figura 24. Exemple 1 de línia de figures repetitives del TTCT (cercles)

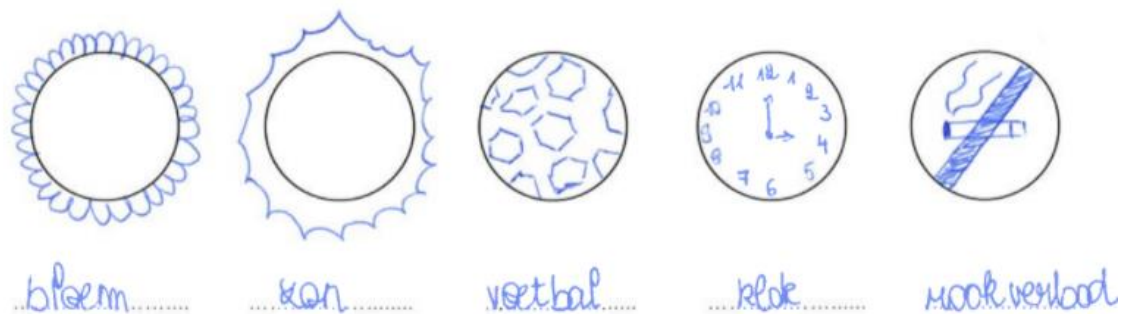


Figura 25. Exemple 2 de línia de figures repetitives del TTCT (cercles)

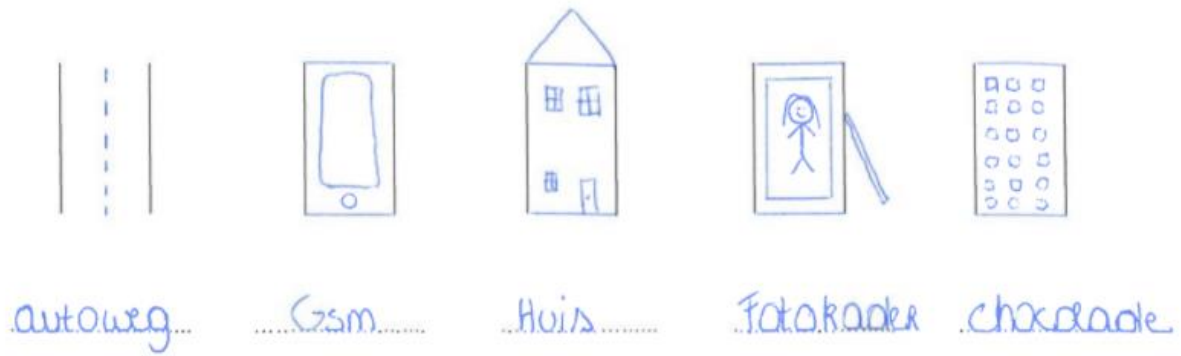


Figura 26. Exemple 3 de línia de figures repetitives del TTCT (línies paral·leles)

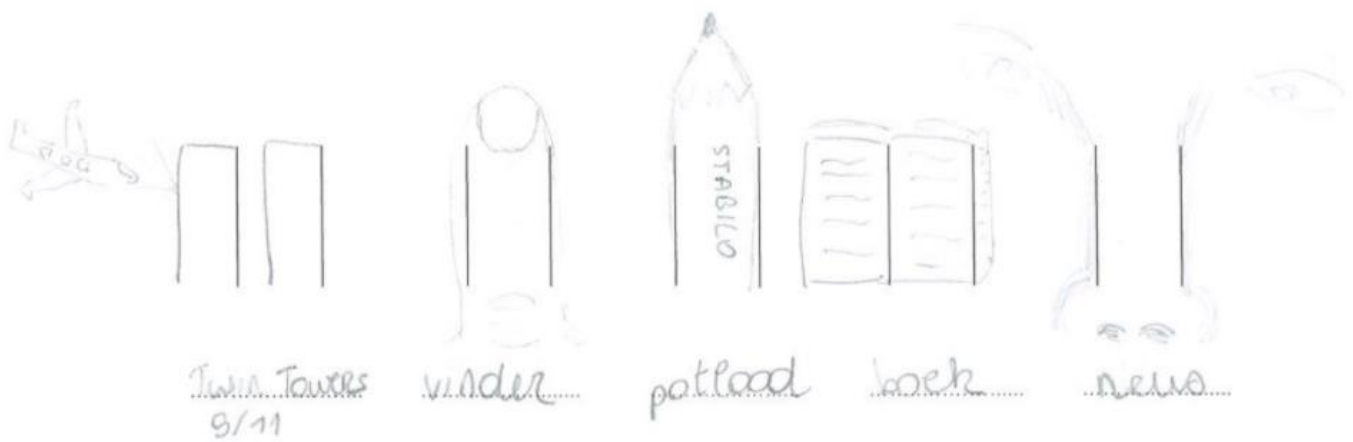


Figura 27. Exemple 4 de línia de figures repetitives del TTCT (línies paral·leles)

Malgrat que les instruccions van ser clares, hi va haver alguns participants que van oferir formes incorrectes per manca d'originalitat. Per exemple, es va explicar que un dau amb un punt i un altre dau amb dos punts, o quatre, o sis, només comptarien un cop perquè la figura representada era sempre la mateixa. En aquesta línia trobem el cas de la **figura 28**, que tot i omplir quatre figures amb cares d'animals, només se'n va poder computar una.

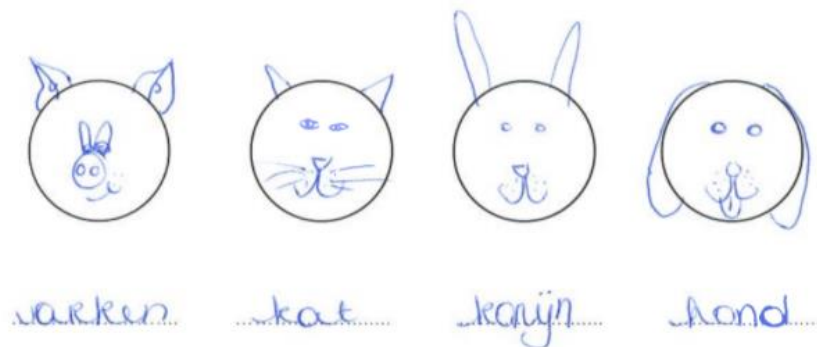


Figura 28. Exemple de figures no vàlides per no representar conceptes diferents

Per fer els càlculs de fluïdesa i originalitat es van crear diverses matrius (vegeu-ne un exemple a l'Annex 8. [Matriu \(parcial\) d'avaluació del TTCT](#)). Per garantir la consistència del recompte, l'originalitat es va mesurar per agrupacions. És a dir, si en un grup d'aula tres participants dibuixaven un caragol a la figura consistent en un cercle, no es considerava original, mentre que si en un altre grup només un participant dibuixava un caragol, sí que era original. Els llindars per puntuar l'originalitat d'acord amb la freqüència intragrupal van ser:

- 0 p. si > 10%
- 1 p. si = 10%
- 2 p. si = 5%

El recompte final (graella general i mitjanes) es mostra a la **figura 29**:

Participant	Attempt	CCT_1	Figure_1	Fluency_1	Originality_1	CCT_2	Figure_2	Fluency_2	Originality_2	
				10,8	5,5			11,5	5,3	
			1st 5000	9,3	6,1		1st 5000	10,8	5,2	1st cold and then warm, Fluency is better 2n time Originality is worse 2n time
			1st 3000	12,3	5,0		1st 3000	12,2	5,4	1st warm and then cold, Fluency is the same Originality is better 2n time
K02	1	1	0	10	2	0	1	12	5	
K04	1	1	0	14	14	0	1	14	12	
K20	1	1	0	8	10	0	1	10	2	
K21	1	1	0	9	6	0	1	12	4	
K22	1	1	0	10	8	0	1	11	3	
K23	1	1	0	8	3	0	1	14	7	
K25	1	1	0	10	15	0	1	12	11	
K27	1	1	0	8	7	0	1	9	1	
K29	1	1	0	11	1	0	1	12	12	
K32	1	1	0	9	4	0	1	11	4	
K33	1	1	0	9	8	0	1	11	8	
K35	1	1	0	14	9	0	1	14	6	
K36	1	1	0	8	4	0	1	10	4	
K40	1	1	0	10	5	0	1	12	6	
K41	1	1	0	5	3	0	1	7	2	
K45	1	1	0	7	1	0	1	7	2	

Figura 29. Resultats (graella parcial) del test TTCT

A la publicació 8 es mostren els resultats analitzats. En aquest cas també es va seguir un model lineal mixt utilitzant el programa R i la conclusió a què es va arribar, a diferència del cas anterior, és que es demostra estadísticament que els alumnes treballen millor sota una il·luminació càlida quan desenvolupen un procés cognitiu creatiu o de pensament divergent. Aquest resultat és més evident en la fluïdesa (quantitat de figures originals que són capaços de crear) (**figura 30**), i no tant amb l'originalitat. En tot cas, es confirma parcialment la hipòtesi plantejada i que encara no està ben demostrada en la literatura publicada (Choi & Suk, 2016; Mott et al., 2012; Slegers et al., 2013).

```
Fixed effects:
              Estimate Std. Error   df t value Pr(>|t|)
(Intercept)  12.2500    0.5255 46.3064  23.311 < 2e-16 ***
CCT          -0.7750    0.2727 36.0000  -2.842  0.00734 **
Attempt     -2.1972    0.7132 36.0000  -3.081  0.00394 **
Figure       0.7250    0.2727 36.0000   2.659  0.01163 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Figura 30. Anàlisi dels resultats de fluïdesa al TTCT

6.4. *Acústica i aules intel·ligents: autopercepció dels docents sobre la contaminació sonora de les aules actuals*

A la revisió sistemàtica sobre acústica a l'aula (publicació 5), de 1.633 articles recuperats a ambdues bases de dades (WoS i Scopus), es van seleccionar 285 títols. A la **taula 8** es pot veure un resum del procés que va conduir a aquest còmput. D'aquesta selecció, finalment se'n van analitzar 186 (un cop descartats duplicats, els originals que no eren accessibles, i els escrits en llengües que el doctorand no domina). Les dades d'aquesta revisió sistemàtica contrasten i es complementen amb les presentades a la **taula 6**.

Taula 8. Quantificació dels resultats obtinguts a la revisió sistemàtica de Mogas, Palau & Márquez (en premsa)

	Web of Science				Scopus			
	Recuperats	Elegibles	Descartats	SELECCIÓ	Recuperats	Elegibles	Descartats	SELECCIÓ
(1) acoustics "learning processes"	46	2 4,4%	0	2 4,4%	196	21 10,7%	8	13 6,6%
(2) acoustics "learning environment"	34	10 29,4%	1	9 26,5%	83	22 26,5%	3	19 22,9%
(3) classroom acoustics	504	126 25%	15	111 22%	770	170 22,1%	39	131 17%
TOTAL	584	138 23,6%	16	122 20,9%	1049	213 20,3%	50	163 15,5%

Aquest estudi reporta que 38 articles van posar el focus principal a estudiar els efectes de l'aula en professors, 36 en van tractar el soroll, 24 van considerar algun procés cognitiu com a variable dependent principal, 24 en van revisar els efectes de reverberació, 20 van estudiar sistemes o dispositius relacionats amb l'acústica a l'aula, 20 es van dedicar a conceptes de el disseny de l'aula, 16 van considerar necessitats especials dels estudiants i 8 eren sobre sostenibilitat.

Troblem literatura que revisa com els sorolls i l'acústica de l'aula afecten la veu de professor (Mendes et al., 2016), la seva salut (Hadzi-Nikolova et al., 2013) i el seu benestar (Karjalainen et al., 2020), a part de dificultar la comunicació amb els alumnes. L'acústica és entesa en un sentit ampli, des dels sorolls de fons exteriors (trànsit, pati, passadissos) o interiors (aparells de ventilació i ordinadors) (Bluyssen, 2017), sorolls d'activitat produïts pels alumnes (Sala & Rantala, 2016), fins a diferents condicions acústiques com el temps de reverberació (Zainudin et al., 2018), l'índex de transmissió de la parla i la claredat del missatge (Youssef et al., 2014).

Els resultats presentats a la publicació adés referida van servir per ampliar i enriquir la publicació 3, que tractava tots els factors ambientals a l'aula (no només acústica) i establia que els principals paràmetres acústics a considerar en una aula intel·ligent eren els següents, amb aquestes possibilitats en investigació:

- *Soroll.* L'aula intel·ligent ha de garantir la insonorització de soroll ambiental exterior així com la minimització del soroll interior i del d'activitat. Si bé la majoria de solucions depenen de l'arquitectura i dels materials usats, hi poden haver dispositius electrònics per a aplicacions pràctiques com ara per advertir l'excés de dB. Això permetria que els alumnes autoregulesin el soroll actiu que produeixen, exemple que ja s'aplica en el projecte Smart Classroom Pro de Bautista (2019). Per als professors seria també una eina útil, tant per millorar la gestió de la classe com per millorar aspectes de la salut relacionats amb l'estrès o amb l'ús de la veu. En recerca, les principals necessitats són per ara massa teòriques o abstractes. Per exemple: com s'han d'incorporar sistemes de cancel·lació de soroll en una aula intel·ligent?
- *Reverberació.* En una aula intel·ligent seria òptim poder modular la reverberació en funció de l'activitat que es dugui a terme (exposició, treball en grup, etc.). Això podria ser possible a través de la regulació de plaques fonoabsorbents que permetessin controlar la reverberació, però es necessita aprofundir en una experimentació que millori la tècnica per aconseguir-ho. D'altra banda, i com en el paràmetre anterior, implementar una eina que permeti al professor conèixer la reverberació de l'aula, a més del nivell de decibels, pot ser beneficiós per gestionar la cura de la veu.
- *Claredat del missatge i índex de transmissió de la paraula.* L'aula intel·ligent ha d'estar dotada d'un sistema que garanteixi un STI òptim i una claredat del missatge apropiada. Això aportaria dades en temps real al professorat perquè pogués incidir en aquests paràmetres en benefici de la comunicació a l'aula. L'amplificació electrònica regulada i el tractament de l'ona de so de la veu del professor a través de programari específic possibilitaria una emissió sonora estable del missatge i oferiria la possibilitat de compensar freqüències d'emissió que intercedissin en la claredat del missatge, com és el cas de les freqüències més baixes.

A la publicació 9, havent preguntat als entrevistats sobre els moments específics de la jornada laboral en els quals s'evidencia la contaminació sonora a l'ambient de treball, ells mateixos coincideixen majoritàriament a destacar que el moment de més soroll és als passadissos abans i després de l'hora del pati, així com durant els canvis de classe. Altres afirmen que el moment més sorollós és a la fi de el dia. Així mateix, sorgeixen diverses queixes relacionades amb el soroll exterior, principalment a causa del trànsit i dels alumnes que fan les classes d'Educació Física al pati. En tots els casos, la queixa sobre el soroll exterior es veu reforçada per la necessitat d'obrir les finestres (bé per regular o condicionar la temperatura de l'aula, bé per oxigenar i millorar la qualitat de l'aire).

Havent preguntat als directors sobre estratègies per reduir el soroll, informen que tanquen portes i finestres per pal·liar el soroll exterior, ja que no poden fer-hi res més. Sobre el soroll d'activitat a classe, només cinc professors demanen explícitament silenci quan els alumnes es descontrolen. Tretze docents abaixen la veu o aturen la classe a l'espera que els alumnes es calmin. Nou opten per un avís més punitiu com un crit o un càstig, encara que reconeixen la sensació de malestar. Tres entrevistats informen que posen música relaxant o fan exercicis de relaxació abans de continuar. Sobre motivacions per modificar el to de veu, un professor afirma no haver aixecat mai el to, mentre que el 95% ha sentit la necessitat de cridar alguna vegada, i ho ha fet. Les motivacions principals són la indisciplina, l'aldarull o un cúmul de situacions excepcionals.

Pel que fa a les diferències percebudes en funció de el nivell educatiu i sensació en funció de l'activitat desenvolupada, hi ha unanimitat a reconèixer que a les classes magistrals el soroll afecta molt més que a les activitats en grup. Paradoxalment, resulta natural que les activitats en grup

produeixen nivells acústics més alts. També apareix recurrent informar que, com més joves són els alumnes, més nivell de soroll d'activitat es produeix.

Cinc dels docents entrevistats afirmen que no pateixen cap conseqüència vocal en el desenvolupament de la seva tasca professional, i dos docents entrevistats reconeixen que toleren el soroll, però quan es mouen a un espai silenciós prenen consciència d'això. Per contra, la resta sí que informen de problemes com afonies, sequedat o altres problemes de la veu, sobretot en classes amb molts alumnes, quan sumen hores de classes magistrals o a la fi de el dia i de la setmana.

En relació amb el disseny de l'aula, la meitat dels professors entrevistats es queixen que les aules dels seus centres no compleixen els requisits acústics ideals. Destaquen la necessitat d'insonoritzar millor les aules per evitar soroll exterior, així com d'implantar sistemes perquè el soroll interior no ressoni tant.

6.5. *Altres implicacions de les escoles intel·ligents: educació inclusiva i educació per al desenvolupament sostenible*

6.5.1. *L'aula intel·ligent com a espai que promou la inclusió*

Bakken et al. (2016) especifiquen dificultats d'aprenentatge en general, les deficiències de la parla o del llenguatge, les deficiències visuals i les deficiències auditives. Totes aquestes discapacitats poden trobar solucions a les aules intel·ligents i, com a conclusió, els autors afegeixen els punts següents:

- L'aula intel·ligent pot beneficiar significativament els estudiants amb discapacitat.
- Moltes tecnologies orientades a estudiants sense discapacitats a l'aula intel·ligent afectaran realment l'aprenentatge dels estudiants amb discapacitat.
- Alguns estudiants amb discapacitat poden necessitar tecnologia especialitzada per tenir èxit.
- Algunes tecnologies centrades en l'èxit dels estudiants amb discapacitat poden beneficiar els estudiants sense discapacitats.

Altres investigacions especifiquen més concretament la personalització a una aula intel·ligent per aconseguir un aprenentatge millor i més ràpid en casos de discapacitat. Per exemple, l'ús de sistemes de reconeixement de veu a Uskov et al. (2015, 2018), on s'explica com automatitzar les funcions d'una universitat intel·ligent per adaptar el context a les necessitats dels estudiants amb discapacitat. Amb aquest propòsit, utilitzen programes que inclouen sistemes de conversió de parla a text (*speech-to-text*), sistemes de conversió de text a parla (*text-to-speech*) i sistemes de reconeixement de gestos i moviments.

En tot cas, el concepte d'educació inclusiva és molt més ampli, tal com s'ha vist a la secció primera d'aquesta tesi. A continuació s'ofereix una síntesi dels resultats presentats a la publicació 10 (taules 9, 10 i 11). Es basa en la caracterització d'aules intel·ligents d'acord amb les tres dimensions prèviament identificades (tecnologia, condicions ambientals i processos realitzats) i les seves categories. Sempre des del punt de vista de l'aula inclusiva.

Taula 9. Educació inclusiva en la dimensió de tecnologia

<i>Categories</i>	<i>Potencial en educació inclusiva</i>
Maquinari i tecnologia física	<p>Els dispositius han de permetre l'accessibilitat a tots els estudiants amb discapacitat, han de gestionar i utilitzar tota mena de dispositius inclosos en una aula intel·ligent. En primer lloc, s'han d'eliminar totes les barreres físiques de les aules. En segon lloc, el sistema ha d'assegurar que tots els dispositius que s'utilitzen a l'aula tenen la seva pròpia política d'accessibilitat. Es poden veure exemples d'això quan la pissarra interactiva es troba en un escenari i un estudiant que es mou amb cadira de rodes no pot utilitzar-la o quan aquest dispositiu es troba a l'alçada del professor i l'estudiant de cadira de rodes no hi pot arribar.</p> <p>Per garantir la inclusió, es poden introduir pantalles tàctils i eines interactives en una aula intel·ligent, però tenint en compte cada individu que interactua a l'espai. Per tant, aquestes tecnologies s'han d'introduir utilitzant les metodologies didàctiques adequades; en cas contrari poden aparèixer noves limitacions.</p> <p>Avui encara és massa aviat per afirmar que la tecnologia més avançada com els sensors, els sistemes de seguiment del moviment dels ulls o els sistemes de reconeixement facial, fan que l'aula intel·ligent sigui inclusiva. Ni tan sols es pot dir que aquestes tecnologies contribueixen a obtenir una integració superior gràcies a una resposta a la recopilació de dades massives. Aquest tipus de característiques es troben en una etapa exploratòria i encara no es presenten evidències consistents. No obstant això, és aconsellable tenir present aquesta tendència a la progressió.</p>
Programari	<p>En una aula intel·ligent és important proporcionar els programes més adequats per garantir la qualitat de l'aprenentatge. Els autors solen referir-se a sistemes de gestió de l'aprenentatge (LMS) o a altres tipus de plataformes amb l'objectiu de donar suport a l'aprenentatge i fer-lo més eficient. En una aula intel·ligent, aquest programari és un complement que fa que l'aprenentatge presencial sigui més interactiu i personalitzat, amb funcions com el seguiment de la progressió de cada individu. Per tant, els estudiants amb discapacitat o problemes poden beneficiar-se especialment d'aquests sistemes. Per posar un exemple, una conferència tradicional avança seguint el ritme establert pel professor, mentre que en una aula intel·ligent el professor es basa en les aportacions del programari, conscient de les necessitats d'aprenentatge personal de cadascun dels estudiants.</p>
TIC i nous paradigmes	<p>A la categoria de TIC i nous paradigmes tecnològics es mostren tendències sobre com els avenços poden influir positivament en l'educació i introduir-se a l'aula intel·ligent per fer-la més adequada per a un aprenentatge millor i més ràpid. Tot i això, no és clar com s'utilitza d'una manera eficient. Els conceptes com <i>internet de les coses</i> i <i>intel·ligència artificial</i> s'informen com a elements que ha de tenir en compte l'aula intel·ligent, sense proves determinants del seu impacte en l'educació inclusiva.</p>

Taula 10. Educació inclusiva en la dimensió de condicions ambientals

<i>Categories</i>	<i>Potencial en educació inclusiva</i>
Arquitectura	L'arquitectura d'una aula intel·ligent és bàsica per promoure un aprenentatge millor. El Disseny Universal per a l'Aprenentatge (DUA) i la supressió de barreres físiques són aspectes a tenir en compte per a un bon disseny de l'espai. Durant la darrera dècada, molts projectes han estat treballant en el disseny d'espais d'aprenentatge. Alguns es van centrar en l'alineació o l'adaptació de les aules a les necessitats de les noves metodologies o revisions de metodologies actives aparegudes al mercat educatiu. Tots tenen algunes característiques en comú. En primer lloc, la flexibilitat i, en segon lloc, l'adaptació dels estudiants. Tots dos es podrien derivar a l'educació inclusiva, tot i que aquest últim amb afectacions especials i directes. Quan es parla d'una adaptació dels estudiants, la idea està connectada a tota mena d'alumnes, amb l'ús de metodologies actives, les quals necessiten espais flexibles.
Factors ambientals	Diverses experiències ja han demostrat la importància de la il·luminació en els espais d'aprenentatge. Cal considerar possibles casos d'alumnes amb disfuncions visuals per tal d'incloure l'aula intel·ligent. Segons el tipus d'activitats i les necessitats dels estudiants, la possibilitat de regular el so també pot tenir un impacte directe en l'aprenentatge. Els professors d'una aula intel·ligent haurien de disposar d'un sistema que els permeti regular el so, amb especial atenció en casos de disfuncions auditives. La temperatura i la humitat també són factors que afecten l'aprenentatge i, idealment, haurien de ser regulats automàticament pel sistema, en una aula intel·ligent. Tot això en favor de la inclusió.

Taula 11. Educació inclusiva en la dimensió de processos

<i>Categories</i>	<i>Potencial en educació inclusiva</i>
Continguts	Des del punt de vista del contingut o recursos, hi ha moltes opcions per assistir a una educació inclusiva. Els estudiants amb estils d'aprenentatge diferents, ritmes d'aprenentatge diferents, interessos diferents i necessitats diferents haurien de tenir recursos i activitats diferents. L'aula intel·ligent està preparada per solucionar aquestes diferències i, per definició, vetlla per la necessitat de proporcionar els continguts i recursos adequats.
<i>Processos realitzats per actors (estudiants, professors, pares i mares)</i>	El procés d'ensenyament i aprenentatge és un procés humà, tot i que actualment està emparat per la tecnologia. D'aquesta manera, els aprenents, els professors i els pares i mares són els actors principals del procés. Les aules intel·ligents els poden proporcionar informació en temps real que els permet prendre decisions i donar resposta el més ràpidament possible. Aquesta informació i aquestes respostes són especialment importants en els estudiants amb necessitats

especials. Diversos autors introdueixen la col·laboració i la cooperació dels estudiants, l'experimentació, l'aprenentatge basat en problemes i l'aprenentatge fent com a processos més tendents realitzats pels estudiants.

Processos i funcions ajudats pel sistema

Cal destacar la importància de personalitzar l'educació amb la intenció de fer l'aula inclusiva. El compromís i la motivació també són necessaris, i l'aula intel·ligent ha de proporcionar recursos per col·laborar-hi. El camp de la psicologia ha demostrat la correlació entre la motivació i l'eficàcia de l'aprenentatge. No només per a estudiants amb necessitats especials; les emocions hi tenen un paper clau per animar els aprenents i fer que l'aprenentatge sigui més eficient.

6.5.2. *L'aula intel·ligent com a espai que promou l'educació per a la sostenibilitat*

Arran de la revisió teòrica realitzada a la publicació 11, s'han obtingut uns resultats favorables a la consideració de les aules intel·ligents com a espai per promoure l'educació per al desenvolupament sostenible (EDS). La dimensió de la tecnologia i les seves característiques associades estan altament relacionades amb totes les metodologies d'EDS estudiades, perquè els desenvolupaments tecnològics actuals són generalitzats i permeten l'adaptació i l'ús de metodologies centrades en els estudiants. La tecnologia és bàsica a les aules intel·ligents com a mitjà per satisfer les necessitats pedagògiques (Mogas et al., 2020). La dimensió de les condicions ambientals també mostra un alt nivell de relació per a totes les metodologies ESD excepte la simulació. De fet, la simulació és la metodologia ESD que presenta la relació més feble amb les diferents categories i dimensions de les aules intel·ligents. Això es pot explicar perquè l'arquitectura presenta un gran repte per tal de dissenyar i adaptar espais d'aprenentatge a simulacions, que es fan més habitualment en entorns virtuals o en línia (Dejian Liu et al., 2017). La dimensió dels processos realitzats és la categoria de puntuació més baixa, principalment en dues categories: processos realitzats per actors (aprenents, professors, pares) i processos i característiques ajudats pel sistema. Això es pot justificar perquè les aules intel·ligents són espais físics dotats de dispositius digitals per facilitar els processos, però els professors i els estudiants són els que han de conduir situacions d'aprenentatge i, en conseqüència, han de tenir competències digitals i la capacitat de gestionar solucions avançades. A més, en referència a l'aprenentatge basat en projectes o problemes i a l'estudi de casos, es tracta de metodologies obertes en què el sistema necessita un alt nivell de desenvolupament tecnològic per proporcionar una retroalimentació adequada. Segons estudis previs, les escoles solen presentar dificultats per implementar tecnologies avançades (Mogas et al., 2020). En aquest context, les aules intel·ligents poden ajudar a avançar en la incorporació de la tecnologia en entorns educatius per millorar el procés d'ensenyament i aprenentatge d'acord amb les necessitats dels professors i dels estudiants.

Centrant-nos en les quatre metodologies d'ESD analitzades, els punts bàsics següents resumeixen com es relacionen i es poden aplicar a les aules intel·ligents:

Aprenentatge basat en projectes o problemes. Molt relacionat perquè afavoreix la capacitat d'aprendre a aprendre, a treballar en equip i potenciar les habilitats professionals. Les aules intel·ligents proporcionen i promouen els espais i les condicions per treballar en equip amb les condicions ambientals adequades com la llum, l'acústica, el mobiliari, els dispositius, la connexió i les

eines de col·laboració (Palau & Mogas, 2019). Les aules intel·ligents permeten als estudiants accedir al coneixement mundial promovent l'avaluació crítica des de diverses fonts d'informació. Alhora, és un espai de debat i de cocreació i compartició de coneixement. L'espai es pot adaptar a les necessitats dels grups d'estudiants.

Estudi de casos. Igual que amb la metodologia d'aprenentatge basada en problemes o projectes, l'estudi de casos està molt relacionat amb les aules intel·ligents, però més en termes de personalització de l'aprenentatge i promoció de l'aprenentatge autònom (Kinshuk et al., 2016; Ouf et al., 2017). Les aules intel·ligents creen l'espai ideal per a la investigació qualitativa, amb espais d'aprenentatge per a debats i col·laboracions (Sardinha et al., 2017), i utilitzen eines qualitatives específiques o no específiques, com ara programes d'anàlisi de dades, que permeten treballar dades qualitatives com a entrevistes o grups de discussió. En aquest entorn d'aprenentatge, es poden convidar experts o informants sobre el tema estudiat a compartir els seus coneixements i exposar la seva opinió sobre el problema o la situació que s'està estudiant. Això es pot fer físicament o per videoconferència (Al-Sharhan, 2017). Les aules intel·ligents també creen les condicions per tenir debats, presentacions i debats en grup.

La simulació es pot entendre físicament o virtualment. Un punt interessant d'aquesta metodologia és que es pot dur a terme en escenaris o plataformes virtuals per tal de simular situacions que no es poden dur a terme a les aules. Una altra opció és utilitzar laboratoris virtuals. Els laboratoris educatius tenen un cost elevat per a les escoles. En primer lloc, adquirir-lo i, en segon lloc, el cost de manteniment. Avui en dia, projectes com GoLab donen als estudiants l'oportunitat d'utilitzar un laboratori virtual per aprendre coneixements científics des de la pràctica (Palau et al., 2020a). Iniciatives anteriors també han buscat noves metodologies per facilitar el procés de migració de laboratoris clàssics a laboratoris basats en web (Serifan et al., 2018), tot i que això no s'emmarca en simulacions virtuals sinó en canvis físics. Una altra perspectiva són els jocs de simulació o jocs de rol a l'aula. És perfectament adequat en una aula intel·ligent perquè totes les condicions ambientals i els mobles es poden adaptar per satisfer la situació simulada.

La investigació cooperativa o col·laborativa implica recerca en col·laboració. Encaixa perfectament en una aula intel·ligent perquè la investigació i la col·laboració són dos dels objectius dels entorns intel·ligents d'aprenentatge. Cal tenir en compte que en una aula intel·ligent l'accés al coneixement és una prioritat, així com l'ús d'eines col·laboratives i espais interactius per treballar, debatre, compartir, exposar i presentar idees. Una solució implementada és l'arquitectura de programari d'ensenyament col·laboratiu multidispositiu basat en *pads* per a les aules intel·ligents, un entorn d'aprenentatge col·laboratiu distribuït per impulsar la comunicació i la col·laboració, inclòs l'aprenentatge basat en la investigació dels estudiants i l'aprenentatge cooperatiu (que està sota el control del *pad* del professor), i activitats d'ensenyament i aprenentatge (X. C. Wang & Wang, 2017).

D'acord amb l'estat de la tecnologia actual i els darrers desenvolupaments tecnològics, a l'article apuntem un conjunt d'accions que les institucions educatives poden emprendre per implementar aules intel·ligents per posar en pràctica les metodologies d'ESD (Cebrián et al., 2020). Distingim accions que es poden implementar immediatament, accions que es poden implementar a curt, mitjà o llarg termini en funció del nivell de desenvolupament tecnològic. Cal considerar que el cost de la tecnologia sempre és car al principi i és més barat amb el pas del temps, gràcies a l'escalabilitat.

A curt termini, els nous desenvolupaments haurien d'anar en la direcció de permetre un nou paradigma d'aprenentatge (I. Ha & Kim, 2014), noves pedagogies i noves metodologies d'ensenyament per a ciutadans intel·ligents del segle XXI, potenciant noves habilitats i noves competències (Segredo et al., 2017). Pel que fa a la tecnologia, es pot considerar la implementació de rellotges intel·ligents o sensors d'etiquetes RFID per a professors i estudiants (El Mrabet & Moussa, 2017; Freigang et al., 2018; Kim et al., 2018; Kinshuk et al., 2016; Korozi et al., 2017; Uskov et al., 2015), pissarres interactives o pantalles tàctils amb diversos estudiants (Al-Sharhan, 2017; MacLeod et al., 2018) o interacció amb pantalles que reconeixen els moviments del cos (Dejian Liu et al., 2017) i accés complet al coneixement mitjançant dispositius mòbils i accés complet a Internet. Cal tenir en compte que hi ha iniciatives i solucions d'emmagatzematge en núvol (Jemni & Khribi, 2017; Pirahandeh & Kim, 2017) amb fàcil accés i gestió de la informació des de tot arreu i dispositius amb dades col·laboratives i eines de programari d'escriptura que permeten compartir, gestionar i cocrear coneixements (Isaksson et al., 2017), tenint en compte les necessitats dels estudiants (Aguilar et al., 2017) i els mètodes d'aprenentatge centrats en els estudiants (Durán-Sánchez et al., 2018), que permeten l'autoregulació dels estudiants i afavorir l'aprenentatge autònom al llarg de la vida. Aquestes solucions de programari permetran a pares i professors participar en el projecte i el procés d'aprenentatge en qualsevol moment (Isaksson et al., 2017). Pel que fa a les condicions ambientals, es necessiten solucions de control d'oxigen per a classes magistrals de més d'una hora (Uzelac et al., 2015), espais respectuosos amb el consum d'energia (Clayton & Nesnidol, 2017; Jormanainen et al., 2018; Ricciardi & Buratti, 2018), alt rendiment del sistema d'il·luminació natural combinat amb l'artificial. També cal mobiliari flexible adaptat als diferents tipus de tasques dels estudiants i adequat per treballar amb dispositius mòbils (Ricciardi & Buratti, 2018). El control de temperatura permetrà assegurar-ne els paràmetres adequats per a l'aprenentatge (Choi & Suk, 2016; Mott et al., 2014; Slegers et al., 2013). Finalment, s'haurien de promoure continguts i recursos d'ensenyament i aprenentatge que ajudin en el procés de desenvolupament de competències ESD i aprenentatge personalitzat (Kinshuk et al., 2016; X. Liu et al., 2016; Ouf et al., 2017; Segredo et al., 2017).

A mitjà termini, es podrien implementar eines de projectes de gestió col·laborativa (Isaksson et al., 2017) i laboratoris de ciències virtuals (Isaksson et al., 2017) que permetessin als estudiants dur a terme experiments difícils que no poden tenir lloc en laboratoris reals. Cal fomentar l'experimentació amb laboratoris físics, que actualment no estan disponibles a les aules tradicionals. Pel que fa als dispositius, les necessitats que s'han de resoldre a mitjà termini són la durada de la bateria i la fàcil gestió dels administradors TIC i dels professors. En relació amb les condicions ambientals, la il·luminació podria ser intel·ligent, adaptada a diferents espais i tasques alhora i en temps real (Ricciardi & Buratti, 2018; Uzelac et al., 2015). A més, l'acústica pot ser intel·ligent, adaptada a espais que necessiten barrejar silenci, debats, discussions, pluja d'idees i presentacions orals (Pääkkönen et al., 2015; Radosz, 2013; Secchi et al., 2018; Tristán et al., 2016).

6.6. El disseny d'aules intel·ligents mitjançant mons virtuals 3D

Aquests resultats s'enquadren en el projecte SIMUL@B, basat en la creació d'un laboratori de simulacions 3D per al desenvolupament de la competència digital docent (CDD). Aquest laboratori, creat en un món virtual, parteix de les potencials aplicacions educatives dels mons virtuals i s'orienta segons els principis de la pedagogia transformativa (Taylor, 2008) per aconseguir aprenentatges significatius de qualitat que impliquin la transformació del discent en el seu període de formació inicial

(Esteve, F. M. et al., 2016). Basats en models científics, els laboratoris virtuals són útils quan proporcionen possibilitats de simulació 3D, bé per a la investigació i la capacitació davant de situacions que a la vida real podrien resultar difícils o perilloses, o bé perquè aquesta experimentació en contextos reals podria representar costos elevats (Palau et al., 2020b). Les aules construïdes en aquest entorn es van analitzar en clau *smart classroom* per comprovar en quina mesura els mons virtuals poden ser un recurs vàlid per treballar dissenys que responguin a les necessitats que caracteritzen les aules de el futur.

Sobre el potencial dels mons virtuals 3D per al disseny d'aules, els resultats obtinguts a través dels "Diaris de l'estudiant" mostren certa heterogeneïtat en les reflexions, encara que es poden extreure tendències bastant ben definides pel que fa a l'experiència de dissenyar una aula mitjançant el món en un entorn virtual 3D. De les valoracions qualitatives de l'experiència se'n recullen 26 comentaris positius i 34 de negatius, amb diaris que no fan valoració qualitativa de cap signe i d'altres que destaquen aspectes de tots dos signes. En positiu es reconeixen diversos aspectes: destaca el component lúdic de l'activitat, i fins i tot vuit participants es refereixen a l'experiència com un joc. Onze diaris mencionen de forma textual la motivació. També remarquen el valor del món virtual per poder experimentar el disseny d'una aula real, per l'experiència d'aprenentatge realitzada, pel resultat obtingut i pel foment de la creativitat en un format innovador. En negatiu, les queixes han estat repetides pel que fa a el temps de dedicació i als problemes tècnics amb l'entorn virtual. Els problemes tècnics han estat de diferent índole (problemes d'accés a l'entorn, de modificació d'objectes virtuals, etc.) i sempre s'han solucionat, però han provocat algunes situacions de desconfort en els participants. No obstant això, sis participants han reconegut un interès creixent a mesura que es van familiaritzar amb l'entorn. A part de valoracions positives i negatives, es destaca que alguns alumnes han entès la tasca com una activitat de decoració més que disseny i construcció de l'aula des de zero.

Sobre els principis *smart classroom* a les aules dissenyades, en relació amb la dimensió tecnològica, les dades mostren que hi ha una absoluta majoria de propostes que centren el seu interès a proporcionar dispositius digitals, sense més innovació. Això sí, hi ha justificacions relacionades amb la incorporació de tauletes digitals, pissarres digitals interactives i altres dispositius. No obstant això, cap participant o grup inclou altres tecnologies més avançades, ni de la 4IR, ni sensors, etc. Tot i aquests resultats, idealment hauríem proveir les aules de sistemes tecnològics avançats que ens facilitin la recollida de dades a temps real sobre tot el que succeeix per poder prendre decisions i ser més eficients en els diferents processos. Ara bé, en el moment de desenvolupament actual és difícil trobar iniciatives de la 4IR (Mogas et al., 2020). Així, un laboratori virtual 3D pot esdevenir un escenari apropiat per començar a plantejar canvis d'aquest tipus. La recollida de dades (per possible aplicació d'anàlitzes d'aprenentatge) i la introducció de sensors en la seva representació en el món virtual s'hauria pogut representar en fases inicials a partir dels mateixos dispositius mòbils.

En la dimensió ambiental es revisa l'arquitectura i el disseny de l'aula. Destaca que tots els grups han optat per crear espais innovadors com racons i ambients, espais oberts i flexibles a semblança de Bosch (2018), decisió que seria apropiada per a una aula intel·ligent. En concret proposen: racó de lectura (els 25 grups), racó TIC (24 dels 25), racó de relaxació (20), racó d'expressió artística (20), racó de música (13), racó de treball en grup (10), racó de psicomotricitat (7), etc. Es tenen en consideració els requisits de l'activitat i es dissenyen aules accessibles i inclusives. Ara bé, s'han construït espais específics per a una cadira de rodes sense reflexionar altres possibles casuístiques de mobilitat sobrevingudes. Cap grup ha reflexionat sobre la qualitat de l'aire. No han reflexionat tampoc sobre l'acústica de l'aula, incloent-hi els 14 grups que han habilitat un racó de música (9 amb un piano, 9

amb una bateria i 6 amb alguna guitarra), sense mitjans per silenciar o mitigar a la resta de racons el soroll produït. La il·luminació ambiental al laboratori virtual és sempre la mateixa, es faci servir llum artificial o no, es disposin de finestres o no, amb l'única particularitat que es modifica si és de dia o si és de nit. Els grups han fet algunes apreciacions quant a aquesta informació.

Les dues dimensions anteriors s'utilitzen per millorar o atendre l'estratègia pedagògica (López, 2019; Mogas et al., 2020). En la dimensió de processos, o pedagògica, molts són els vídeos que presenten espais de treball en grup, en equip o racons en els quals es pot debatre (23), es parla sovint de cooperació (17), de la feina per projectes (8), i de posar l'alumne en el centre de l'aprenentatge (5), d'intel·ligència emocional, d'aprenentatge significatiu, d'experimentació, etc. Com hem vist, es proposa el disseny de racons per atendre diferents necessitats mitjançant diferents mètodes d'ensenyament-aprenentatge. En una *smart classroom* s'han d'afavorir noves dinàmiques i pedagogies, de manera que aquesta dimensió sí que queda ben resolta per les justificacions que ofereixen els estudiants.

SECCIÓ TERCERA

Lectura de valor

Chapter 7. Conclusions

Conclusions of this thesis are addressed by answering the specific objectives.

The first objective was to generate a holistic and integrative framework of reference for smart learning environments and smart classrooms based on their characteristics.

Such theoretical framework is provided in Section 1, where the main insights from systematic literature reviews and expert contributions are deployed. From the specific new contributions presented, the following shall be highlighted:

In [Capítol 1](#) the potential impact from Industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution (4IR) in Education is reviewed. A growing number of papers deal with this new educational paradigm, and it has been considered essential to contextualise the future improvements of educational methodologies in the smart classroom. As a matter of fact, technology is a key enabler for smart classrooms.

In [Capítol 2](#) a holistic definition of Smart Schools is proposed and defended, counting on its main key features: “Smart schools need to be equipped with comprehensive management systems and automated solutions, they need to be people-centered and inclusive, and they need to be sustainable, with the goal of embracing smart education by adopting efficiently new learning methodologies and advances from the Fourth Industrial Revolution.”

In [Capítol 3](#) Smart Learning Environments like smart classrooms are defined throughout a characterization based on three dimensions emerging from literature interpretation: technological, environmental, and pedagogical. Exhaustive retrieval of previous work sustains this characterisation, which became essential for the whole thesis and its consecutive publications, as it served as basis to analyse implications in a structured whilst complete manner.

In [Capítol 4](#) special attention is given to the environmental dimension, as it is activated by technology and affects learning. This dimension tends to be ignored, at least not considered with the possibilities it could bring if automated thanks to improvements from the 4IR. Lighting

and acoustics predominate. These considerations have become central in the proposed framework to define smart classrooms.

As a result of the previous points, a new conceptualisation emerges as expressed in **figura 31**. While technology in diverse forms is not but an activator that allows changes to improve education, yet hardly ever in depth, environmental conditions are a midpoint not to neglect. Environmental conditions, namely lighting, acoustics and air quality must be better controlled by technological means to offer dynamic settings to cope with different activity types or tasks happening in classrooms. All this has a proven impact on teaching and learning which must be considered the core of the intervention and, consequently, the determining dimension.

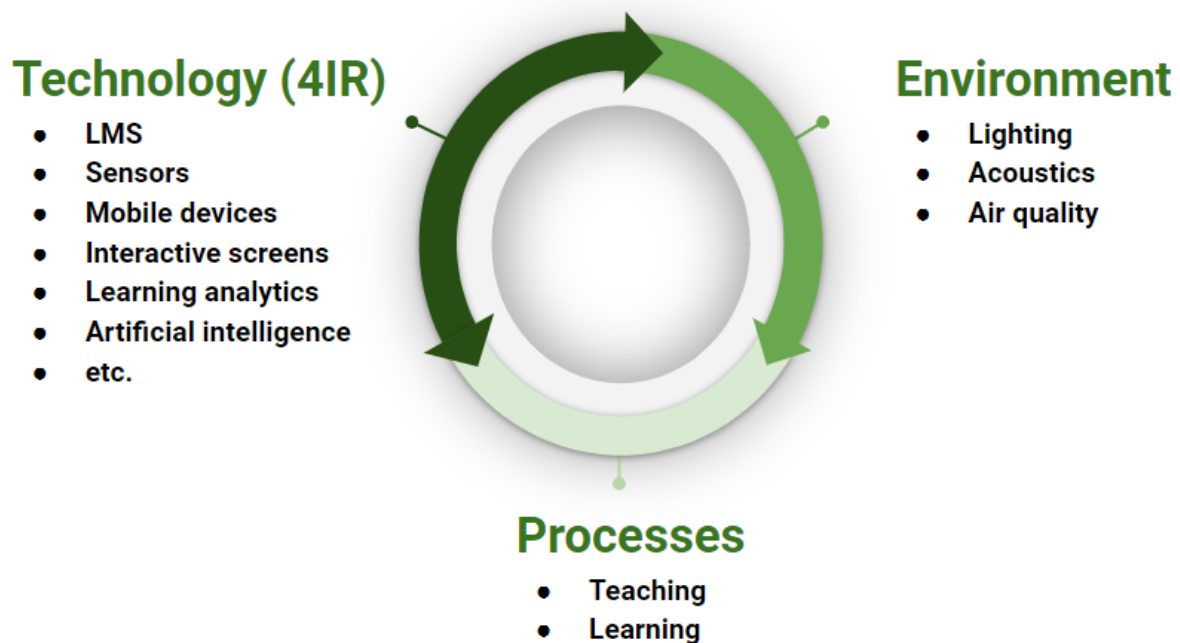


Figura 31. Directed relationship between dimensions in a smart classroom

The second objective aimed at determining which parameters of classroom lighting can be regulated by technology, in light of an adaptive solution depending on the task being performed at any given time.

Although lighting influences students' performance, normally it is not considered as it should in classrooms design. The most determining factors of lighting are intensity and correlated colour temperature (CCT), being the latter the most meaningful and in which we must concern most. Several researches pointed at the need to introduce a dynamic lighting system and even proposed analogical solutions to do so. Some authors affirmed that higher CCT is beneficial for activities requiring attention whereas lower CCT improved activities requiring more relaxing effort. Colder lighting is already proven to have such effects, but literature showed a gap on the scientific demonstration that warmer lighting has an impact on tasks of calm nature. Thus, this thesis was committed to cover this lack of studies which is considered essential to propose the dynamic lighting system.

Results from the experiments done in publicació 8 succeeded in showing that warmer lighting is preferable for divergent thinking, in creative actives, and so it is considered a novel and relevant contribution to the scientific community. It does reinforce the hypothesis that dynamic lighting systems in smart classrooms can lead to better results. The fourth industrial revolution brings artificial intelligence and big data as elements to boost evolution towards such lighting dynamic system.

Regarding the gain, the cognitive aspects or learning results related to the effects of lighting are reported in the literature as academic success, attention and concentration, motivation of students to learn more, commitment, pleasantness or visual comfort, cognitive performance in general terms, speed of work, productivity and accuracy.

The third objective was to analyse which factors of classroom acoustics can be regulated by technology, considering an adaptive solution depending on the task being performed at any given time.

The most significant parameters in the classroom are noise and reverberation. They affect the communication, learning and health aspects of both students and teachers. Noise comes from various emission sources indoors and outdoors and can be controlled only individually. Although external noise pollution can be improved by architectural design, this does not appear to be a viable aspect for individual automation. In order to automate noise control we must take the total amount of dB (background and activity noise) into account. Noise-cancelling devices should be considered for controlling the reception of noise pollution in the classroom. Technological advances may lead to smart classrooms, in which it has been said that acoustic control and other environmental factors can improve learning and students' and teachers'. There is as yet no smart classroom that fulfils all the presented requirements of sound.

The automation of reverberation time is of particular interest bearing in mind that there is no global, perfect reverberation for classroom performance. For automation to be correct it will need to take into account the fact that the optimal reverberation changes in relation to the distance between the listener and the sound source. We can consider that a fluctuation of reverberation can help in communication depending on the activity that takes place in the classroom. Even though, it appeared complicated or unreachable to develop technologies alike.

Speech clarity and the speech transmission index also have a direct impact on the learning acquired by the student. These two parameters are intrinsically related to noise and reverberation. The higher the noise and reverberation are, the worse speech clarity and STI will be. However, it also needs to be considered that these two parameters are directly related to the teacher's voice as the source of sound emission. From this point of view, the automation of the STI and speech clarity parameters would seem to be very useful in the emission of the teacher's voice and it might also be considered with the aim of improving the Lombard effect. But again, it does not appear easy to accomplish.

The third objective has been treated in sufficient depth but just partially achieved. The initial hypothesis was that, as well as for lighting, there would be certain aspects of classroom acoustics easy

to regulate or control by electronic means, and this way adapt the learning settings to better conditions. It is true that technology is improving classroom acoustics and adaptations are reported useful, but results do not show clearly how this system should look like, and further research is required.

The fourth objective was to establish relationships between the smart classroom and its contextual characteristics.

a) Technology

Technology plays a key role in the new social paradigms of a globally interconnected world. Big data, artificial intelligence, the Internet of Things, and other Industry 4.0 developments are shaping our future, but it is unclear how they can really affect the daily lives of schools with technologically enhanced smart classrooms. Conclusions of this thesis remark that we are still a bit far from implementing the 4IR into Education in a complete form, but schools are willing to introduce such changes. These are the main highlights:

- There is a clear willingness to adopt Industry 4.0 solutions as it can bring a highly positive impact on teaching and learning processes.
- Industry 4.0 must be based on a strong pedagogical ground to be successful in education. It is not just about introducing appealing innovations but easing a systemic change.
- Schools are not capable to cope with technological advances by themselves. There is need to support them from the administration and with proactive policies.
- It is needed to develop better solutions for schools and to convey more successfully why they really are helpful to improve education.
- More training is required as teachers' digital competence is not always adequate to tackle with technological innovations.

b) Sustainability

Smart schools have sustainability as a key pillar, and Education for Sustainable Development must be fostered in a transversal adoption in the organisation processes.

- Smart classrooms can help implementing ESD methodologies effectively.

c) Inclusive education

Smart schools have inclusion as another key pillar, and an inclusive education must be fostered to cope with the social diversity and show fearer treatment with social challenges.

- Smart schools and smart classrooms are an inclusive space *per se*.

7.1. Main contributions and strenghts of this thesis

- A main strength of the work done lies on its theoretical contribution. As shown in Section 1, theoretical principles of smart classroom combine different fields of study (4IR, inclusion, sustainability, lighting, acoustics), always with the aim to interpret their effects on teaching and learning processes. Thus, this work contributes to the conceptual development of smart classrooms.
- This work helped covering a gap regarding scientific demonstration that school classroom lighting requires a dynamic system, evolving to adaptive learning spaces helped by the 4IR.
- Empirical data helped to draw a photography of the current state of the smart classrooms and smart schools in Catalonia.

7.2. Limitations of this work

According to Carruana et al. (2019), there are only a small number of papers on smart classroom and smart education, and most works approach the issue from theory. This work still sticks to this theoretical conceptualisation as main contribution in a big extent, although significant practical contributions are also presented.

A common limitation reported in studies from Section 2 of this thesis (i.e. empirical data gathering) is the fact that data retrieval is very contextualised and there is no evidence that other contexts (for instance repeating the same research in another country) would provide similar results.

There exists lack of comparison between subject ages. In the analysis of the studies carried out the smart classroom was conceived as a space that adapts equally to any type of student of any educational level. It should be noted that there may be some differences. Therefore, additional empirical research is needed to report on the real effects when using smart classrooms with different types of learners, identifying the needs of students and teachers at different levels.

In addition to the published papers, this thesis dissertation presents other limitations if understood as a whole. The most evident is the incapacity to explore in a single thesis all the environmental conditions and their effects. It may sound weird to have dealt with lighting for students and acoustics for teachers, but not lighting for teachers nor acoustics for students. Air quality was also identified as an aspect to consider and have not received treatment in data gathering. The explanation for this filtering is the time limitation, and rather of a limitation of the work it should be understood as setting priorities in the exploratory methodology adopted for this work.

Capítol 8. Prospectiva

L'ampli abast de la temàtica treballada menaria a plantejar projeccions diverses i dissenyar extenses propostes en diferents sentits. A continuació s'introduiran breument les propostes més destacades, les implicacions més rellevants, línies de futur concretes que podrien considerar-se prioritàries. Seguidament, es recullen línies de continuïtat amb valor d'intencions pròpies per no tancar amb aquestes línies el potencial que les aules intel·ligents reclamen. Aquesta tesi és només un començament, i d'una forma o altra pot continuar evolucionant.

8.1. Propostes i recomanacions

Com és comprensible, molts dels treballs publicats en aquesta tesi doctoral determinen que cal fer més recerca en la línia encetada. Per exemple, l'article sobre un sistema d'il·luminació dinàmic estableix que cal més demostració empíricoanalítica sobre els efectes de la temperatura del color correlacionada sobre diversos processos cognitius. Caldria també modificar variables tals com l'edat dels participants per comprovar si l'efecte és equiparable entre estudiants adults i estudiants menors, partint de la hipòtesi que hi ha diferències, donat el grau de desenvolupament físic i cognitiu.

Amb relació a la implementació tecnològica i aproximació a la 4IR, val a destacar algunes de les implicacions clau i accions de futur per avançar en la línia d'aules intel·ligents:

- La inversió en infraestructura i equipament escolar s'hauria d'incrementar i s'hauria de considerar des d'un punt de vista holístic com una escola intel·ligent.
- Calen programes de formació i desenvolupament professional en educació intel·ligent per ajudar la comunitat educativa en el procés d'adaptació a les noves possibilitats.
- El lideratge dels professors és clau per assolir l'ideal d'una educació intel·ligent, ja que són els encarregats de liderar el canvi i la innovació a les seves aules. S'ha de continuar promovent l'ús de la tecnologia i de metodologies innovadores des d'una visió d'aula intel·ligent.
- La Indústria 4.0 ha de desenvolupar millor les tecnologies educatives i posar-les a disposició i al servei de les escoles intel·ligents. Solucions com intel·ligència artificial, informàtica en núvol i internet de les coses s'han de desenvolupar per satisfer les necessitats pedagògiques dels

alumnes actuals per produir un impacte clar en l'educació intel·ligent. Aquestes solucions han de ser accessibles i fàcils d'utilitzar.

- Cal la implicació de tots els agents implicats, i en especial *stakeholders* que puguin influir en l'avenç de totes les possibilitats que les escoles intel·ligents i les aules intel·ligents poden oferir.
- Cal potenciar la creació d'entorns d'aprenentatge que utilitzin els recursos de manera eficient: consum d'energia sostenible i control intel·ligent de la temperatura.
- S'han de garantir unes condicions ambientals òptimes per a l'aprenentatge: control de qualitat de l'aire (per exemple, nivells d'oxigen i CO₂), un sistema d'il·luminació natural combinat amb una il·luminació artificial dinàmica adaptada a diversos espais i tasques, controls d'acústica intel·ligents adaptats a espais que necessiten barrejar silenci, debats, discussions, pluja d'idees i presentacions orals.

8.2. Continuïtat de la recerca

8.2.1. Projecte europeu

El treball exposat en aquest informe ha donat peu a la formulació d'un projecte més ambiciós que ha estat candidat a la convocatòria 2020 d'Erasmus+ KA203 - Strategic Partnerships for Higher Education (Form ID: KA203-577CB566). El resultat de la comissió d'avaluació ha resultat favorable malgrat que ha quedat en llista de reserva i no ha obtingut finançament. A continuació s'ofereix el resum del projecte.

Artificial Intelligence for Smart Classrooms: Improving teaching and learning processes

Learning spaces are experiencing an increasing transformation, especially in terms of flexibility and design (architecture and furniture), to cope with nowadays society concerns. Issues such as granting inclusion of every single student, personalisation of the learning content to provide better quality attention, use of new methodologies to gain more significant learning processes, and so forth, are spotlights for innovation and quality assurance in education. Intensive whilst responsible use of technology is also a big concern as it represents a valuable facilitator, and all agents in education acknowledge the importance to cope with the advent of the Fourth Industrial Revolution and its still unknown but high-impact possibilities. All together, learning spaces in any educational level are facing advances toward the coming smart classroom concept.

This project, represented in **figura 32**, will develop an Artificial Intelligence system and tool to process smart classroom parameters and provide insights to teachers from regressive predictions. From one side, we will use a tool called Learnometer for tracking seven key environmental classroom factors: temperature, humidity, light, acoustics, carbon dioxide (CO₂), chemicals, and dust. From another side, we will use wearable technology with students and lecturers, in order to gather emotional state well-being data (e.g. heart rate), and processing data in light of three algorithms: normal parameters, inertia, and emotional

state. Data from both sources environmental conditions and students and teacher heart rate will be sent to a newly designed and developed software that, using Artificial Intelligence Technology, will allow state how classroom dynamics are working and provide automated feedback on how teachers must adapt their methodology and make decisions on the environmental factors regulation.

The main objective is to create a system based in artificial intelligence technology to boost lecturers and students better performance in university smart classrooms.

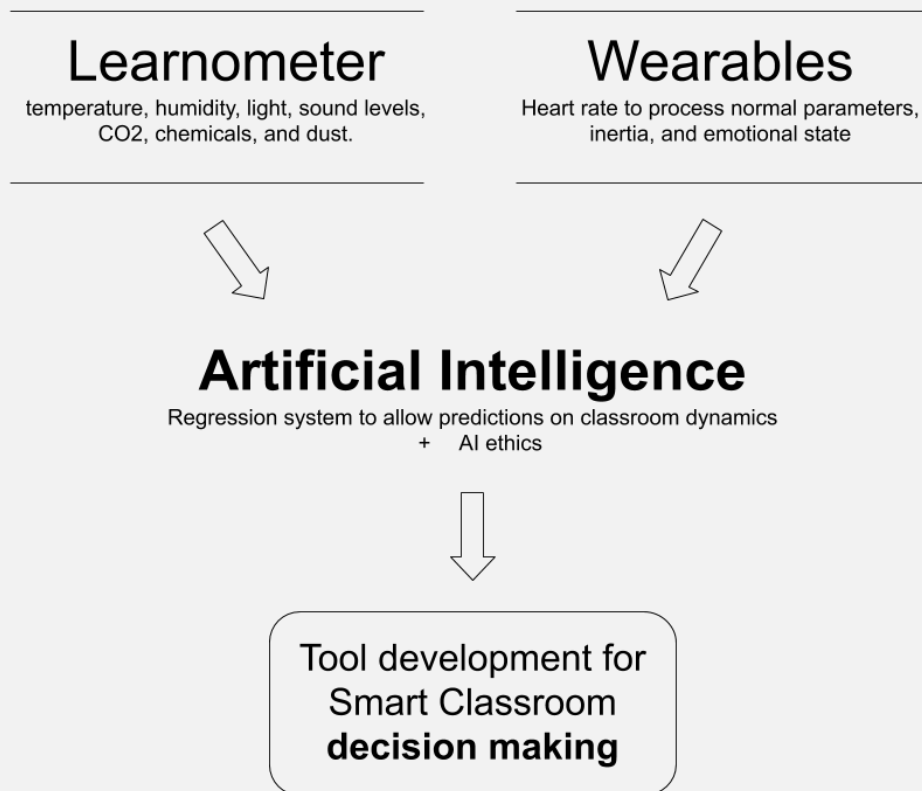


Figura 32. Esquema conceptual de la propuesta presentada al proyecto Erasmus KA203

Specific objectives deal with the need to:

- SO1: Review the knowledge about artificial intelligence environmental classroom factors and emotional state of the students in higher education classrooms.
- SO2: Design and develop a tool based in artificial intelligence using data from environmental factors and heart rate of lecturers and students.
- SO3: Evaluate the results of the implementation of the artificial intelligence tool in a higher education classroom.
- SO4: Analyse the consequences and risks from an ethical perspective on the use of artificial intelligence in higher education classrooms.
- SO5: Disseminate expertise and knowledge in order to encourage lecturers and stakeholders and policy makers of higher education in Europe to see and to use the potential artificial intelligence technology in classrooms.

As a trial, this technology will be implemented in iterative pilots in classrooms of about 30 students. By organising 20 pilots, we will test the technology with 500 students within the project. Participants are enrolled to different Bachelor's Degrees at the Universitat Rovira i Virgili (Catalonia), as the taught subject has no effect on the project. The methodology will consist on tracking environmental data from learnometer and heart rate of teacher and students from wearables, in regular lectures, aiming the less invasive effect. Gathered data will feed the artificial intelligence system developed in the current project, which must learn by itself and provide information to the teacher on the predicted situations for the coming ten minutes, by means of regressive modelling.

The expected result is a system based in artificial intelligence technology to provide feedback to lecturers in higher education smart classrooms. The main non-tangible result from this system is the improvement of the learning space and processes by giving insight to lecturers on environmental conditions regulation and students predicted behaviour processed by algorithms of emotional state understanding. The project will take special consideration on the ethics of the artificial intelligence for smart classrooms.

In three years term, the system will be fully developed and trial experiences fed to start providing meaningful insights. Real impact will be proven in every implementation and it is expected to be exponential as the system is being trained, as artificial intelligence technology requires such process. Therefore, this project expects to provide consistent results, but later further projection and replicability to extend application will increase results reliability.

Aquesta proposta actualment s'està revisant, i amb les millores oportunes s'aspira a participar en noves convocatòries.

8.2.2. Línia de recerca en Ambient Intelligence

Arran d'una estada de recerca del doctorand a la facultat d'informàtica de la UCAM, a Múrcia (8.4.3), s'ha iniciat una línia de recerca en intel·ligència ambiental (*Ambient Intelligence*, Aml). Com a primer resultat, s'espera publicar un article properament. Aquesta proposta consisteix en una ontologia relativa als factors ambientals a l'aula intel·ligent, que podrà donar pas a l'evolució d'aquesta tesi.

8.3. Emprenedoria. De la recerca al mercat

Com a evolució de l'Erasmus+ i arran de l'estada de recerca a Múrcia, s'ha plantejat un projecte anomenat Ambient Intelligence in Smart Classrooms (AmISC), que ha rebut dos reconeixements:

8.3.1. Reconeixement a les millors idees emprenedores

El projecte AmISC, que és l'estat més actual de desenvolupament de la tesi presentada, ha estat premiat amb un ajut del Consell Social de la URV a les millors idees emprenedores, en la convocatòria del curs 2019-20.

Es tracta d'un ajut econòmic que rebrà el doctorand per impulsar un projecte emprenedor. El Consell Social busca així afavorir la creació d'empreses emergents (*start-ups*) sorgides de la universitat.

Se n'ha fet la següent difusió:

- 16 de novembre de 2020 – Notícia a URV ACTIV@⁴ i al Diari de Tarragona⁵
- 17 de novembre de 2020 – Entrevista publicada al Diari de Tarragona ([Annex 9](#))
- 18 de novembre de 2020 – Entrevista difosa a Tarragona Ràdio⁶

8.3.2. OnCampus LLP

El projecte AmISC ha estat també seleccionat per participar al programa OnCampus LLP,⁷ organitzat per The Collider – Mobile World Capital Barcelona. S'utilitza la metodologia Lean Launchpad. Aquesta iniciativa promou formació mitjançant xerrades del sector industrial, una formació basada en *flipped learning*, assessorament d'un mentor, equips de treball per perfilar les idees periòdicament, entrevistes a persones influents de la indústria i el mercat, etc. L'objectiu és consolidar la idea d'emprenedoria, que es troba en un nivell inicial de maduresa tecnològica (en anglès, *Technology Readiness Level* o TRL); AmISC està en nivell TRL 1 o TRL 2. La participació té lloc entre els mesos d'octubre i desembre de 2020.

⁴ Tres projectes d'estudiants de la URV, seleccionats com a millors idees emprenedores pel Consell Social <<https://diaridigital.urv.cat/tres-projectes-destudiants-de-la-urv-seleccionats-com-a-millors-idees-emprenedores-pel-consell-social/>>

⁵ Tres proyectos de estudiantes de la URV, mejores ideas emprendedoras <<https://www.diaridetarragona.com/tarragona/Tres-proyectos-de-estudiantes-de-la-URV-mejores-ideas-emprendedoras-20201116-0031.html>>

⁶ URV Recerca. Les millors idees emprenedores <https://www.tarragonaradio.cat/contingut/urv_recerca_les_millors_idees_emprenedores/22130>

⁷ OnCampus LLP <<https://thecollider.tech/oncampus-cat2020/>>

8.4. Altres mèrits

8.4.1. Reconeixement Tarragona Smart Fòrum 2019

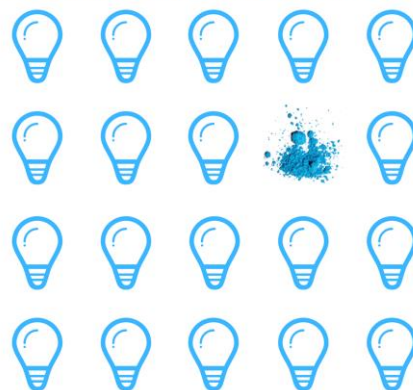
El projecte d'aquesta tesi va obtenir un reconeixement al Tarragona Smart Fòrum 2019 amb el lema "Reconèixer l'empenta, assumir el futur", amb menció a la categoria "internacionalització i innovació".

Es tracta d'un reconeixement que posa en valor el treball dut a terme pel director d'aquesta tesi i remarca la importància dels resultats aportats, alguns dels quals sorgits del treball reflectit en aquestes línies.

L'acte es va celebrar el dia 28 de febrer de 2019 a la Casa Joan Miret de Tarragona.

A l'Annex10. Premi Smart Fòrum Tarragona se'n pot consultar el diploma acreditatiu.

reconèixer l'empenta, assumir el futur



TARRAGONA
SMART FORUM

(28 DE FEBRER - 19H - CASA JOAN MIRET)

organitza:

col·laborem:

Figura 33. Cartell del certàmen Tarragona Smart Fòrum 2019

8.4.2. Estada de recerca a la KU Leuven, Bèlgica



KU LEUVEN

Del 18 de novembre de 2019 al 29 de febrer de 2020 el doctorand va fer una estada de recerca al grup de recerca ITEC-imec, al campus Kulak de la Universitat Catòlica de Lovaina (KU Leuven), Kortrijk, Bèlgica.

En aquesta universitat disposen de l'entorn laboratori Edulab, on fan activitats i recerca, incloent un projecte de *smart education*. Aquesta estada de recerca ha estat profitosa per aprofundir en el coneixement de l'afectació de les condicions lumíniques a l'aula, i a banda d'altres *outputs* ha destacat el treball presentat com a publicació 8.

A l'Annex 11. Estada de recerca a Bèlgica se'n pot consultar el certificat acreditatiu.

8.4.3. Estada de recerca a la UCAM, Espanya



UCAM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE MURCIA

Del 14 de setembre al 14 d'octubre de 2020 el doctorand va fer una estada de recerca al grup de recerca UAEIM, al campus Los Jerónimos de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), Múrcia, Espanya.

Aquest grup de recerca del Departament d'Informàtica són experts en intel·ligència artificial, *machine learning*, i desenvolupen projectes de recerca emmarcats en la intel·ligència ambiental (*Ambient Intelligence*, Aml). Aquesta estada de recerca ha estat profitosa per establir vincles, crear un equip de treball interdisciplinari tecnologia-educació i establir uns principis de treball en la línia d'intel·ligència ambiental que ha adquirit aquesta tesi.

A l'Annex 12. Estada de recerca a Espanya se'n pot consultar el certificat acreditatiu.

REFERÈNCIES

Referències bibliogràfiques

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Mohamed, M., & Rushdy, E. (2019). Internet of Things in smart education environment: Supportive framework in the decision-making process. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 31(10), e4515. <https://doi.org/10.1002/cpe.4515>
- Aguilar, J., Sánchez, M., Cordero, J., Valdiviezo-Díaz, P., Barba-Guamán, L., & Chamba-Eras, L. (2017). Learning analytics tasks as services in smart classrooms. *Universal Access in the Information Society*, 17(4), 693–709. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0525-0>
- Aguilar, J., Valdiviezo-Díaz, P., & Riofrio, G. (2018). A recommender system based on cognitive map for smart classrooms. *Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018). Advances in Intelligent Systems and Computing*, 721, 427–442. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7_41
- Al-Sharhan, S. (2017). Smart classrooms in the context of technology-enhanced learning (TEL) environments: a holistic approach. In K. Alshahrani & M. Ally (Eds.), *Transforming Education in the Gulf Region: Emerging Learning Technologies and Innovative Pedagogy for the 21st Century* (pp. 188–214). Routledge.
- Alelaiwi, A., Alghamdi, A., Shorfuzzaman, M., Rawashdeh, M., Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2015). Enhanced engineering education using smart class environment. *Computers in Human Behavior*, 51(B), 852–856. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.061>
- Allen, R., & Pammer, K. (2018). The impact of concurrent noise on visual search in children with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 22(14), 1344–1353. <https://doi.org/10.1177/1087054715605913>
- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A Systematic Review of Studies on Educational Robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 9(2), 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223>
- Arnaiz, P., Escarbajal, A., & Caballero, C. M. (2017). El Impacto del Contexto Escolar en la Inclusión Educativa. *Revista de Educación Inclusiva*, 10(2), 195–210. <http://www.revistaeducacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/334/308>
- Asadi, S., Gaaloul ben Hnia, N., Barre, R. S., Wexler, A. S., Ristenpart, W. D., & Bouvier, N. M. (2020). Influenza A virus is transmissible via aerosolized fomites. *Nature Communications*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17888-w>
- Astolfi, A., Puglisi, G. E., Murgia, S., Minelli, G., Pellerey, F., Prato, A., & Sacco, T. (2019). Influence of classroom acoustics on noise disturbance and well-being for first graders. *Frontiers in*

Psychology, 10, 2736. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02736>

- Atiku, S. O., & Boateng, F. (2020). Rethinking Education System for the Fourth Industrial Revolution. In S. O. Atiku (Ed.), *Human Capital Formation for the Fourth Industrial Revolution* (pp. 1–17). Hershey. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9810-7.ch001>
- Augustyńska, D., Kaczmarska, A., Mikulski, W., & Radosz, J. (2010). Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools. *Archives of Acoustics*, 35(4), 521–542. <https://doi.org/10.2478/v10168-010-0040-2>
- Ayneto, X. (2019). Industry 4.0, the new engine of industrial innovation. *Dirección y Organización*, 69, 99–110. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i69.563>
- Aziz, A. (2018). Education 4.0 Made Simple: Ideas For Teaching. *International Journal of Education & Literacy Studies*, 6(3), 92–98. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v.6n.3p.92>
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149.
- Bakken, J. P., Uskov, V. L., Penumatsa, A., & Doddapaneni, A. (2016). Smart Universities, Smart Classrooms and Students with Disabilities. In V. L. Uskov, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Eds.), *Smart Education and e-Learning. Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 59, pp. 15–27). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39690-3>
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2017). The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects. *Environment and Behavior*, 49(4), 425–451. <https://doi.org/10.1177/0013916516648735>
- Barrett, P., Zhang, Y., Moffat, J., & Kobbacy, K. (2013). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 59, 678–689. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.016>
- Bautista, G. [@smart_open]. (2019). ¿Qué es una smart classroom? <http://epce.blogs.uoc.edu/es/2019/10/03/organizar-aula-filas-columnas-sillas-mesas-delante-pizarra-no-responde-expectativas-necesidades-educativas/> cc @SmartClassPro @UOCpsicoedu @UOC_research #educacion #education #learningsp. [Infographic Attached] [Tweet]. Twitter.
- Bautista, Guillermo, & Borges, F. (2013). Smart Classrooms: Innovation in formal learning spaces to transform learning experiences. *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, 15(3), 18–21.
- Beauchamp, G., Houghton, C., Ellis, C., Sarwar, S., Tyrie, J., Adams, D., & Dumitrescu, S. (2019). Using video to research outdoors with young children. In Z. Brown & H. Perkins (Eds.), *Using innovative methods in early years research: Beyond the conventional* (pp. 124–137). Routledge.
- Beetham, H., & Sharpe, R. (2013). *Rethinking pedagogy for a digital age: Designing for 21st century learning*. Routledge. https://www.researchgate.net/publication/295400457_Rethinking_pedagogy_for_a_digital_age_designing_for_21st_Century_Learning
- Beichner, R. J. (2014). History and evolution of active learning spaces. *New Directions for Teaching and Learning*, 137, 9–16.

- Benešová, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 2195–2202. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>
- Bessant, S., Bailey, P., Robinson, Z., Ormerod, M., Tomkinson, C. B., Tomkinson, R., & Boast, R. (2013). *Problem-Based Learning: A Case Study of Sustainability Education. A Toolkit for University Educators*. [http://www.keele.ac.uk/media/keeleuniversity/group/hybridpbl/PBL_ESD_Case_Study_Bessant, et al. 2013.pdf](http://www.keele.ac.uk/media/keeleuniversity/group/hybridpbl/PBL_ESD_Case_Study_Bessant_et_al_2013.pdf)
- Bluyssen, P. M. (2017). Health, comfort and performance of children in classrooms - New directions for research. *Indoor and Built Environment*, 26(8), 1040–1050. <https://doi.org/10.1177/1420326X16661866>
- Bongomin, O., Yemane, A., Kembabazi, B., Malanda, C., Chikonkolo Mwape, M., Sheron Mpofo, N., & Tigalana, D. (2020). Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art. *Journal of Engineering*, 2020, 8090521. <https://doi.org/10.1155/2020/8090521>
- Booth, T., & Ainscow, M. (2002). *Index for inclusion: Developing learning and participation in schools*. Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE). https://www.eenet.org.uk/resources/docs/Index_English.pdf
- Bosch, R. (2018). *Designing for a Better World Starts at School*. Saxo Publish.
- Boulanger, D., Seanosky, J., Kumar, V., Kinshuk, Panneerselvam, K., & Somasundaram, T. S. (2015). Smart learning analytics. In G. Chen, V. Kumar, Kinshuk, R. Huang, & S. C. Kong (Eds.), *Emerging Issues in Smart Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44188-6_39
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3, 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brenes, M., Gronenberg, P., Henniges, J., Pfoertner, K., Robinson, P., Tesni, S., & Ullucci, R. (2018). *My Right is Our Future: The Transformative Power of Disability-Inclusive Education*. CBM. https://www.cbm.org/article/downloads/54741/DID_Series_-_Book_3.pdf
- Brink, H. W., Loomans, M. G. L. C., Mobach, M. P., & Kort, H. S. M. (2020). Classrooms' indoor environmental conditions affecting the academic achievement of students and teachers in higher education: a systematic literature review. *Indoor Air*, January, 1–21. <https://doi.org/10.1111/ina.12745>
- Bryk, A. S., Sebring, P. B., Allensworth, E., Luppescu, S., & Easton, J. Q. (2009). *Organizing Schools for Improvement: Lessons from Chicago*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226078014.001.0001>
- Cabero, J., & Llorente, M. del C. (2015). Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC): escenarios formativos y teorías del aprendizaje. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(2), 186–193. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69542291019>
- Camacho, M. (2019). *Samsung Smart School 2017-18: Centros digitalmente competentes*. <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/es/docs/smart-school-guia.pdf>
- Carruana, A., Alario-Hoyos, C., & Delgado, C. (2019). Smart Education: A Review and Future Research Directions. *Proceedings of 13th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence UCAMl, Proceedings 2019*, 31(1), 57. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019031057>
- CAST. (2018). *Universal Design for Learning Guidelines version 2.2*. <http://udlguidelines.cast.org>
- CAST. (2019). *About Universal Design for Learning*. www.cast.org/our-work/about-udl.html#.XFvpFRBRexV

- 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>
- Cech, P. (2016). Smart Classroom Study Design for Analysing the Effect of Environmental Conditions on Students' Comfort. *Intelligent Environments*, *21*, 14–23. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-690-3-14>
- Chan, E. K. F., Othman, M. A., & Abdul-Razak, M. A. (2017). IoT Based Smart Classroom System. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, *9*(3–9), 95–101.
- Chang, M., & Li, Y. (Eds.). (2015). *Smart Learning Environments*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44447-4>
- Chen, Guang, Kumar, V., Kinshuk, Huang, R., & Kong, S. C. (2015). *Emerging Issues in Smart Learning. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44188>
- 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>
- Cho, E., Cho, Y. H., Grant, M. M., Song, D., & Huh, Y. (2020). Trends of Educational Technology in Korea and the U.S.: A Report on the AECT-Korean Society for Educational Technology (KSET) Panel Discussion. *TechTrends*, *64*(3), 357–360. <https://doi.org/10.1007/s11528-020-00493-5>
- 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>
- Christensen, B. C., Rodil, K., & Rehm, M. (2017). Transitioning towards a smart learning ecosystem: Designing for intersubjective interactions between cognitively impaired adolescents. *Interaction Design and Architectures (IxDA)*, *35*(1), 75–99.
- Clayton, M., & Nesnidol, S. (2017). Reducing Electricity Use on Campus: The Use of Prompts, Feedback, and Goal Setting to Decrease Excessive Classroom Lighting. *Journal of Organizational Behavior Management*, *37*(2), 196–206. <https://doi.org/10.1080/01608061.2017.1325823>
- Coghlan, D., & Brannick, T. (2005). *Action Research in Your Own Organization* (2nd ed.). SAGE Publications Ltd.
- Connolly, D., Dockrell, J., Shield, B., Conetta, R., Mydlarz, C., & Cox, T. (2019). The effects of classroom noise on the reading comprehension of adolescents. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *145*(1), 372–381. <https://doi.org/10.1121/1.5087126>
- Cotton, D., Bailey, I., Warren, M., & Bissell, S. (2009). Revolutions and second-best solutions: Education for sustainable development in higher education. *Studies in Higher Education*, *34*(7), 719–733. <https://doi.org/10.1080/03075070802641552>
- Cotton, D., & Winter, J. (2010). It's Not Just Bits of Paper and Light Bulbs': A Review of Sustainability Pedagogies and their Potential for Use in Higher Education. In P. Jones, D. Selby, & S. Sterling (Eds.), *Sustainability Education: Perspectives and Practice Across Higher Education* (pp. 39–54). Earthscan.
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches* (2nd ed.). SAGE Publications, Inc.
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.). SAGE Publications Inc.
- Cutiva, L. C. C., & Burdorf, A. (2015). Effects of noise and acoustics in schools on vocal health in teachers. *Noise and Health*, *17*(74), 17–22. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.149569>

- 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>
- De Angelis, E., Ciribini, A. L. C., Tagliabue, L. C., & Paneroni, M. (2015). The Brescia Smart Campus Demonstrator. Renovation toward a zero Energy Classroom Building. *Procedia Engineering, 118*, 735–743. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.508>
- de Freitas, E., Rousell, D., & Jäger, N. (2019). Relational architectures and wearable space: Smart schools and the politics of ubiquitous sensation. *Research in Education, 107*(1), 10–32. <https://doi.org/10.1177/0034523719883667>
- Delors, J., Mufti, I. Al, Amagi, I., Carneiro, R., Chung, F., Geremek, B., Gorham, W., Kornhauser, A., Manley, M., Quero, M. P., Savane, M.-A., Singh, K., Stavenhagen, R., Won, M. S., & Nanzhao, Z. (1996). *Learning: the treasure within; report to UNESCO of the International Commission on Education for the Twenty-first Century (highlights)*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000109590>
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2011). Introduction: The Discipline and Practice of Qualitative Research. In N. K. Denzin & S. Y. Lincoln (Eds.), *The SAGE Handbook of Qualitative Research* (4th ed., pp. 1–19). SAGE Publications, Inc.
- Derry, S. J., Pea, R. D., Barron, B., Engle, R. A., Erickson, F., Goldman, R., Hall, R., Koschmann, T., Lemke, J. L., Sherin, M. G., & Sherin, B. L. (2010). Conducting Video Research in the Learning Sciences: Guidance on Selection, Analysis, Technology, and Ethics. *The Journal of the Learning Sciences, 19*(1), 3–53. <https://doi.org/10.1080/10508400903452884>
- Dneprovskaya, N. V., Komleva, N. V., & Urintsov, A. I. (2020). The Knowledge Management Approach to Digitalization of Smart Education. In Z. Hu, S. Petoukhov, & M. He (Eds.), *Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. Advances in Intelligent Systems and Computing, 902*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5_58
- 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))
- Domínguez, S., & Palau, R. (2017). Smart Learning Environments. *Comunicación y Pedagogía, 293*, 34–38.
- Dorizas, P. V., Assimakopoulos, M. N., & Santamouris, M. (2015). A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environmental Monitoring and Assessment, 187*(187), 259. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9>
- Drahorád, J., Saučuková, K., Drtina, R., Šedivý, J., & Schlosser, M. (2016). Limiting Acoustic Conditions the Transfer of Information in the Digitalized Classrooms. *International Conference on Electrical Engineering and Automation (ICEEA 2016)*.
- Dueñas, M. L. (2010). Educación inclusiva. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía (REOP), 21*(2), 358–366. <https://doi.org/10.5944/reop.vol.21.num.2.2010.11538t>
- Durán-Sánchez, A., Álvarez-García, J., Del Río-Rama, M. C., & Sarango-Lalangui, P. O. (2018). Analysis of the scientific literature published on smart learning. *Revista Espacios, 39*(10), 18.
- El Hajji, M., Es-saady, Y., Oued Guejdi, A., & Douzi, H. (2019). A framework for smart academic guidance using educational data mining. *Education and Information Technologies, 24*(2), 1379–1393. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9838-8>

- El Mrabet, H., & Moussa, A. A. (2017). Research and design of smart management system in classroom. *Proceedings of ACM Mediterranean Symposium on Smart City Applications, Tangier, Morocco (SCAMS '17)*. <https://doi.org/10.1145/3175628.3175645>
- El Mrabet, H., & Moussa, A. A. (2019). Smart school guidance and vocational guidance system through the Internet of Things. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Networking, Information Systems & Security March, Article 70*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3320326.3320404>
- Elkoubaiti, H., & Mrabet, R. (2018). How are augmented and virtual reality used in smart classrooms? *ACM International Conference Proceeding Series*, 189–196. <https://doi.org/10.1145/3289100.3289131>
- 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
- Ellis, A. K., Cogan, J. J., & Howey, K. R. (1991). *Introduction to the foundations of education*. Prentice Hall.
- Emanuel, E., Abdoler, E., & Stunkel, L. (2006). *Research ethics: How to Treat People who Participate in Research*. National Institutes of Health Clinical Center Department of Bioethics. https://bioethics.nih.gov/education/FNIH_BioethicsBrochure_WEB.PDF
- Eo, I. S., & Choi, K. Y. (2014). Study on the effects of learning by changing the color-temperature LED lamp. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(3), 309–315. <https://doi.org/10.14257/ijmue.2014.9.3.29>
- 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>
- Esteve, F. M., Cela, J. M., & Gisbert, M. (2016). ETeach3D: Designing a 3D Virtual Environment for Evaluating the Digital Competence of Preservice Teachers. *Journal of Educational Computing Research*, 54(6), 816–839. <https://doi.org/10.1177/0735633116637191>
- Esteve, F., Duch, J., & Gisbert, M. (2014). Los aprendices digitales en la literatura científica : Diseño y aplicación de una revisión sistemática entre 2001 y 2010. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación.*, 45, 9–21.
- Esteve, F. M. (2015). *La competencia digital docente: Análisis de la autopercepción y evaluación del desempeño de los estudiantes universitarios de educación por medio de un entorno 3D* [Thesis dissertation, Universitat Rovira i Virgili]. <http://www.tdx.cat/handle/10803/291441>
- European Commission. (2020). *Artificial intelligence (AI): Artificial intelligence research, funding, policy and related publications*. https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies/artificial-intelligence-ai_en
- European Parliament. (2017). *Report with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics* (2015/2103(INL), 27.1.2017). http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2017-0005_EN.pdf?redirect
- Eyal, L., & Gil, E. (2020). Design patterns for teaching in academic settings in future learning spaces. *British Journal of Educational Technology*, 51(4), 1061–1077. <https://doi.org/10.1111/bjet.12923>
- Fackrell, K., Potgieter, I., Shekhawat, G. S., Baguley, D. M., Sereda, M., & Hoare, D. J. (2017). Clinical

- interventions for hyperacusis in adults: a scoping review to assess the current position and determine priorities for research. *BioMed Research International*, 2723715. <https://doi.org/10.1155/2017/2723715>
- Ferreira, I., Urrútia, G., & Alonso-Coello, P. (2011). Revisión sistemática y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688–696. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029>
- Flick, U., von Kardorff, E., & Steinke, I. (Eds.). (2004). *A Companion to Qualitative Research*. SAGE Publications Ltd.
- Fredriksson, S., Kim, J. L., Torén, K., Magnusson, L., Kähäri, K., Söderberg, M., & Persson Waye, K. (2019). Working in preschool increases the risk of hearing-related symptoms: a cohort study among Swedish women. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 92(8), 1179–1190. <https://doi.org/10.1007/s00420-019-01453-0>
- Freigang, S., Schlenker, L., & Köhler, T. (2018). An interdisciplinary Framework for Designing Smart Learning Environments. In M. Chang, E. Popescu, Kinshuk, N.-S. Chen, M. Jemni, R. Huang, & J. M. Spector (Eds.), *Challenges and Solutions in Smart Learning: Proceeding of 2018 International Conference on Smart Learning Environments*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8743-1_3
- Friese, S. (2019). *Qualitative Data Analysis with ATLAS.ti*. SAGE Publications Ltd.
- Gallon, R., & McDonald, A. (2016). Information 4.0, Is it the new black? *TC World Conference*.
- García, D. P., Rasmussen, B., & Brunskog, J. (2014). Classroom acoustics design for speakers' comfort and speech intelligibility: a European perspective. *Proceedings of Forum Acusticum 2014 European Acoustics Association - EAA*.
- García, S. (2017). *Análisis de la intensidad de luz incidente en aulas de la UIB* [Tribunal Final de Grau, Universitat de les Illes Balears]. <http://hdl.handle.net/11201/145682>
- Garrick, A., Mak, A. S., Cathcart, S., Winwood, P. C., Bakker, A. B., & Lushington, K. (2014). Psychosocial safety climate moderating the effects of daily job demands and recovery on fatigue and work engagement. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 87(4), 694–714. <https://doi.org/10.1111/joop.12069>
- Generalitat de Catalunya. (2019). *Educació vol situar Catalunya com un país capdavanter en l'ús educatiu de la tecnologia per l'èxit escolar i social del seu alumnat*. <http://ensenyament.gencat.cat/ca/inici/nota-premsa/?id=380962>
- Generalitat de Catalunya. (2020a). *Catalonia.AI, L'Estratègia d'Intel·ligència Artificial de Catalunya*. <http://politiquesdigitals.gencat.cat/ca/tic/catalonia-ai>
- Generalitat de Catalunya. (2020b). *El programa escoles verdes*. http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/educacio_i_sostenibilitat/educacio_per_a_la_sostenibilitat/escoles_verdes/el_programa_escoles_verdes/
- German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy & German Federal Ministry of Education and Research. (2020). *What is Industrie 4.0?* <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>
- Gheller, F., Lovo, E., Arsie, A., & Bovo, R. (2020). Classroom acoustics: Listening problems in children. *Building Acoustics*, 27(1), 47–59. <https://doi.org/10.1177/1351010X19886035>
- 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>
- Gilman, E., Tamminen, S., Yasmin, R., Ristimella, E., Peltonen, E., Harju, M., Lovén, L., Riekk, J., & Pirttikangas, S. (2020). Internet of Things for Smart Spaces: A University Campus Case Study. *Sensors*, 20, 3716. <https://doi.org/10.3390/s20133716>
- Gisbert, J. P., & Bonfill, X. (2004). ¿Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemáticas y metaanálisis? *Gastroenterol Hepatol*, 27(3), 129–149.
- Gisbert, M., & Usart, M. (2018). Videomining for the assessment of teacher skills in higher education. In J. M. Duart & A. Szucs (Eds.), *10th EDEN Research Workshop. Towards Personalized Guidance and Support for Learning. Conference Proceedings*. European Distance and e-Learning Network.
- Gläser-Zikuda, M., Hagenauer, G., & Stephan, M. (2020). The potential of qualitative content analysis for empirical educational research. *Forum: Qualitative Social Research*, 21(1), 17. <https://doi.org/10.17169/fqs-21.1.3443>
- Gómez, V., & Barrigón, J. M. (2015). Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms. *Applied Acoustics*, 96, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.03.001>
- Goodyear, P., & Retalis, S. (2010). *Technology-enhanced learning: Design patterns and pattern languages*. Sense Publishers.
- Gray, P. (2018). *A Brief History of Education*. Psychology Today. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/freedom-learn/200808/brief-history-education>
- Grempe, M. A., & Easterbrooks, S. R. (2018). A Descriptive Analysis of Noise in Classrooms across the U.S. and Canada for Children who are Deaf and Hard of Hearing. *The Volta Review*, 117(1–2), 5–31. <https://doi.org/10.17955/tvr.117.1.2.781>
- Gu, Q., & Johansson, O. (2013). Sustaining school performance: school contexts matter. *International Journal of Leadership in Education*, 16(3), 301–326. <https://doi.org/10.1080/13603124.2012.732242>
- Guntha, R., Hariharan, B., & Rangan, P. V. (2016). Analysis of Echo Cancellation Techniques in Multi-Perspective Smart Classroom. *2016 International Conference On Advances In Computing, Communications And Informatics (ICACCI)*, 1135–1140. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2016.7732197>
- Ha, I., & Kim, C. (2014). The research trends and the effectiveness of smart learning. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. <https://doi.org/10.1155/2014/537346>
- Ha, K., Jo, I. H., Lim, S., & Park, Y. (2015). Tracking students' eye-movements on visual dashboard presenting their online learning behavior patterns. In Guang Chen, V. Kumar, Kinshuk, R. Huang, & S. C. Kong (Eds.), *Emerging Issues in Smart Learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44188-6>
- 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>
- Hansen, E. K., Nielsen, S. M. L., Georgieva, D., & Schledermann, K. M. (2018). The impact of dynamic lighting in classrooms. A review on methods. In A. Brooks, E. Brooks, & N. Vidakis (Eds.), *Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation. ArtsIT 2017, DLI 2017. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering* (Vol. 229, pp. 479–489). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76908-0_46

- Haria, S. L. G. (2020). *Iken Smart Classroom*. <https://www.lghsvapi.edu.in/content/iken-smart-classroom>
- 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>
- Heppell, S. (2020a). *Learnometer*. [Página Web]. www.learnometer.net
- Heppell, S. (2020b). *Learnometer research: helping you to monitor your classroom environment for factors which may hinder learning*. <http://rubble.heppell.net/learnometer/>
- Hill, S. B., Wilson, S., & Watson, K. (2004). Learning ecology: A new approach to learning and transforming ecological consciousness: Experiences from social ecology in Australia. In E. V. O'Sullivan & M. Taylor (Eds.), *Learning Toward An Ecological Consciousness: Selected Transformative Practices* (pp. 47–64). Palgrave Macmillan.
- Hodgson, M., & Nosal, E. M. (2002). Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *111*(2), 931. <https://doi.org/10.1121/1.1428264>
- Huang, R., Yang, J., & Zheng, L. (2013). The Components and Functions of Smart Learning Environments for Easy, Engaged and Effective Learning. *International Journal for Educational Media and Technology*, *7*(1), 4–14. <http://jaems.jp/contents/icomelj/vol7/IJEMT7.4-14.pdf>
- Huckle, J., & Sterling, S. (Eds.). (1996). *Education for Sustainability*. Earthscan Publications Limited.
- Humayun, M. (2020). Role of emerging IoT big data and cloud computing for real time application. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *11*(4), 494–506. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110466>
- Hunter, E. J., Cantor-Cutiva, L. C., van Leer, E., van Mersbergen, M., Nanjundeswaran, C. D., Bottalico, P., Sandage, M. J., & Whitling, S. (2020). Toward a Consensus Description of Vocal Effort, Vocal Load, Vocal Loading, and Vocal Fatigue. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *63*(2), 509–532. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00057
- Iannace, G., Trematerra, A., & Trematerra, P. (2014). Acoustic correction using green material in classrooms located in historical buildings. *Acoustics Australia / Australian Acoustical Society*, *41*(3), 213–218.
- IBM Global Education. (2009). *Education for a Smarter Planet: The Future of Learning. Executive insights*.
- Ibrahim, M. S., Razak, A. Z. A., & Kenayathulla, H. B. (2013). Smart principals and smart schools. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *103*(103), 826–836. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.404>
- IEC 60268-16:2011. (2011). *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*. <https://webstore.iec.ch/publication/1214>
- 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>
- Iglehart, F. (2020). Speech perception in classroom acoustics by children with hearing loss and wearing

- hearing aids. *American Journal of Audiology*, 29(1), 6–17. https://doi.org/10.1044/2019_AJA-19-0010
- Illeris, K. (Ed.). (2009). *Contemporary theories of learning: Learning theorists ... in their own words*. Routledge.
- 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>
- Information 4.0 Consortium. (2018). *Information 4.0*. <http://information4zero.org>
- International Association of Smart Learning Environments. (2020). *Background – Smart Learning*. <http://iasle.net/about-us/background>
- Isaksson, E., Naeve, A., Lefrère, P., & Wild, F. (2017). Towards a reference architecture for smart and personal learning environments. In E. Popescu, Kinshuk, M. K. Khribi, R. Huang, M. Jemni, N. S. Chen, & D. G. Sampson (Eds.), *Innovations in Smart Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_13
- Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. K., & Ramand, K. R. (2019). Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. *International Journal of Information Management*, 47, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>
- Jayahari, K. R., Beenu, B., & Bijlani, K. (2017). Delivery monitoring system for teachers' voice in traditional classrooms and automatic controlling system in smart/remote classrooms. *IEEE International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*. <https://doi.org/10.1109/ICSTM.2017.8089136>
- Jayahari, K. R., Nair, S. P., & Bijlani, K. (2017). Solution for Automating Teaching Environment Setup. *2017 IEEE International Conference On Smart Technologies And Management For Computing, Communication, Controls, Energy And Materials (ICSTM)*, 122–127.
- Jemni, M., & Khribi, M. K. (2017). The ALECSO Smart Learning Framework. In E. Popescu, Kinshuk, M. K. Khribi, R. Huang, M. Jemni, N. S. Chen, & D. G. Sampson (Eds.), *Innovations in Smart Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_14
- 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>
- Johnston, J. (2018). *Are "Smart" Classrooms the Future?* <https://campustechnology.com/articles/2018/10/31/are-smart-classrooms-the-future.aspx>
- Jormanainen, I., Toivonen, T., & Nivalainen, V. (2018). A Smart Learning Environment for Environmental Education. In M. Chang, E. Popescu, Kinshuk, N.-S. Chen, M. Jemni, R. Huang, & J. M. Spector (Eds.), *Challenges and Solutions in Smart Learning: Proceeding of 2018 International Conference on Smart Learning Environments*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8743-1_2
- 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>
- Karampa, V., & Paraskeva, F. (2020). Smart Learning Environments: A Blend of ICT achievements and smart pedagogy for the world sustainable development. In T. Ahram, R. Taiar, S. Colson, & A. Choplin (Eds.), *Human Interaction and Emerging Technologies. IHIET 2019. Advances in*

Intelligent Systems and Computing (Vol. 1018). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_75

- Karjalainen, S., Brännström, J. K., Christensson, J., Sahlén, B., & Lyberg-Åhlander, V. (2020). A Pilot Study on the Relationship between Primary-School Teachers' Well-Being and the Acoustics of their Classrooms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*, 2083. <https://doi.org/10.3390/ijerph17062083>
- Karoudis, K., & Magoulas, G. D. (2017). An architecture for smart lifelong learning design. In E. Popescu, Kinshuk, M. K. Khribi, R. Huang, M. Jemni, N. S. Chen, & D. G. Sampson (Eds.), *Innovations in Smart Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_16
- Kaymaz, Y., Kabasakal, I., Çiçekli, U. G., & Kocamaz, M. (2017). A Conceptual Framework for Developing a Customized I 4.0 Education Scale: An Exploratory Research. *23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 213–216. <https://doi.org/10.1109/SIITME.2017.8259941>
- 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>
- Kim, Y., Soyata, T., & Behnagh, R. F. (2018). Towards Emotionally Aware AI Smart Classroom: Current Issues and Directions for Engineering and Education. *IEEE Access*, *6*, 5308–5331. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2791861>
- Kinshuk, Chen, N. S., Cheng, I. L., & Chew, S. W. (2016). Evolution is not enough: Revolutionizing Current Learning Environments to Smart Learning Environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education Society*, *26*(2), 561–581. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0108-x>
- Kinshuk, & Graf, S. (2012). Ubiquitous Learning. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_224
- Kitto, R. J., & Barnett, J. (2007). Analysis of thin online interview data. *American Journal of Evaluation*, *28*(3), 356–368.
- Klatte, M., Bergström, K., & Lachmann, T. (2013). Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Frontiers in Psychology*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00578>
- Kolb, D. A., & Fry, R. (1975). Toward an applied theory of experiential learning. In C. Cooper (Ed.), *Theories of Group Process*. John Wiley.
- Koper, R. (2014). Conditions for effective smart learning environments. *Smart Learning Environments*, *1*(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0005-4>
- Korozi, M., Leonidis, A., Antona, M., & Stephanidis, C. (2017). LECTOR: Towards reengaging students in the educational process inside smart classrooms. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 137–149. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72038-8_11
- Kozma, R. B., & Vota, W. S. (2014). ICT in Developing Countries: Policies, Implementation, and Impact. In J. Spector, M. Merrill, J. Elen, & M. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_72
- Kristiansen, J., Lund, S. P., Persson, R., Shibuya, H., Nielsen, P. M., & Scholz, M. (2014). A study of classroom acoustics and school teachers' noise exposure, voice load and speaking time during teaching, and the effects on vocal and mental fatigue development. *International Archives of*

- Occupational and Environmental Health*, 87(8), 851–860. <https://doi.org/10.1007/s00420-014-0927-8>
- Kristiansen, J., Persson, R., Lund, S. P., Shibuya, H., & Nielsen, P. M. (2013). Effects of Classroom Acoustics and Self-Reported Noise Exposure on Teachers' Well-Being. *Environment and Behavior*, 45(2), 283–300. <https://doi.org/10.1177/0013916511429700>
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *Interviews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing* (2nd ed.). SAGE Publications, Inc.
- Lara, R. A., & Sangucho, M. E. (2017). Hacia una nueva medición de niveles de luminosidad en ambientes interiores mediante el uso de una Red de Sensores Inalámbricos / Towards a new measuring luminosity level in indoor scenarios by using Wireless Sensor networks. *RECI Revista Iberoamericana de Las Ciencias Computacionales e Informática*, 6(12), 25–43. <https://doi.org/10.23913/reci.v6i12.66>
- LedBox. (2020). *Niveles recomendados de iluminación por zonas*. [Web]. <https://blog.ledbox.es/informacion-led/niveles-recomendados-lux>
- Lee, H. S., Kwon, S. Y., Kim, K. H., Lee, K. S., & Lim, J. H. (2015). An implementation of a classroom lighting system for the improvement of learning efficiency. In L. Uden, D. Liberona, & T. Welzer (Eds.), *Learning Technology for Education in Cloud. LTEC 2015. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 533, pp. 245–254). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22629-3_20
- 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/>
- Leicht, A., Heiss, J., & Byun, W. J. (2018). *Issues and Trends in Education for Sustainable Development*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261445>
- LG CNS. (2014). *A Step Closer to Educational Equality with ICT and Smart Schools*. www.lgcnsblog.com/features/a-step-closer-to-educational-equality-with-ict-and-smart-schools/#sthash.vL082VIH.dpbs
- Li, H., Li, H., Zhang, S., Zhong, Z., & Cheng, J. (2019). Intelligent learning system based on personalized recommendation technology. *Neural Computing and Applications*, 31(9), 4455–4462. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3510-5>
- Li, X., Du, L., & Ma, X. (2018). Big data analytics and smart service tool: “Smart Learning Partner” platform. In M. Chang, E. Popescu, Kinshuk, N.-S. Chen, M. Jemni, R. Huang, & J. M. Spector (Eds.), *Challenges and solutions in smart learning* (pp. 141–146). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8743-1_20
- Li, Y., Yang, H. H., & MacLeod, J. (2018). Preferences toward the constructivist smart classroom learning environment: examining pre-service teachers' connectedness. *Interactive Learning Environments*, 27(3), 349–362. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1474232>
- Liang, J. . M., Su, W. C., Chen, Y. L., Wu, S. L., & Chen, J. J. (2020). Smart Interactive Education System Based on Wearable Devices. *Sensors*, 19, 3260. <https://doi.org/10.3390/s19153260>
- Lin, J., Ding, X., Hong, C., Pang, Y., Chen, L., Liu, Q., Zhang, X., Xin, H., & Wang, X. (2019). Several biological benefits of the low color temperature light-emitting diodes based normal indoor lighting source. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43864-6>

- Liu, D., Huang, R., & Wosinski, M. (2017a). Characteristics and framework of smart learning. In D. Liu, R. Huang, & M. Wosinski (Eds.), *Smart learning in smart cities* (pp. 31–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7_3
- Liu, D., Huang, R., & Wosinski, M. (2017b). Contexts of smart learning environments. In D. Liu, R. Huang, & M. Wosinski (Eds.), *Smart learning in smart cities* (pp. 15–29). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7_2
- Liu, D., Huang, R., & Wosinski, M. (2017c). Development of smart cities: Educational perspective. In D. Liu, R. Huang, & M. Wosinski (Eds.), *Smart learning in smart cities* (pp. 3–14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7_1
- Liu, D., Huang, R., & Wosinski, M. (2017d). Future trends of smart learning: Chinese perspective. In D. Liu, R. Huang, & M. Wosinski (Eds.), *Smart learning in smart cities* (pp. 185–215). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7_8
- Liu, D., Huang, R., & Wosinski, M. (2017e). Smart learning in classroom environment. In D. Liu, R. Huang, & M. Wosinski (Eds.), *Smart learning in smart cities* (pp. 91–117). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7_5
- Liu, Dejian, Huang, R., & Wosinski, M. (2017). *Smart Learning in Smart Cities. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7>
- Liu, X., Huang, R., & Chang, T. W. (2016). Design of theoretical model for smart learning. In Y. Li, M. Chang, M. Kravcik, E. Popescu, R. Huang, Kinshuk, & N. S. Chen (Eds.), *State-of-the-Art and Future Directions of Smart Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-868-7_9
- López, M. (2019). The Integration of digital devices into learning spaces according to the needs of primary and secondary teachers. *TEM Journal*, 8(4), 1351–1358. <https://doi.org/10.18421/TEM84-36>
- Lorenzo, N., & Gallon, R. (2019a). Smart Pedagogy for Smart Learning. In L. Daniela (Ed.), *Didactics of Smart Pedagogy* (pp. 41–69). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01551-0_3
- 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. (2019b). Integrating Education, Technology, and SDG's: a three-pronged collaboration. In Linda Daniela (Ed.), *Innovations, Technologies and Research in Education. Proceedings of ATEE Spring conference*. (pp. 10–22). University of Latvia. <https://doi.org/10.22364/atee.2019.itre>
- Lozano, R., Merrill, M. Y., Sammalisto, K., Ceulemans, K., & Lozano, F. J. (2017). Connecting competences and pedagogical approaches for sustainable development in higher education: A literature review and framework proposal. *Sustainability*, 9, 1–15. <https://doi.org/10.3390/su9101889>
- Lyapina, I., Sotnikova, E., Lebedeva, O., Makarova, T., & Skvortsova, N. (2019). Smart technologies: perspectives of usage in higher education. *International Journal of Educational Management*, 33(3), 454–461. <https://doi.org/10.1108/IJEM-08-2018-0257>
- Maas, M. J., & Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: a review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2), 231–249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>
- MacLeod, J., Hao-Yang, H., Zhu, S., & Li, Y. H. (2018). Understanding students' preferences toward the smart classroom learning environment: Development and validation of an instrument.

Computers & Education, 122, 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.015>

- Major, L., & Watson, S. (2018). Using video to support in-service teacher professional development: the state of the field, limitations and possibilities. *Technology, Pedagogy and Education*, 27(1), 49–68. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2017.1361469>
- Marope, M., Griffin, P., & Gallagher, C. (2018). *Future competences and the future of curriculum – A global reference for curricula transformation*. http://www.ibe.unesco.org/sites/default/files/resources/02_future_competences_and_the_future_of_curriculum_30oct.v2.pdf
- Martinez-Nicolas, A., Ortiz-Tudela, E., Madrid, J. A., & Rol, M. A. (2011). Crosstalk between environmental light and internal time in humans. *Chronobiology International*, 28(7), 617–629. <https://doi.org/10.3109/07420528.2011.593278>
- Martins, L. B., & Gaudiot, D. M. F. (2012). The deaf and the classroom design: A contribution of the built environmental ergonomics for the accessibility. *18th World Congress on Ergonomics - Designing a Sustainable Future*, 41(1), 3663–3668. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0007-3663>
- Mason, J. (2002). *Qualitative researching* (2nd ed.). SAGE Publications Ltd.
- Mathioudakis, G., Leonidis, A., Korozi, M., Margetis, G., Ntoa, S., Antona, M., & Stephanidis, C. (2014). Real-Time Teacher Assistance in Technologically-Augmented Smart Classrooms. *International Journal on Advances in Life Sciences*, 6(1–2), 62–73. http://www.iariajournals.org/life_sciences/2014,
- Mattila, P., & Silander, P. (2015). *How to create the future of the school: Revolutionary thinking and design from Finland*. University of Oulu.
- Mattys, S. L., Davis, M. H., Bradlow, A. R., & Scott, S. K. (2012). Speech recognition in adverse conditions: A review. *Language and Cognitive Processes*, 27(7–8), 953–978. <https://doi.org/10.1080/01690965.2012.705006>
- Mckellin, W. H., Shahin, K., Hodgson, M., Jamieson, J., & Kathleen Pichora-Fuller, M. (2011). Noisy zones of proximal development: Conversation in noisy classrooms. *Journal of Sociolinguistics*, 15, 65–93. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9841.2010.00467.x>
- Mealings, K. (2019). Validation of the SoundOut Room Acoustics Analyzer App for Classrooms: A New Method for Self-Assessment of Noise Levels and Reverberation Time in Schools. *Acoustics Australia*, 47, 277–283. <https://doi.org/10.1007/s40857-019-00166-1>
- 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>
- Meuer, S. P., & Hiller, W. (2015). The impact of hyperacusis and hearing loss on tinnitus perception in German teachers. *Noise Health*, 17(77), 182–190. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.160682>
- Mikulski, W., & Radosz, J. (2011). Acoustics of classrooms in primary Schools - Results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings. *Archives of Acoustics*, 36(4), 777–793. <https://doi.org/10.2478/V10168-011-0052-6>
- Minichiello, V., Aroni, R., Timewell, E., & Alexander, L. (1990). *In-Depth Interviewing: Researching people*. Longman Cheshire.
- Mogas, J., & Palau, R. (2021). Classroom Lighting and Its Effect on Student Learning and Performance: Towards Smarter Conditions. In *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>
- 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., 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>
- Moore, J. (2005). Barriers and pathways to creating sustainability education programs: Policy, rhetoric and reality. *Environmental Education Research*, 11(5), 537–555. <https://doi.org/10.1080/13504620500169692>
- Morgan, D. L. (1997). *Focus Groups as Qualitative Research*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781412984287.n5>
- Mott, M. S., Robinson, D. H., Walden, A., Burnette, J., & Rutherford, A. S. (2012). Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning. *SAGE Open*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.1177/2158244012445585>
- 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>
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., & Zogopoulos, V. (2018). Cyber-Physical Systems and Education 4.0 – The Teaching Factory 4.0 Concept. *Procedia Manufacturing*, 23, 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.005>
- Muntaner, J. J. (2014). Prácticas inclusivas en el aula ordinaria. *Revista de Educación Inclusiva*, 7(1), 63–79. <http://www.revistaeducacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/163>
- Murillo, F. J., & Martínez-Garrido, C. (2012). Las condiciones ambientales en las aulas de Primaria en Iberoamérica y su relación con el desempeño académico. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 20(18).
- Negron, T. P., & Graves, C. A. (2017). Classroom Attentiveness Classification Tool (ClassACT): The System Introduction. *2017 IEEE International Conference On Pervasive Computing And Communications Workshops (PERCOM Workshops)*.
- New York Smart Schools. (2014). *New York Smart Schools: Commission Report*. https://www.governor.ny.gov/sites/governor.ny.gov/files/archive/governor_files/SmartSchoolsReport.pdf
- Ng, H. S. (2020). Opportunities, Challenges, and Solutions for Industry 4.0. In A. Özbebek Tunç & P. Aslan (Eds.), *Business Management and Communication Perspectives in Industry 4.0* (pp. 32–51). Hershey. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9416-1.ch003>
- Nijs, L., & Rychtáriková, M. (2011). Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. *Acta Acustica United with Acustica*, 97(1), 93–102. <https://doi.org/10.3813/AAA.918390>
- NMC/CoSN Horizon Report. (2017). *K–12 Edition examines emerging technologies for their potential*

- impact on and use in teaching, learning, and creative inquiry in schools.*
<https://library.educause.edu/~media/files/library/2017/11/2017hrk12EN.pdf>
- Nosalska, K., Piątek, Z. M., Mazurek, G., & Rządca, R. (2019). Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>
- Nusseck, M., Richter, B., Spahn, C., & Echternach, M. (2018). Analysing the vocal behaviour of teachers during classroom teaching using a portable voice accumulator. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 43(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/14015439.2017.1295104>
- OCDE. (2015). *Students, Computers and Learning Making the Connection*. PISA, OECD Publishing. <https://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- OCDE. (2017a). *Schools at the Crossroads of Innovation in Cities and Regions*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264282766-en>
- OCDE. (2017b). *The OECD Handbook for Innovative Learning Environments*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264277274-en>
- OCDE. (2018). *Preparing our youth for an inclusive and sustainable world: The OECD PISA Global Competence Framework*. <https://www.oecd.org/pisa/Handbook-PISA-2018-Global-Competence.pdf>
- Oke, A., & Fernandes, F. A. P. (2020). Innovations in teaching and learning: Exploring the perceptions of the education sector on the 4th industrial revolution (4IR). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(2), 31.
- Omidinia, S., Masrom, M., & Selamat, H. (2012). Determinants of smart school system success: A case study of Malaysia. *International Journal of Academic Research*, 4(1), 29–36.
- Ouf, S., Abd Ellatif, M., Salama, S. E., & Helmy, Y. (2017). A proposed paradigm for smart learning environment based on semantic web. *Computers in Human Behavior*, 72(1), 796–818. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.030>
- Pääkkönen, R., Vehviläinen, T., Jokitulppo, J., Niemi, O., Nenonen, S., & Vinha, J. (2015). Acoustics and new learning environment – A case study. *Applied Acoustics*, 100, 74–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.07.001>
- 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/>
- Palau, R., Mogas, J., & Domínguez, S. (2018). Creació d'espais d'aprenentatge en un entorn virtual 3D. *Revista CIDUI*, 4. <https://www.raco.cat/index.php/RevistaCIDUI/article/view/349179>
- Palau, R., Mogas, J., & Domínguez, S. (2020a). The Go-Lab Project as a virtual learning environment: Analysis and future. *Educar*, 56(2). <https://doi.org/10.5565/REV/EDUCAR.1068>
- Palau, R., Mogas, J., & Domínguez, S. (2020b). El proyecto Go-Lab como entorno virtual de aprendizaje: análisis y futuro. *Educar*, 56(2), 407–421. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1068>
- Paniagua, A., & Istance, D. (2018). *Teachers as Designers of Learning Environments: The Importance of Innovative Pedagogies*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264085374-en>
- Papadopoulos, I., Lazzarino, R., Miah, S., Weaver, T., Thomas, B., & Koulouglioti, C. (2020). A systematic review of socially assistive robots in pre-tertiary education. *Computers & Education*, 155, 103924. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103924>

- Partnership for 21st Century Skills. (2009). *P21 Framework Definitions*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519462.pdf>
- Pérez-Mateo, M., & Guitert, M. (2005). *Aprender i ensenyar en línia*. FUOC.
- Persson-Waye, K., Fredriksson, S., Hussain-Alkhateeb, L., Gustafsson, J., & van Kamp, I. (2019). Preschool teachers' perspective on how high noise levels at preschool affect children's behavior. *PLoS ONE*, *14*(3), e0214464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214464>
- Persson, R., Kristiansen, J., Lund, S., Shibuya, H., & Nielsen, P. (2013). Classroom acoustics and hearing ability as determinants for perceived social climate and intentions to stay at work. *Noise and Health*, *15*(67), 446–453. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.121254>
- Pirahandeh, M., & Kim, D. H. (2017). Energy-aware and intelligent storage features for multimedia devices in smart classroom. *Multimedia Tools and Applications*, *76*(1), 1139–1157. <https://doi.org/10.1007/s11042-015-3019-1>
- Pocero, L., Amaxilatis, D., Mylonas, G., & Chatzigiannakis, I. (2017). Open source IoT meter devices for smart and energy-efficient school buildings. *HardwareX*, *1*, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2017.02.002>
- Popkova, E. G., Ragulina, Y. V., & Bogoviz, A. V. (2019). Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions. In E. G. Popkova, Y. V. Ragulina, & A. V. Bogoviz (Eds.), *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century* (pp. 21–29). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7>
- Pouspourika, K. (2019). *The 4 Industrial Revolutions*. Institute of Entrepreneurship Development. <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>
- Price, J. K. (2015). Transforming learning for the smart learning environment: lessons learned from the Intel education initiatives. *Smart Learning Environments*, *2*(1), 16. [10.1186/s40561-015-0022-y](https://doi.org/10.1186/s40561-015-0022-y)
- 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>
- Puglisi, G. E., Prato, A., Sacco, T., & Astolfi, A. (2018). Influence of classroom acoustics on the reading speed: A case study on Italian second-graders. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *144*(2), EL144–EL149. <https://doi.org/10.1121/1.5051050>
- Pujolàs, P. (2012). Aulas inclusivas y aprendizaje cooperativo. *Educatio Siglo XXI*, *30*(1), 89–112. <https://revistas.um.es/educatio/article/view/149151>
- 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>
- Punie, Y. (2007). Learning Spaces: an ICT-enabled model of future learning in the Knowledge-based Society. *European Journal of Education*, *42*(2), 185–199. <http://www.jstor.org/stable/4543087>
- Radosz, J. (2013). Research Papers: Global Index of the Acoustic Quality of Classrooms. *Archives of Acoustics*, *38*(2), 159–168. <https://doi.org/10.2478/aoa-2013-0018>
- Radwan, A., & Issa, M. H. (2014). An evaluation of indoor environmental quality and occupant well-being in manitoba school buildings. *Journal of Green Building*, *12*(1), 123–141.
- Raes, A., Detienne, L., Windey, I., & Depaepe, F. (2019). A systematic literature review on synchronous hybrid learning: gaps identified. *Learning Environments Research*. <https://doi.org/10.1007/s10984-019-09303-z>

- Rantala, L. M., Hakala, S., Holmqvist, S., & Sala, E. (2015). Classroom noise and teachers' voice production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(5), 1397–1406. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-14-0248
- Reinten, J., Braat-Eggen, E., Hornikx, M., Kort, H. S. M., & Kohlrausch, A. (2017). The indoor sound environment and human task performance: A literature review on the role of room acoustics. *Building and Environment*, 123, 315–332. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.005>
- Renz, A., & Hilbig, R. (2020). Prerequisites for artificial intelligence in further education: identification of drivers, barriers, and business models of educational technology companies. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17, 14. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00193-3>
- Ricciardi, P., & Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.030>
- Rincón, M., & Reyes, J. A. (2014). Analysis of teacher working environment: factors that influence the voice. *Audiology - Communication Research*, 19(4), 399–405. <https://doi.org/10.1590/s2317-64312014000400001337>
- Rodal, E. (2020). *Industria 4.0: conceptos, tecnologías habilitadoras y retos*. Ediciones Pirámide.
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 582–599. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3>
- Roller, S. A. (2016). What they notice in video: a study of prospective secondary mathematics teachers learning to teach. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 19, 477–498. <https://doi.org/10.1007/s10857-015-9307-x>
- Rosenberg, G. G. (2010). Classroom acoustics. *Seminars in Hearing*, 31(3), 188–202. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1262325>
- Roy, K. P. (2010). Green Rating Systems and Classroom Acoustic Design. *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA*.
- Rudner, M. (2018). Effects of background noise, talker's voice, and speechreading on speech understanding by primary school children in simulated classroom listening situations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144, 1976. <https://doi.org/10.1121/1.5068629>
- Rudolf, G., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., & Pichler-Milanovic, N. (2007). Smart cities – Ranking of European medium-sized cities. *Centre of Regional Science*. http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
- Rugeles, P. A., Mora, B., & Metaute, P. M. (2015). El rol del estudiante en los ambientes educativos mediados por las TIC. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(2), 132–138. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69542291025>
- Russo, D., & Ruggiero, A. (2019). Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification. *Applied Acoustics*, 146, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.019>
- Sah, P., Fanselow, M., Hattie, J., Magsamen, S., Mattingley, J., Quirk, G., & Williams, S. (2016). Integrating neuroscience and learning: now's the time. *NPJ Science of Learning*, 1, 16007. <https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.7>
- Saini, M. K., & Goel, N. (2019). How smart are smart classrooms? A review of smart classroom

- technologies. *ACM Computing Surveys*, 52(6), 130. <https://doi.org/10.1145/3365757>
- Sala, E., Hakala, S., Rantala, L. M., Holmqvist, S., Jonsdottir, V. I., & Rantanen, K. (2014). Acoustics: A basic element in learning. *Proceedings of Forum Acusticum*.
- Sala, E., & Rantala, L. (2016). Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland. *Applied Acoustics*, 114, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.009>
- Salimi, L., & Ghonoodi, A. (2012). WCLTA 2011 The study of functional elements of management system in smart schools. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 31, 140–144. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.031>
- 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>
- Sardinha, L., Almeida, A. M. P., & Pedro, N. (2017). Bridging approaches: Classroom Physical Space as a learning ecosystem. *Interaction Design and Architectures (IxD&A)*, 35(1), 56–74. <https://www.researchgate.net/publication/324918777>
- Sarlati, S., Haron, Z., Yahya, K., Darus, N., Dimon, N., & Athari, P. (2014). The Importance of Acoustic Quality in Classroom. *Jurnal Teknologi*, 70(7), 71–76. <https://doi.org/10.11113/jt.v70.3581>
- Scholz, R., Lang, D., Wiek, A., Walter, A., & Stauffacher, M. (2006). Transdisciplinary case studies as a means of sustainability learning: Historical framework and theory. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 7(3), 226–251. <https://doi.org/10.1108/14676370610677829>
- Schwab, K. (2015). The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Penguin Random House, Crown Publishers.
- Secchi, S., Brambilla, G., Casini, D., & Cellai, G. (2018). A Method to Estimate Students' Exposure to Road Traffic Noise Events. *Environments*, 5(3), 39. <https://doi.org/10.3390/environments5030039>
- Seetha, P., Karmegam, K., Ismail, M. Y., Sapuan, S. M., Ismail, N., & Moli, L. T. (2008). Effects to teaching environment of noise level in school classrooms. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 67, 659–664.
- Segredo, E., Miranda, G., & León, C. (2017). Towards the Education of the Future: Computational Thinking as a Generative Learning Mechanism. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 18(2), 33–58. <https://doi.org/10.14201/eks20171823358>
- Seidel, T., Stürmer, K., Blomberg, G., Kobarg, M., & Schwindt, K. (2011). Teacher learning from analysis of videotaped classroom situations: Does it make a difference whether teachers observe their own teaching or that of others? *Teaching and Teacher Education*, 27(2), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2010.08.009>
- 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. Baloiian, 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

- Serişan, G. C., Enache, B. A., Grigorescu, S. D., Paţurcă, S. V., Cepişcă, C., Vita, V., Porumb, R., Neagu, B., & Ghiculescu, D. (2018). Improvement of teaching activities in higher education: A case study. *Revue Roumaine Des Sciences Techniques Serie Electrotechnique et Energetique*, 63(4), 437–440.
- 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>
- Shams, S., & Ramakrishnan, R. (2012). Acoustic metrics for classroom performance- A literature review. *Proceedings of the Acoustics Week in Canada*, 40(3).
- Sherin, M. G. (2004). New perspectives on the role of video in teacher education. In J. Brophy (Ed.), *Using video in teacher education: Advances in research on teaching* (Vol. 10, pp. 1–27). Elsevier Press.
- Silverman, D. (2006). *Interpreting qualitative data* (3rd ed.). SAGE Publications Ltd.
- Simion, A. (2018). Classroom Acoustics In The Social And Emotional Development Of Primary School Children. *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences*, 92–100. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.06.11>
- Slegers, 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>
- SmartLET. (2020). *SmartLET: Learning analytics to enhance the design and orchestration in scalable, IoT-enriched, and ubiquitous Smart Learning Environments*.
- Sodsri, C. (2012). Effects of classroom reverberation and listeners' locations to speech intelligibility. *9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*. <https://doi.org/10.1109/ECTIcon.2012.6254178>
- Spector, J. M. (2014). Conceptualizing the emerging field of smart learning environments. *Smart Learning Environments*, 1(2). <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0002-7>
- Sprain, L., & Timpson, W. M. (2012). Pedagogy for Sustainability Science: Case-Based Approaches for Interdisciplinary Instruction. *Environmental Communication*, 6(4), 532–550. <https://doi.org/10.1080/17524032.2012.714394>
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary*. Oxford University Press.
- Stebbins, R. A. (2001). *Qualitative Research Methods: Exploratory research in the social sciences*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412984249>
- Sterling, S. (2004). Higher education, sustainability, and the role of systemic learning. In P. B. Corcoran & A. E. J. Wals (Eds.), *Higher Education and the Challenge of Sustainability: Problematics, Promise and Practice* (pp. 49–70). Kluwer Academic Publishers.
- Strauss, A., & Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa*. Universidad de Antioquia.
- Sun, J. C. Y., & Hsu, K. Y. C. (2019). A smart eye-tracking feedback scaffolding approach to improving students' learning self-efficacy and performance in a C programming course. *Computers in Human Behavior*, 95(66–72). <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.036>
- Tahsildoost, M., & Zomorodian, Z. S. (2018). Indoor environment quality assessment in classrooms: An integrated approach. *Journal of Building Physics*, 42(3), 336–362. <https://doi.org/10.1177/1744259118759687>

- Taylor, E. W. (2008). Transformative Learning Theory. *New Directions for Adult and Continuing Education*, 119, 5–15. <https://doi.org/10.1002/ace.301>
- Tejedor, G., Segalàs, J., Barrón, A., Fernández-Morilla, M., Fuertes, M. T., Ruiz-Morales, J., Gutiérrez, I., García-González, E., Aramburuzabala, P., & Hernández, A. (2019). Didactic Strategies to Promote Competencies in Sustainability. *Sustainability*, 11(7), 2086. <https://doi.org/10.3390/su11072086>
- ten Bruggencate, G., Luyten, H., Scheerens, J., & Slegers, P. (2012). Modeling the Influence of School Leaders on Student Achievement: How Can School Leaders Make a Difference? *Educational Administration Quarterly*, 48(4), 699–732. <https://doi.org/10.1177/0013161X11436272>
- Thomas, I. (2009). Critical Thinking, Transformative Learning, Sustainable Education, and Problem-Based Learning in Universities. *Journal of Transformative Education*, 7(3), 245–264. <https://doi.org/10.1177/1541344610385753>
- 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>
- Tilbury, D. (2004). Environmental Education for Sustainability: A force for change in Higher Education. In P. B. Corcoran & A. E. J. Wals (Eds.), *Higher Education and the Challenge of Sustainability: Problematics, Promise and Practice* (pp. 97–112). Kluwer Academic Publishers.
- Tilbury, D. (2011). *Education for Sustainable Development: An Expert Review of Processes and Learning*. UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001914/191442e.pdf>
- Tochon, F. (2008). A brief history of video feedback and its role in foreign language education. *CALICO Journal*, 25(3), 420–435. <http://www.jstor.org/stable/calicojournal.25.3.420>
- Trematerra, A., & Lombardi, I. (2017). Green materials for sound absorption. *Key Engineering Materials*, 729, 63–67. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.729.63>
- Tristán, E., Pavón, I., López, J. M., & Kolosovas-Machuca, E. S. (2016). Evaluation of noise environments during daily activities of university students. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22(2), 274–278. <https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1096610>
- UNE-EN 12.464-1:2012. (2012). *Iluminación de lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048898>
- UNESCO. (2005). *United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005–2014): Draft International Implementation Scheme*. http://portal.unesco.org/education/en/file_download.php/e13265d9b948898339314b001d91fd01draftFinal+IIS.pdf
- UNESCO. (2009). *UNESCO World Conference on Education for Sustainable Development: Bonn Declaration*. http://www.esd-world-conference-2009.org/fileadmin/download/ESD2009_BonnDeclaration080409.pdf
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf>
- United Nations. (2012). *The future we want: Outcome document adopted at Rio+20*. <https://sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030 Agenda for Sustainable Development web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf)
- United Nations. (2019). *Sustainable development goals. The 2030 Agenda for Sustainable*

Development. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/education/>

- Usart, M., & Palau, R. (2019). Validación de una herramienta de videoanálisis para la evaluación de la Competencia Digital de futuros docentes: eficiencia, facilidad de uso y usabilidad percibidas. In R. Roig-Vila (Ed.), *Investigación e innovación en la Enseñanza Superior: Nuevos contextos, nuevas ideas* (pp. 436–446). Octaedro.
- Uskov, V. L., Bakken, J. P., Karri, S., Uskov, A. V., Heinemann, C., & Rachakonda, R. (2018). Smart university: Conceptual modeling and systems' design. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 70, pp. 49–86). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59454-5_3
- Uskov, V. L., Bakken, J. P., & Pandey, A. (2015). The Ontology of Next Generation Smart Classrooms. In V. L. Uskov, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Eds.), *Smart Education and Smart e-Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19875-0_1
- Uzelac, A., Gligoric, N., & Krco, S. (2015). A comprehensive study of parameters in physical environment that impact students' focus during lecture using Internet of Things. *Computers in Human Behavior*, *53*, 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.023>
- Uzelac, A., Gligorić, N., & Krčo, S. (2018). System for recognizing lecture quality based on analysis of physical parameters. *Telematics and Informatics*, *35*(3), 579–594. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.06.014>
- Van Buren, A. (2019). What Is the Waldorf School Method? The system of private schools is based on a philosophy that prioritizes the arts and the imagination. *New York Times*. <https://parenting.nytimes.com/preschooler/waldorf-school>
- Van De Bogart, W., & Wichadee, S. (2016). Students' Perceived Effectiveness of Educational Technologies and Motivation in Smart Classroom. *TEM Journal*, *5*(4), 566–574. <https://doi.org/10.18421/TEM54-22>
- 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>
- Vangrieken, K., Meredith, C., Packer, T., & Kyndt, E. (2017). Teacher communities as a context for professional development: A systematic review. *Teaching and Teacher Education*, *61*, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2016.10.001>
- Vermeulen, A. F. (2020). Fourth Industrial Revolution (4IR). In A. F. Vermeulen (Ed.), *Industrial Machine Learning: Using Artificial Intelligence as a Transformational Disruptor*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5316-8>
- Vincent-Lancrin, S., Urgel, J., Kar, S., & Jacotin, G. (2019). *Measuring Innovation in Education 2019: What Has Changed in the Classroom?* OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264311671-en>
- Wallace, M. A., & Robichaux, J. B. (2018). This Is a Thing... Reflections on a Technology Conference. *Journal of Thought*, *52*.
- 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>
- Wang, X. C., & Wang, X. H. (2017). A pad-based multi-device collaborative teaching software architecture for smart classroom. *Proceedings of the 2017 International Conference on Wireless*

Communications, Networking and Applications, 205–209.
<https://doi.org/10.1145/3180496.3180633>

- Webster, C. B., & Dunn, B. C. (2011). Creating a model of sustainability through the design, construction, and operations of a new high school. *Journal of Green Building*, 6(3), 1–20. <https://doi.org/10.3992/jgb.6.3.1>
- 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>
- World Economic Forum. (2019). *Fourth Industrial Revolution: Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing*. www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf
- World Health Organization. (2015). School environment: Policies and current status. In *WHO Regional office for Europe*. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/276624/School-environment-Policies-current-status-en.pdf?ua=1
- Wróblewski, M., Lewis, D. E., Valente, D. L., & Stelmachowicz, P. G. (2012). Effects of reverberation on speech recognition in stationary and modulated noise by school-aged children and young adults. *Ear and Hearing*, 33(6), 731–744. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31825aead>
- Wu, D., Zhou, C., Meng, C., Wang, H., Chen, M., Lu, C., & Xu, J. (2019). Research on the Status Quo of Smart School Development in China. In M. Chang, E. Popescu, Kinshuk, N.-S. Chen, M. Jemni, R. Huang, J. M. Spector, & D. G. Sampson (Eds.), *Foundations and Trends in Smart Learning* (pp. 181–186). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6908-7_26
- Yang, J., Pan, H., Zhou, W., & Huang, R. (2018). Evaluation of smart classroom from the perspective of infusing technology into pedagogy. *Smart Learning Environments*, 5(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0070-1>
- Yassin, M. F., Almutairi, H., Alhajeri, N., Al-Fadhli, F., Al Rashidi, M. S., & Shatti, T. (2016). Assessment of noise exposure and associated health risk in school environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(8), 2011–2024. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1035-y>
- Yee, N. (2006). Maps of Digital Desires: Exploring the Topography of Gender and Play in Online Games. *World*, 83–96. <http://www.nickyee.com/pubs/BBMK Yee.pdf>
- 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>
- Youssef, R. S., Bard, D., Mahmoud, A. E., & Esa, N. M. (2014). Acoustical quality assessment of lecture halls at Lund University, Sweden. *43rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise 2014), Australian Acoustical Society*, 1382–1391.
- Zainudin, F. L., Mahamad, A. K., Saon, S., & Yahya, M. N. (2018). Prediction of Classroom Reverberation Time using Neural Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 995(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012028>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

- Zhang, J., Yang, J., Chang, M., & Chang, T. (2016). Towards a Critical Understanding to the Best Practices of ICT in K-12 Education in Global Context. In J. Zhang, J. Yang, M. Chang, & T. Chang (Eds.), *ICT in Education in Global Context. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0373-8_1
- Zhang, S., Shi, J., & Hu, Y. (2019). Research and design of intelligent learning system based on recommendation technology. *Mechatronic Systems and Control*, 47(1), 43–49. <https://doi.org/10.2316/J.2019.201-2968>
- 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>
- Zhu, Z. T., Yu, M. H., & Riezebos, P. (2016). A research framework of smart education. *Smart Learning Environments*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40561-016-0026-2>
- Zulkarnaen, R. H., Setiawan, W., Rusdiana, D., & Muslim, M. (2019). Smart city design in learning science to grow 21st century skills of elementary school student. *Journal of Physics: Conference Series*, 157(2), 022021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/2/022021>

ANNEXOS

Annex 2. Proves lumíniques

ID	Informe	Aula	Llum natural	Fluorescents	Tira led	Posició	CCT	CCT (K)	Lux
R01	1	C108	No	Sí	0	vàries	Fred	5141	100 - 275
R02	1	C108	No	No	x 1	Sota	Càlid	2844	43
R03	1	C108	No	No	x 1	Sota	Fred	5106	55
R04	1	C108	No	No	x 1	2a fila	Càlid	2836	7
R05	1	C108	No	No	x 1	2a fila	Fred	4735	8
R06	1	C108	No	Sí	x 1	Sota	Càlid	4359	252
R07	1	C108	No	Sí	x 1	Sota	Fred	5145	266
R08	1	C108	No	Sí	x 1	2a fila	Càlid	5235	172
R09	1	C108	No	Sí	x 1	2a fila	Fred	5213	200
R10	1	C108	No	Sí	x 1	Lluny	Càlid	5029	125
R11	1	C108	No	Sí	x 1	Lluny	Fred	5164	130
R12	1	C108	No	No	x 1	A terra	Càlid	2975	11
R13	1	C108	No	No	x 1	A terra	Fred	5245	15
R14	2	Casa	No	No	x 1	Sota	Càlid	2895	164
R15	2	Casa	No	No	x 1	Sota	Fred	5180	186
R16	2	Casa	No	No	x 2	Sota	Càlid	2921	296
R17	2	Casa	No	No	x 2	Sota	Fred	5200	331
R18	2	Casa	No	No	x 3	Sota	Càlid	2917	412
R19	2	Casa	No	No	x 3	Sota	Fred	5189	467
R20	3	C204	No	No	x 1	Sota	Càlid	2935	148
R21	3	C204	No	No	x 1	Sota	Fred	5226	167
R22	3	C204	No	No	x 2	Sota	Càlid	2890	101
R23	3	C204	No	No	x 2	Sota	Fred	5115	121
R24	3	C204	No	No	x 2	Sota	Càlid	2902	183
R25	3	C204	No	No	x 2	Sota	Fred	5199	216

Annex 3. Test d'atenció d2



1	d d p d d p p d d d d p d d p p d d p p d d d d d p d p d d p p d d d p p d d p
2	p d p p d d d p d d d p d d p d d p d d d d d p d p d p d p d d d p d p d d
3	d d d d p p d p p p d d p d p d p d d p d d p d p d d p d d p d d p d d d p d
4	d d p d d d p p d d d d p p d d d d p p d d d d d d p d p d d p p d d d d p p d d p
5	p d p p d d d d p d d d p d d p d d p d d p d d d d d p d p d p d p d d d d p d p d d
6	d d d d p p d p p p d d p d p d p d d p d d p d d p d p p d d d d p d d p d d d p d
7	d d p d d d p p d d d d d p d d d d p d d d d d d p d d p d d p p d d d d p p d p d d p
8	p d p p d d d p d d p d d d p d d p d d p d p d d p d d d d p d p d p d p d d d p d p d d
9	d d d d p p d p p p d d p d p d p d d p d p d d p d p p d d d d p d d p d d d d p d
10	d d p d d d p p d p d p d d d d d p d d d d p p d d d d d d p d d p p d d d d p p d d p
11	p d p p d d d d p d d d p d d d p d d d d d d p d p d p d d d d d p p d p d d p d d d
12	d d d d p p d p p p d d p d p d p d d p d d p d p p d d d d p d d p d d p d d d d p d
13	d d p d d d p p d p d d d d d p d d p d d d d d p d d p d d p p d d d d p p d p d d p
14	p d p p d d d d p d d d p d d d p d d p d d d d d p d p d p d p d d d d p d p d d p d d

Instructions to do the d2 test

These are the instructions I prepared in order not to forget details explaining the experiment to the students in Kortrijk:

1. Brief presentation and explanation of the project

We are trying to better understand how lighting affects attention of the students to offer the best solution. In mind we have that different CCT are need to cope with different activities in a classroom setting.

The CCT can range from cold light (5000K) to warm light (3000K) and this is what we will test in this experiment [show the difference]. This first experiment will be done twice, on 4th and 11th December, and we will compare the results.

It is already done in Tarragona following the same method.

2. Sign the informed consents: adding students name, date, hour and CCT

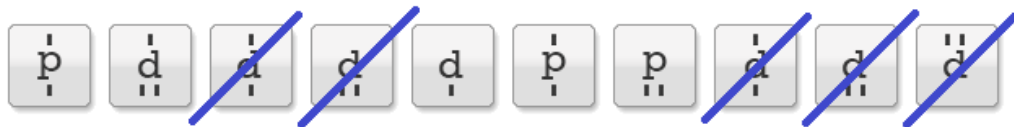
They have the informed consent to be signed. If they do not agree, they are free to say so. If they do participate, it is expected a good performance... not just as a mandatory task.

3. What d2 test consists of?

You must prepare 2 pens (a spare pen just in case), preferably blue ink

d2 is a test to measure the selective attention, the degree of concentration you can reach.

- The full test is made by **14 lines, 47 letters each**, similar to the training line.
- **How many letters do you see?** The test is filled with 2 letters (**d & p**) with up to 4 marks. It is necessary to find all the d2 letters whether they have the marks up (**d''**), down (**,,d**) or up and down (**,d'**) = 3 possibilities.



- All of the d2 must be marked with a slash /
 - Advice: be aware, there are d letters with more or less than 2 marks. There are also the p letters that must not be marked in any case. => If you realise a **mistake**, cross the mark to make clear you are rectifying (i.e. another slash making a cross **X**).
 - **Insist:** Mark only the d2. Now we can do a little **training**. On top, at landscape display, there is a line to train. Find all of the d2. Check it is ok: count whether you have marked 19, and check you marked the right ones. Only d2.
 - You will have **20 seconds** to answer each line. Don't need to reach the end of the lines.
 - There is a **recording** marking the rhythm, follow the lines and change every time you hear the instruction.
 - Important: You must **work as fast as possible but not commit any mistake**.
-

Gathered data

From each student I calculated these data:

	TR	TA	O	C
	554	238	4	3
1	46	21	0	0
2	44	20	0	0
3	42	18	0	1
4	40	18	0	0
5	41	18	0	0
6	41	17	3	0
7	37	16	1	0
8	35	14	0	0
9	39	16	0	2
10	37	16	0	0
11	37	15	0	0
12	42	18	0	0
13	38	17	0	0
14	35	14	0	0

There are 14 rows, but for TR, TA, O & C we do a sum and get the total result of the test. In the previous example, we could use the data TR 554, TA 238, etc.

In addition, from the test we still get other indexes and values:

E	E%	TR+	TR-	TOT	CON	VAR
0	0	46	35	547	235	11

TR+ & TR- = These values indicate the position of the fastest and the slowest row. To give an extreme example: If a student reaches the 47 letters in line 1 but at line 2 is distracted and marks just up to the fifteenth letter, then the results appears to be TR+ 47 & TR- 15.

TR = Total of letters reached. We count for each line up to which point the student has arrived. There are up to 47 letters per row.

TA = Total amount of matches. This is, right d2 marked.

O = Total number of omission errors. When the student does not mark a correct d2 letter.

C = Total number of "commission" errors. When the student marks a non-d2 letter (e.g., p2, d3, etc.).

$$E = O + C$$

Total number of errors. From TR and E, we calculate the percentage of error (**E%**).

$$TOT = TR - (O + C)$$

Total number of letters responded (up to which point for each line) minus the errors (both, commission and omission).

$$CON = TA - C$$

Index of concentration. It is calculated by the total amount of matches minus commission error.

$$VAR = (TR+) - (TR-)$$

Variation index. Difference between the fastest and the lowest row for each test. In the example of the box in the left, $47 - 15 = 32$, which is too high and indicates distraction.

Exemple de test d2 i plantilla de correcció

3000K

5/11/2019

16:40

MUY IMPORTANTE
POR FAVOR,
NO ESCRIBA
NADA EN ESTA
FRANJA AZUL
O PUEDE
INVALIDAR
SU EJERCICIO

30115

ARRANGE

CANVAS

RESIZE IMAGE

CANVAS SIZE

BACKGROUND

LAYER

TOP: -2

LEFT: 6

WIDTH: 1754

HEIGHT: 1240

LOCK ASPECT

ROTATE & FLIP

BLEND MODE: DARKEN

TRANSPARENCY: 100

UNDO REDO

57%

CLOSE SAVE

LAYERS

BLEND MODE: DARKEN

TRANSPARENCY: 100

MUY IMPORTANTE
POR FAVOR,
NO ESCRIBA
NADA EN ESTA
FRANJA AZUL
O PUEDE
INVALIDAR
SU EJERCICIO

30115

6. Con los datos obtenidos, aplique las fórmulas para obtener las participaciones TOT, CON y VAR.

TOT = TR - (D + C) = [] + [] = []

CON = TA - C = [] - [] = []

VAR = (TR - (TR - (TOT))) = [] = []

CORRECCIÓN

- En la columna TR, anote el número de la última letra marcada. (En cada fila):
- Sume el número de marcas dentro de un rectángulo blanco y anote el total en la columna TA.
- Sume el número de rectángulos blancos no marcados antes de la última letra señalada y anote los en la columna D.
- Sume el número de las marcas que están fuera de los rectángulos blancos y anote los en la columna C.
- Sume cada columna y anote el total en los rubros marcados en la base de cada columna.

Annex 4. Matriu (parcial) d'anàlisi de continguts a la publicació 12

Jx

- Disseny: "al final de la classe, a la dreta trobem unes prestatgeries plenes de llibres en un entorn agradable ple de coixins i sofàs per tal de crear un clima de confiança i tranquil·litat que permeti gaudir de la lectura, ja que volem fomentar la lectura com a desig de l'alumne i en cap cas com una imposició."
 - Acoustics: "hi trobem un piano, creiem que la música i el llenguatge ha de ser essencial en les escoles actuals, no només per l'aprenentatge musical o el foment de la creativitat, sinó perquè creiem que és una altra manera d'aprendre més lúdica i que pot servir a totes les àrees"
 - Disseny: "Al centre de la classe hi trobem el projector, la PDI i davant un espai per seure amb coixins i catifa, entenem que aquest espai és per facilitar el fet d'aixecarse i participar o interactuar amb la pissarra digital, que no pas si estan col·locats amb les taules en posició de treball."
 - Integració: "... Així també ens assegurem que tothom té espai per passar-hi o per interaccionar, com per exemple una cadira de rodes."
 - Integració: "Creiem que l'aula està dissenyada per atendre tota la diversitat, però també entenem que com a mestres hem de redissenyar tantes vegades com faci falta l'aula, hem de ser flexibles per tal d'ajustar-nos el màxim possible a les necessitats, desitjos i contextos dels infants."

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Estudiant	Utilitat món virt	En positiu	Desmotivació i Dificultats am	Treball en grup	Autoregulació	DECORAR l'aula	Dimensió Tech	Dimensió Ambient	Dimensió Peda
2	D4-01				- "ha sigut una e		- "l'activitat que i - "I la [INSIGNIA			
3	D4-02				- "Durant tot el p	- "he tingut molts - "tot el grup hen	- INSIGNIA: "En			
4	D4-03	"al principi em s			- "...Tot i així, he	- "He pres la iniq - "Després d'ha	- "A la nostra au	- "Al centre de la classe hi	- Disseny: "al final de la cl - Acoustics: "hi trobem un - Disseny: "Al centre de la - Integració: "... Així també - Integració: "Creiem que	- "trobem una taula d'expe - "... Així també ens asseg - "Apostem per utilitzar rec - "les taules de treball co
5	D4-04				És basca i no ha	No se sap auton				
6	D4-05				- "He continuat c	- "es tracta d'un - "tot i ser bastar - "Continua sens				
7	D4-06		- "penso que és		- "tots i totes her	- "al principi m'h - Motivació: "La			- Disseny: "Vam fer un ma	
8	D4-07		- "Vaig estar mol - "El que més en - "Jo vaig comar	- "Quan m'he tor		- "vaig ser jo la c - "Vam rebre 4 in	- "Quan vaig acca Sí - "Vam rebre 4 in		- Disseny: "vam decidir n - Disseny: "El raocó que va - Disseny: "La classe ja ar - Disseny: "El dia 13, vaig	
9	D4-08			- "No m'agrada		- "He pres iniciat - "Ara ja si que p				
10	D4-09		- "Em van ensen		- "A l'hora de res	- "Després del te				
11	D4-10		- "L'activitat 1 en			- "Dels membres - "Ara ja puc dir				
12	D4-11		- "Per començar		- "Sempre ens p				- Disseny: "Hi havia l'apar - "realitzar activitats d'aqu	
13	D4-12				- "em va agrada				- "Entre tots vam decidir l'e	
14	D4-13			- "va ser una de	- "moments dols - "com a represe	- "pel que fa a la	- "El nostre grup			
15	D4-14		- "M'agrada esta - "hem decidit d'	- "M'agrada est: - "Com ja vaig d - "Les meves oc					- Disseny: "Personalment e - Disseny: "hem construir u - NEE: "En la realització d'	
16	D4-15		- "un entorn qu - "ha estat un p - Primer a drive - "vam comença - "a l'inici vaig te				- INSIGNIA: "Pe - "en crear un espai d'apre			- "en crear un espai d'apre - NEE: "cal dir que en la pr
17	D4-16			- "una tasca que		- "Cada vegada				
18	D4-17		- "ha estat l'activ	- "la falta de con			- "en el nostre af - "7 racons: benvinguda, T	- Disseny: "JONAC vam de		
19	D4-18		- "Aquesta és l'a		- "Aquesta activi		- "Tenint en com - "Construir aqu	- NEE: "El que hem tingut		
20	D4-19	- "A més, he po	- "la meva expè			- "en aquesta pri				
21	D3-07					- "Necessito ajuc				
22	D3-08		"Però també cal	- "Referent a la	- "Referent a la	- "He pres la dec			- Disseny: "Tenint en comp	
23	D3-13				- "no m'he senti - A tot el diari es - "Considero qu					
24	D3-14				- No funciona "V - "no va estar al - "Penso sobre s	- "Sóc una noia				
25	D3-16				- "En aquesta se - "M'han agrada	- "Pel que fa a l'i				
26	D3-18			- "El Simulab se - "Actualment se	- "Les tasques c - "és molt difícil					
27	D3-17				- "al primer mo - "amb la primer					

Annex 5. Consentiment informat grup focal de la publicació 7

Benvolgut, benvolguda,



Focus group Smart Classroom Consentiment informat

Gràcies pel teu interès en aquesta activitat vinculada al projecte de Doctorat en Tecnologia Educativa titulat *Espais intel·ligents d'aprenentatge i els processos d'ensenyament-aprenentatge* desenvolupat pel Sr. Jordi Mogas Recalde, sota la supervisió del Dr. Ramon Palau Martín, a la Universitat Rovira i Virgili (URV), amb finançament de l'Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) de la Generalitat de Catalunya i dels Fons Socials Europeus (ESF) (Ref. 2019 FI_B2 00152).

Aquest document conté informació sobre les condicions generals de l'activitat focus group Smart Classroom i es descriuen els teus drets com a participant, així com les obligacions dels organitzadors quant al tractament de la informació que ens facilitis. Un cop llegit amb atenció, signa'l com a mostra que entens i acceptes les condicions que s'expressen en els punts següents.

El sotasignant,

1. **Accepta participar al focus group** sobre la investigació relativa a les Smart Classroom. El focus group consta de diverses preguntes on es tractaran aspectes relacionats a la recerca en qüestió i estarà moderat amb l'objectiu de recollir les aportacions individuals i el possible debat que se'n derivi. Tindrà una durada aproximada d'una hora.
2. És conscient que la **participació és voluntària** i, per tant, pot no respondre qualsevol qüestió i pot abandonar en qualsevol moment el focus group sense haver d'oferir cap justificació.
3. Informa no ser expert en Smart Learning Environments o Smart Classroom, però confirma que **ha rebut la suficient informació** en relació al projecte Smart Classroom i sobre el focus group en què participarà.
4. Dona consentiment per a **enregistrar la sessió** mitjançant vídeo i/o àudio amb l'única finalitat d'una posterior transcripció i tractament de les aportacions més rellevants per a l'estudi.
5. Atorga el permís per a l'obtenció, **tractament** i difusió **de la informació** obtinguda a través del focus group, amb la finalitat de desenvolupar la recerca sobre Smart Classroom.
6. Entén que tota la **informació** que ens proporcionis serà **emmagatzemada de forma segura**. L'accés a les dades estarà restringit a les persones involucrades en aquest projecte.
7. Entén que **es mantindrà l'anonimat** dels participants en qualsevol publicació dels resultats.
8. Reconeix que les úniques **dades personals** que es demanen són les de l'annex: *Dades generals de la persona participant*. Aquestes dades poden ser utilitzades per a comparar el perfil dels participants als diferents focus groups del projecte i generar possibles estadístics descriptius, sempre garantint l'anonimat.
9. Accepta que la informació recollida pot ser utilitzada per a generar **publicacions de caràcter científic** vinculades a la recerca.
10. És conscient que totes les aplicacions previstes al focus group així com les publicacions derivades d'aquesta investigació se cenyiran en tot moment a les **normes ètiques** de la

comunitat científica internacional. També es compromet a tractar de forma ètica i respectuosa qualsevol informació i coneixement que es derivi de l'activitat.

11. **Accepta que aquest consentiment** cedeix de forma expressa i gratuïta als investigadors vinculats a la recerca els drets d'informació prèviament mencionats, amb les limitacions corresponents, exclusivament per a la seva fixació en la tesi doctoral esmentada i la possible publicació en revistes o publicacions científiques.

I perquè així consti als efectes oportuns, signen aquest consentiment la participant i el moderador.

Tarragona, ____ de _____ de 2019

Signatura de la persona participant,

Signatura del moderador, Jordi Mogas,

Annex: Dades generals de la persona participant

Nom i cognoms

Gènere Dona Home Altres

Edat 18-29 30-39 40-49 50 o més

Ocupació

Coneixements previs sobre smart classroom

** Si desitges una còpia digital del teu consentiment informat, facilita'ns un correu electrònic:*

Annex 6. Consentiment informat experiment TTCT - CCT de la publicació 8

Titel van het onderzoek:

Klasverlichting en het effect ervan op het creatieve denken van de student

Naam + contactgegevens onderzoeker:

Jordi Mogas Recalde
Predoctoral researcher - ARGET research group / ITEC-imec visitor
Universitat Rovira i Virgili
Facultat de Ciències de l'Educació i Psicologia
Carretera de Valls s/n 43007 Tarragona, Catalonia
e-mail: jordi.mogas@urv.cat

Doel en methodologie van het onderzoek:

Deze studie maakt deel uit van het Smart Classroom-project gepromoot door de Universiteit van Rovira i Virgili in samenwerking met de Katholieke Universiteit Leuven. Het doel van dit project is om de relatie tussen kleur-gecorrleerde temperatuur in de klas en de cognitieve processen van de student te onderzoeken. In deze fase richten we ons op de cognitieve processen en meer specifiek op creativiteit als een afhankelijke variabele. Om de juiste maatregelen uit te voeren, zal de Torrance Test afgenomen worden bij een warmer licht en een kouder licht. Deze maatregelen zijn noodzakelijk om de invloed van kleurtemperatuur op creativiteit te begrijpen en zullen worden aangevuld met andere maatregelen in opvolgprojecten.

Duur van het experiment:

17-25 februari 2020



Geïnfomeerde toestemming

Beste student,

de universiteiten Rovira i Virgili (Tarragona) en KU Leuven (Kortrijk) startten met een samenwerking om het effect van klaslokaalverlichting op cognitieve processen zoals aandacht en creativiteit te onderzoeken. Op basis van de verkregen gegevens hebben we als doelstelling om de verlichtingssystemen op termijn aan te passen om naar slimme klaslokalen te leiden. U kunt de uitleg van het project in het vorige vak raadplegen, aangevuld met de mondelinge informatie die u zojuist hebt ontvangen.

We willen benadrukken dat jouw deelname aan de studie vrijblijvend is en je het recht hebt om je deelname te weigeren of op eender welk moment te stoppen, zelfs nadat je je toestemming voor deelname hebt gegeven.

Deze studie is beoordeeld door de sociaal-maatschappelijke ethische commissie (SMEC) van de KU Leuven. Deze gaf haar toestemming voor deze studie op 15/01/2020, dossier G-2019 10 1784. Voor meer informatie of eventuele klachten of bezorgdheden kan je contact opnemen met SMEC, via volgend e-mailadres: smec@kuleuven.be.

Als je bevestigt dat je over de vaardigheden en competenties beschikt die nodig zijn om de test te beantwoorden, bevestigt dat je het project hebt begrepen waaraan je gaat deelnemen en besluit vrijwillig je bijdrage te leveren (als je niet wilt deelnemen, is daartoe geen verplichting), dan hieronder ondertekenen.

Heel erg bedankt.

Naam student:

Datum:

Handtekening:

Naam & handtekening onderzoeker & coördinator van het onderzoek:

Mr. Jordi Mogas Recalde

Prof. Dr. Fien Depaepe

Annex 7. Anàlisi del d2 a Tarragona, amb R

(Model d'exemple)

CON

```
Model_CON = lmer(CON ~ 1 + CCT + Attempt + (1|Student), data=CCT)
summary(Model_CON)
```

```
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
[lmerModLmerTest]
Formula: CON ~ 1 + CCT + Attempt + (1 | Student)
Data: CCT
```

REML criterion at convergence: 171.3

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.5882	-0.6779	0.2457	0.5839	0.9745

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Student	(Intercept)	419.3	20.48
	Residual	659.3	25.68

Number of obs: 20, groups: Student, 10

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	253.32	14.84	10.77	17.071	3.85e-09 ***
CCT1	5.10	11.48	9.00	0.444	0.667
Attempt	-34.71	17.66	8.00	-1.965	0.085 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	CCT1
CCT1		-0.387
Attempt	-0.714	0.000

(Model d'exemple)

TOT

```
Model_TOT = lmer(TOT ~ 1 + CCT + Attempt + (1|Student), data=CCT)
summary(Model_TOT)
```

Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
[lmerModLmerTest]

Formula: TOT ~ 1 + CCT + Attempt + (1 | Student)

Data: CCT

REML criterion at convergence: 185

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.5022	-0.6162	0.2922	0.5913	0.9908

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Student	(Intercept)	1051	32.42
	Residual	1413	37.59

Number of obs: 20, groups: Student, 10

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	584.67	22.58	10.54	25.89	7e-11 ***
CCT1	6.90	16.81	9.00	0.41	0.691
Attempt	-47.62	27.06	8.00	-1.76	0.116

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	CCT1
CCT1		-0.372
Attempt	-0.719	0.000

(Model d'exemple)

VAR

```
Model_VAR = lmer(VAR ~ 1 + CCT + Attempt + (1|Student), data=CCT)
summary(Model_VAR)
```

Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
[lmerModLmerTest]
Formula: VAR ~ 1 + CCT + Attempt + (1 | Student)
Data: CCT

REML criterion at convergence: 97

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.4241	-0.4570	-0.1348	0.6782	1.3472

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Student	(Intercept)	5.216	2.284
	Residual	8.333	2.887

Number of obs: 20, groups: Student, 10

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	8.125	1.662	10.792	4.889	0.000508 ***
CCT1	-1.000	1.291	9.000	-0.775	0.458444
Attempt	6.125	1.977	8.000	3.098	0.014716 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	CCT1
CCT1		-0.388
Attempt	-0.714	0.000

(Model d'exemple)

E

```
Model_E = lmer(E ~ 1 + CCT + Attempt + (1|Student), data=CCT)
summary(Model_E)
```

Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
[lmerModLmerTest]

Formula: E ~ 1 + CCT + Attempt + (1 | Student)

Data: CCT

REML criterion at convergence: 152.5

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.2719	-0.4482	-0.1523	0.2330	2.3544

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Student	(Intercept)	261.1	16.16
	Residual	162.3	12.74

Number of obs: 20, groups: Student, 10

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	11.025	9.679	9.513	1.139	0.283
CCT1	-3.800	5.698	9.000	-0.667	0.522
Attempt	16.792	11.943	8.000	1.406	0.197

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	CCT1
CCT1	-0.294	
Attempt	-0.740	0.000

Annex 8. Matriu (parcial) d'avaluació del TTCT

		3K6		Energy →																				Originality →	
		K02	K04	K20	K21	K22	K23	K25	K27	K29	K32	K33	K35	K36	K40	K41	K45								
*	* DISCARDED																								
	Horiage becaus Notenbaik beca Schaakbord be steel (vooraanz None /invalid + tletcher beca + balk because + kasti so l omnit																								
Building	House, apparthm	13	0	huis	huis	house	huis + kerk	house	huis	appartament	appartament	hotel	huis	huis	huis	appartement	huis								
Box	Box	6	0	cadeau	cadeau		pakje	house	doos				geschenk				appartement								
Nature	Flowers	5	0	bloemenveld			bloempot		mensen				tweling				2 bloeme								
	People	7	0	2 stok-ventjes			koppel			robot		robot													
Transport	Robot	3	0		weg	autoweg	straat + kruispunt		weg	weg		weg		weg											
School	Book	7	0	Book	curusboek	boek				boek				boek			boom								
Nature	Tree	9	0	Boom	boom	boom	boom	tree									boom								
Technology	Cell phone	7	0		gsm	gsm	ladder	phone									gsm								
	Ladder	7	0	Ladder													ladder								
Body	Nose	1	2																						
School	Pen / pencil	5	0		pollood						pen + pollood						ladder								
Building	Skyscraper	1	2																						
Body	finger	2	1								vinger						pollood								
Symbols and m	Geometrical sha	8	0																						
Transport	Railway	1	2																						
Transport	Traffic signals	3	0																						
Kitchen	Glass / cup	6	0																						
Food	Baguette	1	2																						
School	Blackboard	4	0																						
Kitchen	Brick / juice, meik	1	2																						
Animal	Jiraff	1	2																						
Office	Photo frameworf	5	0																						
Symbols and m	Alphabet	4	0																						
Food	Mushroom	3	0																						
Light	Plug	1	2																						
House	Bed	3	0																						
House	Paper money	1	2																						
House	Closet	3	0																						
Glass	Vase for flowers	1	2																						
Kitchen	Cutlery	1	2																						
Office	envelop / letter	2	1																						
Light	Candle	2	1																						
Clothes	T-Shirt	4	0																						
Kitchen	Tea bag	1	2																						
House	Door	6	0																						
Light	Lights	1	2																						
House	Windows	6	0																						

Educación

Idean un sistema para regular el ambiente de las aulas

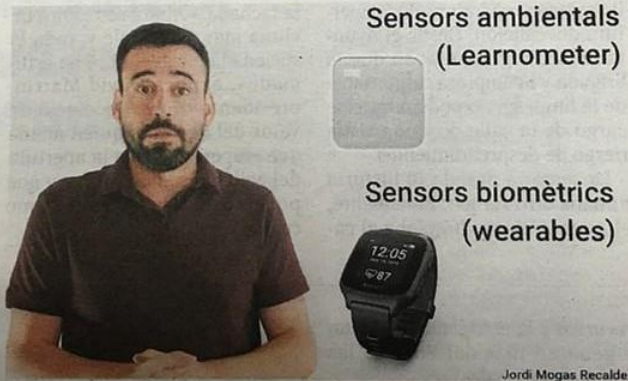
Es uno de los tres proyectos de innovación de alumnos de la URV que han sido seleccionados por el Consell Social. Los otros dos se centran en el teletrabajo y el aprendizaje online

NORIÁN MUÑOZ
TARRAGONA

El nivel de ruido, la intensidad y calidez de la luz, el nivel de oxígeno en el aire, la temperatura, la humedad... Parecen, a priori, factores que pueden influir en que un grupo de alumnos se sientan más a menos a gusto en una clase. Pero lo cierto es que, más allá de la sensación de confort, diversos estudios científicos demuestran que estos factores ambientales también influyen en el rendimiento académico.

Partiendo de esta base, Jordi Mogas, investigador en formación del programa de doctorado en Tecnología Educativa, está desarrollando un sistema que permita regular todos estos parámetros en el aula.

El suyo es uno de los tres proyectos de emprendimiento impulsados por alumnos de la URV que el Consell Social de la universidad apoyará con 6.000 euros cada uno para conseguir que lleguen al mercado. Los otros dos proyectos son una asesoría para la implementación del teletrabajo en las empresas y una plataforma para el aprendizaje online.



Un momento de la presentación de Jordi Mogas. FOTO: CEDIDA

La idea, explica Mogas, surgió de su tesis doctoral, que también versa sobre los factores ambientales, y que dirigió Ramon Palau. Ambos forman parte del grupo de investigación ARGET (Applied Research Group in Education and Technology).

Explica, por ejemplo, que en experimentos que ha estado llevando a cabo en Bélgica hace cuatro meses, ha quedado demostrado que la 'temperatura' de la luz puede influir en el desempeño de una clase.

Se encontró que con la luz fría (la luz blanca que se usa mayoritariamente en las escuelas pero también en hospitales y bibliotecas) los alumnos obtenían mejores resultados en un test que implicaba concentración. Por contra, si lo que se necesitaba era que los alumnos realizaran un ejercicio creativo, era más beneficiosa la luz cálida.

El reto de salir al mercado

Ahora la idea es conseguir desarrollar un producto que se pueda

comercializar. Para ello también participa en el programa On Campus del Mobile World Capital Barcelona. Aunque todavía está en estudio, probablemente optará por un aparato que ya ha desarrollado una empresa británica y que en un solo dispositivo tiene sensores para cada uno de los parámetros.

Con esa información un profesor podría tomar decisiones para cambiar las condiciones ambientales de la clase, aunque la idea sería que el sistema, a la larga, pudiera automatizarse. También en una fase posterior se podrían estudiar algunos parámetros en los alumnos, como su frecuencia cardiaca, para ver su reacción a estos factores.

Mogas explica que está suficientemente demostrado, desde el punto de vista científico, que los factores ambientales influyen en el aprendizaje pero, sin embargo, no se hace nada por medirlos y controlarlos. Y pone el ejemplo de lo que está sucediendo ahora en muchas clases debido a la pandemia donde para mejorar la ventilación se abren puertas y ventanas. En esos casos, aunque se gana en prevención se pierde con el ruido y el frío.

Annex10. Premi Smart Fòrum Tarragona

**Tarragona
Smart
Mediterranean
Region**



Càtedra Tarragona Smart Mediterranean City

Gustavo Cuadrado Moya, Gerent de la Fundació Tarragona Smart Mediterranean Region,

Certifica:

Que el projecte impulsat per **Ramon Palau Martin, Jordi Mogas Recalde, Mireia Usart Rodríguez i Luis Marqués Molías,**

SMART CLASSROOM

ha obtingut un reconeixement al **TARRAGONA SMART FÒRUM 2019** 'Reconèixer l'empenta, assumir el futur', amb menció a la categoria 'Internacionalització i innovació'.

L'acte s'ha celebrat el dia 28 de febrer a la Casa Joan Miret de Tarragona.

I perquè així consti als efectes oportuns, signo aquest certificat.

**Tarragona
Smart
Mediterranean
City**

Tarragona, 8 d'abril de 2019

Annex 11. Estada de recerca a Bèlgica



INTERNATIONAL RESEARCH STAY

As head of the Subdivision ITEC Instructional Design and Technology, and member of the Division ITEC in the Faculty of Psychology and Educational Sciences, ITEC-imec research group at KU Leuven,

I hereby acknowledge

Jordi Mogas Recalde

with ID number 38855552L, PhD student at Universitat Rovira i Virgili (Catalonia), completed an international research stay in our research group, in Kulak Campus of Kortrijk, Belgium, from 18 November 2019 to 29 February 2020.

In witness whereof, I sign this certificate,

Dr Fien Depaepe

26 February 2020



Annex 12. Estada de recerca a Espanya



CERTIFICADO DE ESTANCIA DE INVESTIGACIÓN

Murcia, 15 Octubre de 2020

A quien corresponda:

El profesor Dr. Andrés Muñoz Ortega, adscrito al Departamento del Grado en Ingeniería Informática de la Escuela Politécnica de la UCAM, y en su nombre la Vicedecana Dra. Dña. Belén López Ayuso, certifican mediante la presente que D. Jordi Mogas Recalde, estudiante de doctorado de la Universitat Rovira i Virgili, ha realizado una estancia de investigación en el grupo de investigación UAEIM (Universal Knowledge Enhancement by Multidisciplinary Implementation) adscrito a la Escuela Politécnica de la Universidad Católica de Murcia (UCAM). Durante esta estancia se han llevado a cabo las tareas indicadas en el plan de trabajo adjunto anexo a este documento.

El periodo de la estancia ha transcurrido del 14 de Septiembre de 2020 al 14 de Octubre de 2020

Firma del Profesor Doctor responsable de

la estancia

Fdo: Andrés Muñoz Ortega

VºBº Vicedecana del Dpto.

Fdo: Belén López Ayuso





UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI