



UNIVERSITAT  
ROVIRA i VIRGILI

## Explorant la dimensió ambiental dels espais d'aprenentatge: cap a les aules intel·ligents

M. Gabriela Fretes Torruella

**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.

# Explorant la dimensió ambiental dels espais d'aprenentatge: cap a les aules intel·ligents

M. GABRIELA FRETES TORRUELLA



Font: Imatge de Victorsteep (2024), Pixabay.

**TESI DOCTORAL**

**2024**

M. Gabriela Fretes Torruella

# EXPLORANT LA DIMENSIÓ AMBIENTAL DELS ESPAIS D'APRENTATGE: CAP A LES AULES INTEL·LIGENTS

TESI DOCTORAL

dirigida pel Dr. Ramon Palau Martín

Departament de Pedagogia



UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI

Tarragona, 2024



© M. Gabriela Fretes Torruella, 2024, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona

Cita recomanada: Fretes, G. (2024). *Explorant la dimensió ambiental dels espais d'aprenentatge: cap a les aules intel·ligents* [Tesi doctoral, Universitat Rovira i Virgili].



FAIG CONSTAR que aquest treball, titulat "Explorant la dimensió ambiental dels espais d'aprenentatge: cap a les aules intel·ligents", que presenta M. Gabriela Fretes Torruella per a l'obtenció del títol de Doctor, ha estat realitzat sota la meua direcció al Departament de Pedagogia d'aquesta universitat.

---

HAGO CONSTAR que el presente trabajo, titulado ".....", que presenta ..... para la obtención del título de Doctor, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento ..... de esta universidad.

---

I STATE that the present study, entitled ".....", presented by ..... for the award of the degree of Doctor, has been carried out under my supervision at the Department ..... of this university.

---

[Tarragona], [11 de novembre de 2024] / [Ciudad], [fecha] / [City], [date]

El/s director/s de la tesi doctoral  
 El/los director/es de la tesis doctoral  
 Doctoral Thesis Supervisor/s

Ramon Felix Palau Martin  Digitally signed by Ramon Felix Palau Martin - DNI 78087750J (TCAT)  
 - DNI 78087750J (TCAT) Date: 2024.11.11 20:48:32 +01'00'

[signatura] / [firma] / [signature]

[signatura] / [firma] / [signature]

[nom / [nombre] / [name]

[nom] / [nombre] / [name]

## AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu més profund agraïment al meu director, el Dr. Ramon Palau. Sense la seva guia, aquest camí no hauria estat possible. La seva presència constant, combinada amb l'espai que m'ha donat per prendre la iniciativa, i el seu enfocament positiu i centrat en solucions, han estat claus per arribar a bon terme. Al seu costat, he après l'ofici d'investigar, i sempre serà un referent per a mi.

Un agraïment fonamental al programa de doctorat interuniversitari en Tecnologia Educativa de la Universitat Rovira i Virgili (URV) i a la seva directora, Dra. Mercè Gisbert, per haver-me brindat l'oportunitat de formar part d'aquesta comunitat acadèmica.

Dono les gràcies a Joan Rosell, Antoni Martínez, i Edgar Batista del projecte ACTUA, sense la seva generositat, part d'aquest treball no hauria estat possible.

A la meva companya Cèlia Llurba, amb qui he compartit aquest projecte, li agraeixo sincerament la seva amistat i col·laboració. Hem format un equip excel·lent.

També agraeixo a Jordi Mogas, la seva tesi va assentar les bases sobre les quals he pogut continuar. La seva disposició i exemple han estat una motivació durant el meu recorregut.

Gràcies a tots els estudiants que van participar en aquesta investigació; la seva contribució ha estat essencial per a la realització d'aquest treball.

També, un afectuós agraïment a les meves col·legues de feina de la Facultat de Psicologia de la Universidad del Desarrollo, a Xile, per interessar-se pels meus avenços i per animar-me en els moments difícils.

A nivell personal, vull agrair a Patricio per ser un suport incondicional i per la seva paciència al llarg d'aquests anys. Juntament amb les nostres estimades mixetes, m'han aportat la companyia i la serenitat necessàries per dur a terme un projecte així.





*A la memòria del meu pare, que sempre va creure en mi.*

## RESUM

La tesi titulada *Explorant la dimensió ambiental dels espais d'aprenentatge: cap a les aules intel·ligents* investiga la influència de determinats factors ambientals en el rendiment acadèmic i les emocions dels estudiants i docents a l'aula, emprant una metodologia quantitativa empíric-analítica. La recerca es desenvolupa sota el marc conceptual de les aules intel·ligents, que integren tecnologies avançades per optimitzar tant els processos pedagògics com l'entorn d'aprenentatge.

En aquest context, s'han realitzat cinc estudis que investiguen variables com la temperatura, la humitat, la qualitat de l'aire, la il·luminació i el soroll en entorns educatius. El primer estudi analitza la influència de la temperatura, la irradiació solar i els horaris en l'estrès docent, utilitzant la freqüència cardíaca mesurada amb un rellotge intel·ligent. El segon i tercer estudi examinen com les condicions de temperatura, humitat i qualitat de l'aire afecten les emocions dels estudiants de secundària. El quart estudi avalua l'impacte de la il·luminació dinàmica en el rendiment acadèmic a primària, i l'últim estudi investiga l'efecte del soroll en l'aprenentatge.

Els resultats van mostrar una influència significativa dels factors ambientals (temperatura, qualitat de l'aire, soroll, il·luminació, entre altres) sobre les emocions i el rendiment acadèmic, principalment. Aquesta recerca no només amplia la comprensió de l'impacte d'aquests factors en el context educatiu, sinó que també destaca la importància de considerar-los en la pràctica diària a les aules. A més, demostra la viabilitat d'integrar aquestes variables en el disseny d'espais d'aprenentatge intel·ligents, afavorint així les condicions d'ensenyament i aprenentatge.

## ABSTRACT

The thesis titled Exploring the environmental dimension of learning spaces: Towards Smart Classrooms investigates the influence of various environmental factors on the academic performance and emotions of students and teachers in the classroom, employing an empirical-analytical quantitative method. The research is framed within the concept of smart classrooms, which integrate advanced technologies to optimize both pedagogical processes and the learning environment.

In this context, five studies were conducted to investigate variables such as temperature, humidity, air quality, lighting, and noise in educational settings. The first study analyzes the influence of temperature, solar irradiance, and scheduling on teacher stress, utilizing heart rate measurements obtained from a smartwatch. The second and third studies examine how conditions of temperature, humidity, and air quality affect the emotions of secondary school students. The fourth study evaluates the impact of dynamic lighting on academic performance in primary education, and the last study investigates the effect of noise on learning.

The results showed a significant influence of environmental factors (temperature, air quality, noise, lighting, among others) have a significative influence on emotions and academic performance. This research not only expands understanding the impact of these factors in the educational context, but also highlights prizing considering them in daily classroom practice. Furthermore, it demonstrates the feasibility of integrating these variables into the design of smart learning spaces, thus improving teaching and learning conditions.

## RESUMEN

La tesis titulada *Explorando la dimensión ambiental de los espacios de aprendizaje: hacia las aulas inteligentes* investiga la influencia de diversos factores ambientales en el rendimiento académico y las emociones de estudiantes y docentes en el aula, empleando una metodología cuantitativa empírico-analítica. La investigación se desarrolla bajo marco conceptual de las aulas inteligentes, las cuales integran tecnologías avanzadas para optimizar tanto los procesos pedagógicos como el entorno de aprendizaje.

En este contexto, se han realizado cinco estudios que investigan variables como la temperatura, la humedad, la calidad del aire, la iluminación y el ruido en entornos educativos. El primer estudio analiza la influencia de la temperatura, la irradiación solar y los horarios en el estrés docente, usando la frecuencia cardíaca medida con un reloj inteligente. Los siguientes dos estudios examinan cómo las condiciones de temperatura y humedad y calidad del aire afectan las emociones de los estudiantes de secundaria. El cuarto estudio evalúa el impacto de la iluminación dinámica en el rendimiento académico en primaria, y el último investiga el efecto del ruido en el aprendizaje.

Los resultados indicaron una influencia significativa de los factores ambientales (temperatura, calidad del aire, ruido, iluminación, entre otros) sobre las emociones y el rendimiento académico, principalmente. Esta investigación no solo amplía la comprensión del impacto de estos factores en el contexto educativo, sino que también resalta la importancia de considerarlos en la práctica diaria en las aulas. Además, demuestra la viabilidad de integrar estas variables en el diseño de espacios de aprendizaje inteligentes, favoreciendo así las condiciones de enseñanza y aprendizaje.

## SIGLES I ACRÒNIMS

- ASHRAE** - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* / Societat Americana d'Enginyers de Calefacció, Refrigeració i Aire Condicionat
- CO2** - Diòxid de carboni
- EDS** - Educació per al Desenvolupament Sostenible
- FC** - Freqüència cardíaca
- IA** - Intel·ligència Artificial
- IAQ** - *Indoor Air Quality* / Qualitat de l'Aire Interior
- IdC** - Internet de les Coses
- IEQ** - *Indoor Environmental Quality* / Qualitat Ambiental Interior
- LMS** - *Learning Management System* / Sistemes de Gestió de l'Aprenentatge
- ODS** - Objectius de Desenvolupament Sostenible de la Organització Nacions Unides
- OMS** - Organització Mundial de la Salut
- PM**- *Particulate matter* / Material particular
- Py-Feat** - *Phyton Facial Expression Analysis Toolbox*
- RITE** - Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis
- RT** - *Reverberation Time* / Temps de Reverberació
- SLE** - *Smart Learning Environment* / Entorn Intel·ligent d'Aprenentatge
- STI** - *Speech Transmission Index* / Índex de Transmissió de Parla
- TCC** - Temperatura del Color Correlacionada
- URV** - Universitat Rovira i Virgili



# CONTINGUTS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>0. Producció científica i compendi de publicacions</b> | <b>1</b>  |
| <b>1 Plantejament de la recerca</b>                       | <b>8</b>  |
| 1.1 Introducció .....                                     | 8         |
| 1.2 Justificació de la recerca.....                       | 9         |
| 1.2.1 Context i antecedents del problema.....             | 9         |
| 1.2.2 Rellevància i pertinència del problema .....        | 10        |
| 1.2.3 Iniciatives i experiències actuals .....            | 11        |
| 1.2.4 Buit en la literatura.....                          | 12        |
| 1.2.5 Impacte potencial .....                             | 13        |
| 1.2.6 Originalitat i contribució al camp.....             | 13        |
| 1.2.7 Benefici de l'estudi.....                           | 14        |
| 1.3 Enfocament de la recerca.....                         | 14        |
| 1.4 Format general de la tesi.....                        | 17        |
| 1.4.1 Estil i normes de redacció .....                    | 17        |
| <b>2 Marc teòric</b>                                      | <b>19</b> |
| 2.1 Aula i entorn d'aprenentatge.....                     | 20        |
| 2.1.1 Aula intel·ligent.....                              | 22        |
| 2.1.2 Aula intel·ligent com a sistema complex.....        | 24        |
| 2.2 Factors ambientals i la seva influència.....          | 27        |
| 2.2.1 Temperatura i humitat .....                         | 29        |
| 2.2.2 Qualitat de l'aire .....                            | 34        |
| 2.2.3 Il·luminació.....                                   | 40        |
| 2.2.4 Soroll.....   | 44        |
| 2.3 Emocions.....   | 46        |
| 2.4 Estrès docent.....                                    | 49        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.4.1    | Mesures de l'estrès .....   | 50         |
| 2.5      | Síntesi.....  | 52         |
| <b>3</b> | <b>Metodologia</b>  | <b>55</b>  |
| 3.1      | Objectius de la recerca .....   | 55         |
| 3.2      | Perspectiva metodològica .....  | 57         |
| 3.3      | Descripció de la metodologia dels estudis.....  | 59         |
| 3.3.1    | Monitoratge ambiental i estrès docent.....  | 59         |
| 3.3.2    | Influència de la temperatura i la humitat i de la qualitat de<br>l'aire en les emocions dels estudiants ..... | 61         |
| 3.3.3    | Impacte de la il·luminació dinàmica en el rendiment acadèmic.....   | 67         |
| 3.3.4    | Efecte del soroll en l'aprenentatge.....  | 69         |
| <b>4</b> | <b>Resultats i discussió</b>  | <b>73</b>  |
| 4.1      | Monitoratge ambiental i estrès docent.....  | 73         |
| 4.2      | Influència de la temperatura i la humitat en les emocions dels<br>estudiants.....                             | 78         |
| 4.3      | Influència de la qualitat de l'aire en les emocions dels estudiants.....                                      | 86         |
| 4.3.1    | Discussió .....   | 93         |
| 4.4      | Impacte de la il·luminació dinàmica en el rendiment acadèmic.....   | 96         |
| 4.5      | Efecte del soroll en l'aprenentatge.....  | 101        |
| 4.5.1    | Visualització dels resultats.....   | 104        |
| <b>5</b> | <b>Conclusions i recomanacions</b>  | <b>108</b> |
| 5.1      | Monitoratge ambiental i estrès docent.....  | 108        |
| 5.2      | Influència de la temperatura i la humitat en les emocions dels<br>estudiants.....                             | 110        |
| 5.3      | Influència de la qualitat de l'aire en les emocions dels estudiants.....                                      | 112        |
| 5.4      | Impacte de la il·luminació dinàmica en el rendiment acadèmic.....   | 114        |
| 5.5      | Impacte del soroll en l'aprenentatge .....  | 116        |
| 5.5.1    | Efecte global del soroll en el rendiment acadèmic i cognitiu ..   | 116        |
| 5.5.2    | Influència de moderadors en l'efecte .....  | 116        |
| 5.6      | Conclusions integrades.....   | 117        |
| 5.6.1    | Impacte en l'aprenentatge .....   | 118        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.6.2    | Impacte en les emocions i l'estrès .....  | 118        |
| 5.7      | Recomanacions .....   | 120        |
| 5.7.1    | Recomanacions metodològiques .....  | 121        |
| 5.7.2    | Recomanacions teòriques .....   | 122        |
| 5.7.3    | Recomanacions pràctiques .....  | 122        |
| <b>6</b> | <b>Referències</b> .....  | <b>124</b> |
| <b>7</b> | <b>Apèndix</b> .....  | <b>147</b> |
|          | <i>Taula 1. Resum dels resultats dels estudis inclosos en el meta-anàlisi</i> ..... | 147        |



## FIGURES

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Disciplines relacionades amb la dimensió ambiental.....   | 15  |
| Figura 2. Kit ambiental amb sensors .....   | 64  |
| Figura 3 (Metodologia). Diagrama Prisma.....  | 70  |
| Figura 3. Freqüència cardíaca mitjana dels docents segons dies de la setmana.   | 74  |
| Figura 4. Freqüència cardíaca segons activitats educatives per participant.....   | 77  |
| Figura 5. Boxplot per cada emoció bàsica dels estudiants.....   | 81  |
| Figura 6. Heatmap de les variables de temperatura, humitat i emocions bàsiques .....  | 82  |
| Figura 7. Influència de la temperatura i humitat en les emocions bàsiques: coeficients de regressió .....                   | 85  |
| Figura 8. . Heatmap de la qualitat de l'aire i les emocions bàsiques .....  | 86  |
| Figura 9. Variància explicada ( $R^2$ ) i precisió predictiva (RMSE) per a les emocions basades en factors ambientals ..... | 89  |
| Figura 10. Coeficients de regressió estandarditzats per cada emoció .....   | 93  |
| Figura 11. Vista parcial de forest plot de l'efecte general i específics .....  | 104 |
| Figura 12. Gràfic d'embut de l'anàlisi de biaix de publicació .....   | 106 |



## TAULES

|   |    |
|---|----|
| Taula 1. Producció científica durant el doctorat.....   | 1  |
| Taula 2 . Nivells recomanats de PM <sub>2.5</sub> i PM <sub>10</sub> i la seva equivalència en ppm. | 38 |
| Taula 3. Categories de la qualitat de l'aire segons CO <sub>2</sub> i temperatura.....              | 39 |
| Taula 4 . Precisió dels sensors del dispositiu de monitoratge ambiental.....                        | 65 |
| Taula 5 . Escenaris d'il·luminació.....   | 68 |
| Taula 6. Resum dels models de regressió per cada emoció bàsica.....                                 | 83 |
| Taula 7. Resum dels models de regressió per les emocions bàsiques.....                              | 88 |
| Taula 8. Comparació dels coeficients de regressió estandarditzats entre emocions.....               | 90 |
| Taula 9. Estadístics descriptius dels escenaris d'il·luminació.....                                 | 97 |



## 0. PRODUCCIÓ CIENTÍFICA

Durant el període de doctorat, la doctoranda ha elaborat, supervisada pel tutor Dr. Ramon Palau, un total de 16 publicacions científiques (13 articles, dues comunicacions i un capítol de llibre) (Taula 1), fet que ha contribuït a l'adquisició de coneixements i al desenvolupament d'habilitats en recerca, anàlisi de dades i col·laboració en equips interdisciplinaris. Al compendi només es presentaran cinc d'aquests treballs, que són els pertinents per als objectius de la tesi.

### Taula 1

*Producció científica durant el doctorat*

| Referència   | Publicació        | Indexació          |
|--|-------------------|--------------------|
| Llurba, C., <b>Fretes, G.</b> , & Palau, R. (2022). Pilot study of real-time emotional recognition technology for secondary school students. <i>Interaction Design and Architecture(s)</i> , 52, 10-20.<br><a href="https://doi.org/10.55612/s-5002-052-004">https://doi.org/10.55612/s-5002-052-004</a>   | Article           | SJR: Q1            |
| Puigjaner, D., Mogas, J., <b>Fretes, G.</b> , & Palau, R. (2022). Propostes didàctiques per al desenvolupament de la CDD a l'assignatura Treball Final de Màster. In <i>Activitats per al desenvolupament de la competència digital docent al màster de formació del professorat</i> (pp. 100-120).  | Capítol de llibre | SPI: Q1            |
| Palau, R., <b>Fretes, G.</b> , Mogas, J., & Usart, M. (2023). Validación de una herramienta para medir la Competencia Digital Docente del profesorado de educación Secundaria en formación inicial. <i>RELIEVE - Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa</i> , 29(2), 25317. <a href="https://doi.org/10.30827/relieve.v29i2.25317">https://doi.org/10.30827/relieve.v29i2.25317</a> | Article           | SJR: Q2<br>JCR: Q3 |
| <b>Fretes, G.</b> , Llurba, C., & Palau, R. (2023). Influence of teaching activities, environmental conditions and class schedules on teacher  | Article           | SJR: Q2            |

stress measured with a smartwatch: A pilot study. *Journal of Technology and Science Education*, 13(3), 2043.  
<https://doi.org/10.3926/jotse.2043>

Palau, R., **Fretes, G.**, & Santiago-Campión, R. (2024). Propuestas para la implementación de la Competencia Digital Docente (CDD). *Contextos Educativos. Revista de Educación*.  
<https://doi.org/10.18172/con.5680> Article JCR: Q4

Palau, R., Santiago Campión, R., **Fretes, G.**, Mogas, J., & Cebrián, G. (2024). The vision of Spanish schools in post-pandemic times. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(2), 5. <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.2.5> Article SJR: Q3

Llurba, C., **Fretes, G.**, & Palau, R. (2024). Classroom emotion monitoring based on image processing. *Sustainability*, 16(2), 916.  
<https://doi.org/10.3390/su16020916> Article SJR: Q2  
 JCR: Q2

**Fretes, G.**, Llurba, C., & Palau, R. (2024). Exploring classroom temperature and humidity on students' emotions through IoT and image processing. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(5), 3808 Article SJR: Q2  
 JCR: Q4

**Fretes, G.**, Llurba, C., Palau, R., & Rosell-Llompарт, J. (2024) Influence of carbon dioxide and Particulate Matter on students' emotions in a Smart Classroom. *Applied sciences*. 14(23), 11109;  
<https://doi.org/10.3390/app142311109> Article JCR: Q1

Palau, R., **Fretes, G.**, Mogas, J., Aguilar, C., Bermudo-Redondo, M. C., Calull, M., Fontanals, N., Masdeu-Bultó, A. M., Suárez-Ojeda, M. E., Pocurull, E., & Vastenavond, B. (2024). Exploring the influence of the 'Experimenta Challenge' STEM Programme on Secondary Education Students' Attitudes, Scientific Knowledge, and Skills. *IXD&A Journal, Special Issue 61: STEAM teaching and learning: advances beyond the state of the art. (En revisió)* Article

**Fretes, G.** & Palau, R.. *The impact of environmental and classroom noise on learning in children and adolescents: A Meta-Analysis (En revisió a monogràfic d'Applied Sciences)* Article

**Fretes, G.**, Palau, R. & Matamoros, M. *Towards dynamic lighting in classrooms: Exploring its effects on learning performance. (Enviat a Computers and Education: Artificial Intelligence)* Article



|  |                                    |             |
|--|------------------------------------|-------------|
| <b>Fretes, G.</b> (12-15 de març de 2024). ¿Es importante la temperatura en el aula?. Fòrum Internacional d'Educació i Tecnologia: La transformació digital de l'educació a l'era de la intel·ligència artificial (FIET 2024). Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Catalunya.   | Comunicació a congrés i publicació | SPI: Q1     |
| Martínez-Ballesté, A., Batista, E., Figueroa, E., <b>Fretes, G.</b> , Llurba, C., Quiles-Rodríguez, J., Unciti, O., & Palau, R. (2024). A proposal for the smart classroom infrastructure using IoT and artificial intelligence. COMPSAC 2024: Digital Development for a Better Future. IEEE Computer Society Signature Conference on Computers, Software, and Applications. | Comunicació a congrés              | IEEE Xplore |
| Palau, R., <b>Fretes, G.</b> , Pla-Campas, G., & Vraciu, A. How can master's teacher training influence the digital teaching competence of future teachers? (Enviat)   | Article                            |             |
| <b>Fretes, G.</b> , & Palau, R. Job stressors and burnout in secondary teachers (Enviat)   | Article                            |             |

---

*Nota.* Elaboració pròpia. JCR correspon a Journal Citation Reports, SJR a SCImago Journal Rank, SPI a Scholarly Publishers Indicators; IEEE Xplore a Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

A continuació, es presenten els cinc articles que formen part del compendi.

### Referència 1

Fretes, G., Llurba, C., & Palau, R. (2023). Influence of teaching activities, environmental conditions and class schedules on teacher stress measured with a smartwatch: A pilot study. *Journal of Technology and Science Education*, 13(3), 2043. <https://doi.org/10.3926/jotse.2043>

### Resum original i paraules clau

To recognize and assess the job stressors that teachers face in daily practice is essential. One of the most used objective measures of stress is the heart rate (HR). This pilot study explored the use of a wearable device (smartwatch) to monitor the HR of two teachers over two weeks in the classroom. Educational context variables (subject, class size, timetable, activity learning performed) and environment variables (temperature,

humidity, sun irradiance) were related with HR. The results showed significant differences on HR among the teachers according to the educational activity, time of the day, or day of the week. The environmental variables were related differently in each of the participants. The study showed the practical implications of using a smartwatch, or smart bracelet, in the field of education. It provides systematic data that be analyzed and linked to other variables, opening the possibility of measuring real-time stress in the classroom, as an alternative or complement to stress self-reports.

**Paraules clau:** *Teacher stress, Heart rate, Smartwatch, Environmental factors, Secondary school*

**Indexació:** SJR: Q2

## Referència 2

Fretes, G., Llurba, C., & Palau, R. (2024). Exploring classroom temperature and humidity on students' emotions through IoT and image processing. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(5), 3808 <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i7.3808>

## Resum original i paraules clau

The quality of indoor classroom conditions influences the well-being of its occupants, students and teachers. Especially the temperature, outside acceptable limits, can increase the risk of discomfort, illness, stress behaviors and cognitive processes. Assuming the importance of this, in this quantitative observational study, we investigated the relationship between two environmental variables, temperature and humidity, and students' basic emotions. Data were collected over four weeks in a secondary school in Spain, with environmental variables recorded every 10 minutes using a monitoring kit installed in the classroom, and students' emotions categorized using Emotion Recognition Technology (ERT). The results suggest that high recorded temperatures and humidity levels are associated with emotional responses among students. While linear regression models indicate that temperature and humidity may influence students' emotional experiences in the classroom, the explanatory power of these models may be limited, suggesting that other factors could contribute to the observed variability in emotions. The implications and limitations of these findings for

classroom conditions and student emotional well-being are discussed. Recognizing the influence of environmental conditions and monitoring them is a step toward establishing smart classrooms.

*Paraules clau: indoor environmental quality; temperature; humidity; students' emotions; well-being; academic performance; smart classroom; Py-Feat*

Indexació: SJR: Q2; JCR: Q4

### **Referència 3**

Fretes, G., Llurba, C., Palau, R., & Rosell-Llompart, J. Influence of carbon dioxide and Particulate Matter on students' emotions in a Smart Classroom. *Applied sciences*. (acceptada amb revisions menors)

### **Resum original i paraules clau**

The effects of air quality on health and cognition are well-documented, but few studies have focused on its impact on emotions, leaving this area underexplored. This study investigates the influence of environmental factors—specifically particulate matter (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)—on students' basic emotions in secondary school classrooms. For the collection of environmental data, we used low-cost sensors, which were carefully calibrated to ensure acceptable accuracy for monitoring air quality variables, despite inherent precision limitations compared to traditional sensors. Emotions were recorded via camera and analyzed using a custom-developed code. Based on these data, we found significant but modest correlations, such as the negative correlation between PM levels and happiness, and positive correlations of CO<sub>2</sub> concentrations with fear and disgust. The regression models explained between 36% and 62% of the variance in emotions like neutrality, sadness, fear, and happiness, highlighting non-linear relationships in some cases. These findings underscore the need for improved classroom environmental management, including the implementation of real-time air quality monitoring systems. Such systems would enable schools to mitigate the negative emotional effects of poor air quality, contributing to healthier and more conducive learning environments. Future research

should explore the combined effects of multiple environmental factors to further understand their impact on student well-being.

**Paraules clau:** *emotions; particular matter; CO<sub>2</sub>; secondary school; indoor air quality; classroom*

**Indexació:** JCR: Q1

#### Referència 4

Fretes, G. & Palau, R. The impact of environmental and classroom noise on learning in children and adolescents: A Meta-Analysis Enviat a monogràfic d'*Applied Sciences*

#### Resum original i paraules clau

Given the growing body of research on the impact of noise, synthesizing these findings is crucial to gain a comprehensive understanding of its influence on student performance. This meta-analysis investigates the effects of environmental and classroom noise on learning, with a focus on cognitive and academic performance in elementary and secondary school students. A systematic review and meta-analysis were conducted on 21 studies, comprising 152 effect sizes. Different noise types were analyzed in relation to cognitive functions such as attention, memory, comprehension, and overall academic performance. The Restricted Maximum Likelihood (REML) method was used to estimate the overall effect size, resulting in a value of -0.46 (95% CI: -0.54 to -0.38), indicating a moderate negative impact of noise on performance. The negative effects were particularly significant in children aged 6 to 12. Despite high heterogeneity across studies, likely due to variations in noise types and study designs, model fit measures confirmed the adequacy of the meta-analytic model. These findings underscore the importance of mitigating noise in educational settings to improve students' cognitive and academic outcomes.

**Paraules clau:** *Noise impact; Student performance; Meta-Analysis; Cognitive functions; Educational environment*

## Referència 5

Fretes, G., Palau, R. & Matamoros, M. Towards dynamic lighting in classrooms: Exploring its effects on learning performance. Enviat a *Computers & Education: Artificial Intelligence*

### Resum original i paraules clau

Among the environmental factors that influence classroom dynamics, lighting has emerged as one of the most studied variables in recent years. This study investigates the effect of correlated color temperature (CCT) and time of day on sixth-grade students' performance in reading comprehension and mathematical problem-solving tasks, aiming to demonstrate the need for dynamic classroom lighting. Previous research has shown that specific lighting conditions can enhance various cognitive processes involved in learning.

In this quasi-experimental study, 20 students were assessed over three weeks, completing objective tests at three different times of day (9:10 a.m., 11:30 a.m., and 3:10 p.m.) under two distinct CCT conditions (3000K and 5000K). Results revealed significant improvements in reading comprehension under 5000K lighting, suggesting that higher CCT may enhance tasks requiring sustained attention. In contrast, no significant differences were observed in mathematical problem-solving performance, contradicting previous studies showing a positive effect of cool lighting on math skills. Additionally, no gender differences were found across the lighting conditions.

These findings highlight the potential benefits of dynamic lighting in classrooms, particularly systems equipped with artificial intelligence (AI) that can automatically adjust lighting based on task, time of day, and students' needs.

**Paraules clau:** *dynamic lighting, smart classrooms, reading comprehension, mathematical problem-solving, correlated color temperature (CCT), learning environment, artificial intelligence*

# 1 PLANTEJAMENT DE LA RECERCA

## 1.1 INTRODUCCIÓ

Les condicions ambientals són un aspecte que sovint no es té en compte a les escoles, malgrat que poden influir en la vida diària de l'aula.

*És finals de setembre, i en una escola del centre de la ciutat, la classe de la tarda està en plena marxa. L'edifici, antic i amb finestres petites, ofereix poca ventilació, i el soroll constant del trànsit es cola a l'aula. La professora, intentant captar l'atenció dels seus alumnes mentre es ventila amb un ventall, observa com els estudiants, cada cop més cansats, mostren signes de fatiga i cares de disgust.*

Aquesta escena, tan quotidiana, reflecteix com les condicions ambientals poden afectar directament el benestar i el rendiment acadèmic. En l'actualitat, la qualitat de les condicions de l'ambient de les aules és un tema de creixent importància. Com es veurà, la investigació ha demostrat que aquests factors poden influir significativament en l'aprenentatge i el benestar dels estudiants i docents, la qual cosa subratlla la necessitat de crear entorns d'aprenentatge saludables i eficients. Per tant, per aconseguir condicions òptimes, és fonamental abordar factors com la temperatura, la qualitat de l'aire i soroll, de manera holística.

Aquest estudi se situa en el context de les aules intel·ligents, les quals es conceben com a entorns d'aprenentatge que integren diverses tecnologies per optimitzar l'experiència educativa. Tecnologies com Internet de les Coses (IdC) i de reconeixement emocional, aplicades en aquest estudi, permeten monitoritzar

dinàmicament les variables d'interès, recopilar una gran quantitat de dades i analitzar-les per obtenir coneixement sobre la influència dels factors ambientals en el benestar i el rendiment dels estudiants i docents. Atès que l'interactuar de diverses variables en aquests entorns presenta una gran complexitat, aquest estudi proposa una nova conceptualització de l'aula intel·ligent com un sistema complex. Aquesta proposta, basada en l'enfocament teòric de García (1994, 2000, 2006), integra la dimensió ambiental amb les dimensions pedagògica i tecnològica, oferint una visió innovadora. Segons aquesta concepció, l'aula intel·ligent hauria de ser considerada com una unitat en què els diferents components tecnològics i pedagògics interactuen entre si i amb l'entorn, creant un efecte sinèrgic que supera la suma de les parts individuals.

L'objectiu general d'aquest estudi és analitzar com determinats factors ambientals —com la temperatura, la humitat, la qualitat de l'aire, la il·luminació i el soroll a les aules— influeixen tant en estudiants com en docents. Les preguntes de recerca inclouen: Quin és l'impacte de les condicions ambientals en l'aprenentatge dels estudiants de primària i secundària? i Com influeixen aquestes condicions en les emocions dels estudiants i en l'estrès dels docents?

A partir d'aquestes preguntes, s'han definit cinc objectius específics. Aquests inclouen l'exploració de l'estrès docent, la influència de la qualitat de l'aire, la temperatura i la humitat en les emocions dels estudiants, així com els efectes del soroll i la il·luminació en el rendiment acadèmic. Aquest enfocament interdisciplinari i de metodologia empíric-analítica, serà desenvolupat en profunditat en el capítol de Metodologia.

## 1.2 JUSTIFICACIÓ DE LA RECERCA

### 1.2.1 Context i antecedents del problema

Malgrat els avenços tecnològics i pedagògics, l'entorn físic on es produeix l'ensenyament-aprenentatge segueix essent fonamental i pot tant potenciar-lo com dificultar-lo. Actualment, sovint les aules no compleixen els requisits necessaris per

garantir un entorn saludable i òptim per a l'ensenyament i aprenentatge, fet que ha posat en relleu la importància dels factors ambientals, com la qualitat de l'aire, la temperatura, el soroll i la il·luminació, pel seu impacte directe en el benestar i el rendiment acadèmic. Per exemple, la deficient qualitat de l'aire és un problema generalitzat a les escoles, que afecta tant la salut respiratòria com la capacitat de concentració dels estudiants (Catalina et al., 2022). L'elevada temperatura té un impacte negatiu sobre la salut, deteriorant la qualitat de l'ensenyament i la salut del professorat (Fujii et al., 2015; González-Hidalgo et al., 2011; Leme & Maia, 2015), a més de contribuir a la conducta agressiva en nens i adolescents a llarg termini (Younan et al., 2018). O el soroll que afecta significativament les respostes cognitives i motores, actuant com un important estressor (Szalma & Hancock, 2011). Pel que fa a la il·luminació, Schledermann et al. (2019) van demostrar que la il·luminació dinàmica millora el rendiment i la implicació dels estudiants en crear un ambient òptim per a cada tasca.

Així, l'exploració d'aquests factors ambientals esdevé essencial per avançar cap a espais d'aprenentatge intel·ligents que responguin de manera més eficient a les necessitats tant dels estudiants com dels docents.

### 1.2.2 Rellevància i pertinència del problema

La pandèmia de la COVID-19 ha generat una major consciència sobre la importància de la qualitat de l'aire interior i de la ventilació en edificis densament ocupats, com oficines i escoles (Eichholtz et al., 2023). Les mesures post-pandèmia, com la millora de la ventilació en les aules, han estat fonamentals per reduir la propagació de virus i millorar la IAQ. Tot i això, amb el pas del temps, aquestes mesures han vist reduïda la seva eficàcia, especialment en aules amb ventilació natural, a causa del compromís entre ventilació i confort tèrmic (Eichholtz et al., 2023). Aquesta preocupació està alineada amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) de l'Organització de les Nacions Unides (ONU), especialment amb l'ODS 3 (Salut i Benestar), que



destaca la necessitat de garantir un entorn saludable per protegir la salut de les persones.

Aquest desafiament també està estretament vinculat amb l'ODS 4 (Educació de Qualitat), que promou la millora de les infraestructures i la transformació digital. La dimensió ambiental a les aules no només influeix en la salut física dels estudiants, sinó també en el seu benestar emocional i rendiment acadèmic. Per tant, aquesta recerca pretén explorar aquests factors per avançar cap a espais d'aprenentatge intel·ligents que garanteixin un ambient saludable.

### 1.2.3 Iniciatives i experiències actuals

En els darrers anys, el creixent interès per millorar la qualitat de l'ambient en general i a les aules ha generat iniciatives a nivell local i internacional. A més, el desenvolupament de tecnologies ha obert nous camins per optimitzar els espais d'aprenentatge. A continuació, es presenten algunes experiències que exemplifiquen la importància d'aquests aspectes en l'actualitat.

- Setmana sense soroll 2024: Del 22 al 28 d'abril de 2024, es va celebrar a Catalunya la Setmana sense Soroll, amb l'objectiu de conscienciar sobre la contaminació acústica mitjançant la promoció de mesures de prevenció, sensibilització i educació ambiental. Aquesta iniciativa va incloure accions específiques als centres educatius, com ara la formació del professorat, tallers per als estudiants i préstec de semàfors acústics per monitoritzar els nivells de soroll a les aules. L'objectiu final és millorar el benestar dels alumnes i crear entorns d'aprenentatge més saludables (Generalitat de Catalunya, 2024).
- Projecte ACTUA: El projecte va sorgir com a resposta a la pandèmia de COVID-19 per investigar la transmissió del virus SARS-CoV-2 a les aules. A partir de maig de 2021, es van instal·lar kits de monitoratge ambiental amb una durada prevista de 18 mesos. No obstant això, el projecte segueix actiu gràcies al seu valor en la

monitoratge de factors ambientals que afecten la salut i el benestar. Actualment, monitoritza prop de cent aules, especialment al Camp de Tarragona (URV, 2024).

- **Mesuradors de CO<sub>2</sub> a la URV:** En el marc de la millora de la qualitat de l'aire en espais educatius, la URV ha instal·lat el curs 2022-23, 180 mesuradors de CO<sub>2</sub> en aules i laboratoris que funcionen com un semàfor per alertar sobre la necessitat de ventilació quan els nivells de CO<sub>2</sub> superen els límits establerts per la normativa de benestar. Aquest projecte s'estendrà a un total de 600 mesuradors repartits pels campus, amb l'objectiu de garantir un ambient saludable i segur a les aules (URV, 2022).

- **Smart Classroom Project:** Aquesta *spin-off* de la Universitat de Barcelona i la Universitat Oberta de Catalunya implementa espais d'aprenentatge innovadors basats en anys de recerca científica. El projecte combina la pedagogia, la tecnologia i l'arquitectura per transformar els entorns educatius, oferint solucions personalitzades. A través del codisseny, s'adapten els espais a les necessitats específiques de cada centre, posant un èmfasi especial en el benestar físic i emocional dels estudiants i promovent pràctiques educatives innovadores (*Smart Classroom Project*, 2024).

## 1.2.4 Buit en la literatura

Malgrat la creixent importància reconeguda dels factors ambientals, no és habitual que s'investigui l'impacte d'aquests factors en el context natural de l'aula. A més, a les aules tradicionals sovint no es consideren aquests factors ambientals dinàmics, fet que subratlla la necessitat d'incorporar-los i avançar cap a espais d'aprenentatge intel·ligents. Addicionalment, la recerca existent se centra principalment en l'impacte sobre el rendiment acadèmic i els processos cognitius, deixant de banda l'aspecte emocional.

Els estudis d'aquesta tesi aborden aquestes mancances amb l'objectiu d'explorar les relacions entre aquests factors ambientals i variables emocionals, correlats fisiològics, a més del rendiment acadèmic i cognitiu. Aquest enfocament és rellevant

perquè, mentre que hi ha nombrosos estudis sobre la salut física i la cognició, pocs han analitzat els efectes emocionals dels factors ambientals (Brink et al., 2021). Per exemple, la monitoratge de freqüència cardíaca en docents és pràcticament inexistent en la literatura, malgrat que el benestar del professorat és fonamental.

Encara que hi ha molts estudis sobre el confort tèrmic, que implica certament una dimensió de benestar, no s'ha estudiat de manera tan directa el seu impacte en les emocions, com s'ha fet en aquesta recerca amb variables com la temperatura, la humitat i la qualitat de l'aire. Pel que fa a la il·luminació, tot i que el confort visual ha estat explorat, hi ha pocs estudis centrats en la temperatura de color correlacionada, i encara menys en alumnes de primària. A més, l'anàlisi de l'efecte del gènere en la resposta aporta una dimensió que ha estat poc abordada fins ara. Així, aquesta tesi intenta completar la literatura sobre l'impacte emocional dels factors ambientals en els espais educatius.

### 1.2.5 Impacte potencial

Aquest estudi pot proporcionar dades que ajudin a considerar la importància dels factors ambientals en l'aprenentatge i el benestar emocional tant dels estudiants com dels docents, i a dissenyar entorns d'aprenentatge més saludables i eficients. Els resultats d'aquesta recerca poden fonamentar la implementació de millores en el monitoratge i control de variables, creant així espais d'aprenentatge intel·ligents i adaptats a les necessitats individuals dels estudiants (Mogas i Palau, 2021).

### 1.2.6 Originalitat i contribució al camp

Aquest estudi utilitza tecnologies avançades d'IdC (Internet de les Coses) per recollir dades en temps real sobre la influència de factors com la temperatura, la humitat i la qualitat de l'aire. A més, la temperatura de color correlacionada també ha estat investigada directament a l'aula. Tot i que hi ha nombrosos estudis experimentals sobre l'impacte de les variables ambientals, aquest treball destaca per la seva observació

directa de l'ambient natural de l'aula, sense modificar artificialment les condicions. Aquesta metodologia permet obtenir dades contextuals, encara que també comporta les limitacions pròpies d'una investigació no experimental, com la dificultat per establir relacions causals.

Pel que fa al metaanàlisi inclòs en aquest estudi sobre l'efecte del soroll en l'aprenentatge, tot i que no representa una innovació *per se*, es tracta d'una revisió quantitativa molt àmplia que ha recollit més de 150 mides de l'efecte des de l'any 2000. Això proporciona una base per entendre millor com el soroll afecta l'aprenentatge en diversos perfils d'estudiants i segons el tipus de soroll.

Per últim, aquest treball aporta la conceptualització de l'aula intel·ligent com a sistema complex. Tot i que aquesta perspectiva no va ser utilitzada com a metodologia inicial, va sorgir paulatinament per ajudar a interpretar i integrar les dades recollides. Aquesta conceptualització facilita la comprensió de la dinàmica d'interacció entre les variables ambientals, la tecnologia i els processos d'ensenyament -aprenentatge.

### 1.2.7 Benefici de l'estudi

Els principals beneficiaris seran tant els estudiants com els docents, ja que la millora de les condicions ambientals de les aules influeix positivament en el rendiment acadèmic, el benestar emocional i la salut general. A més, administradors escolars i responsables de polítiques educatives podran utilitzar aquest coneixement per fonamentar i implementar millores en els centres educatius, fent ús de tecnologies intel·ligents per monitoritzar i ajustar les condicions ambientals en temps real. Això també contribuirà als esforços globals per assolir els ODS esmentats anteriorment.

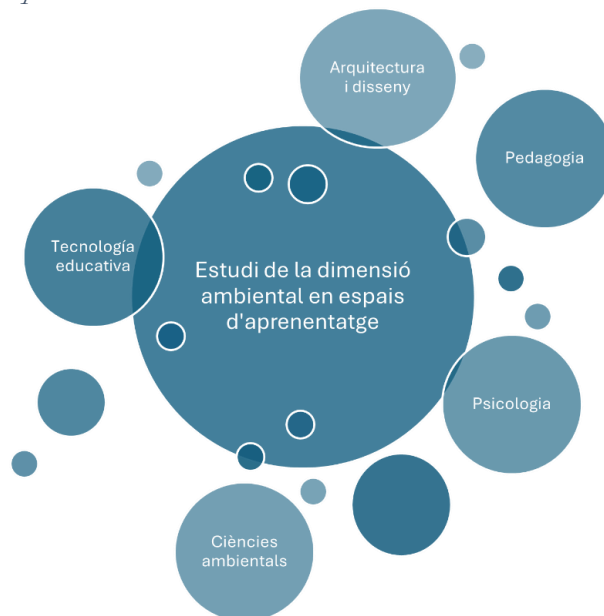
## 1.3 ENFOCAMENT DE LA RECERCA

L'estudi de la influència de la dimensió ambiental en el rendiment acadèmic i les emocions es situa en una intersecció interdisciplinària que integra coneixements, metodologies i tècniques de múltiples camps. Aquesta interdisciplinarietat es fa evident en la diversitat de revistes que publiquen sobre aquests temes, des de la pedagogia fins a les ciències ambientals.

En aquesta recerca, hi convergeixen diverses disciplines. Aquest enfocament interdisciplinari no només és essencial per comprendre i analitzar com les variables ambientals afecten el benestar i rendiment dels estudiants i docents, sinó que també és clau en totes les fases del projecte: des de la planificació i execució dels estudis fins a la interpretació dels resultats. La col·laboració entre disciplines permet integrar coneixements pedagògics, tecnològics i psicològics, facilitant el disseny d'entorns d'aprenentatge més saludables, productius i sostenibles. A continuació es presenta la Figura 1 amb algunes disciplines presents per l'estudi de la dimensió ambiental, que no pretén ser exhaustiu.

**Figura 1**

*Disciplines relacionades amb la dimensió ambiental*



*Nota.* Elaboració pròpia.

En primer lloc, la pedagogia, enfocada en el disseny, implementació i avaluació de pràctiques pedagògiques, es veu enriquida per les troballes sobre les condicions ambientals. Aquestes troballes informen polítiques i pràctiques educatives orientades a millorar l'ambient d'aprenentatge. La tecnologia educativa complementa aquest procés oferint eines i recursos per al monitoratge i optimització dels entorns d'aprenentatge, amb l'ús d'aules intel·ligents que representen un avenç significatiu en la integració de tecnologies per millorar l'experiència educativa.

La psicologia, des de diferents branques, ofereix nivells d'anàlisi i comprensió fonamentals per aquest estudi. La psicologia ambiental explora com l'entorn físic afecta el benestar de les persones (Gifford, 2014), pel que podria aportar coneixement sobre l'impacte de les condicions ambientals en les emocions i la cognició dels estudiants. Per la seva banda, la psicologia educativa se centra en els processos d'educació i en com els factors ambientals poden influir en aquests processos dins dels centres educatius (Coll, 1998). Això inclou investigar com els factors ambientals afecten aquests processos. Finalment, la psicologia cognitiva estudia els processos com la memòria i l'atenció, que són fonamentals per l'aprenentatge (Eysenck i Keane, 2015).

Aquesta tesi se situa en el context de les aules intel·ligents, en el sentit que permeten analitzar com les variables ambientals interiors, incloent-hi la qualitat de l'aire, la temperatura, el soroll i la il·luminació, influeixen en el benestar i el rendiment acadèmic dels estudiants.

És per això que el concepte d'aula intel·ligent ha estat essencial per delimitar l'àrea de recerca i centrar l'estudi en els factors ambientals. La definició proposada per Palau i Mogas (2019) ha estat clau en aquest estudi. Aquests autors suggereixen que un espai d'aprenentatge intel·ligent es compon de tres nivells o dimensions: condicions ambientals, procés pedagògic, i tecnologia. Aquesta definició ha permès ubicar en la dimensió ambiental de manera concreta com objecte d'estudi, enfocant en com les variables ambientals influeixen en l'entorn d'aprenentatge. A partir d'aquesta base, en aquest treball es proposa una elaboració que considera l'aula intel·ligent com un sistema complex. Aquesta perspectiva ofereix una manera complementària d'entendre

l'aula intel·ligent com una unitat que engloba i interconnecta diferents aspectes de l'entorn d'aprenentatge, no només des del punt de vista ambiental, sinó també pedagògic i tecnològic i serà desenvolupada al marc teòric.

## 1.4 FORMAT GENERAL DE LA TESI

Aquesta tesi està organitzada en diversos capítols que integren les publicacions realitzades durant el procés de recerca. El primer capítol és introductori i estableix el context general de la investigació, incloent-hi els objectius i la justificació de l'estudi. El segon capítol presenta el marc teòric que sustenta la recerca, oferint una revisió de la literatura i les teories que fonamenten l'anàlisi de les condicions ambientals i les seves influències en els entorns educatius.

El tercer capítol descriu la metodologia de cada estudi. El quart, aborda els resultats principals de la investigació i a la discussió d'aquests resultats, posant-los en relació amb la literatura existent. Finalment, el cinquè capítol presenta les conclusions per cada estudi, les conclusions generals que integren les aportacions i limitacions de la tesi i s'ofereix una sistematització de les recomanacions.

### 1.4.1 Estil i normes de redacció

En la redacció d'aquesta tesi, s'han seguit diverses directrius per garantir la coherència, claredat i inclusió en l'ús del llenguatge. El document *Criteris multilingües per a la redacció de textos igualitaris de la Xarxa Vives d'Universitats (2019)* ha servit com a guia per assegurar un llenguatge inclusiu i respectuós.

Pel que fa a l'estil de citació i referenciació, s'ha utilitzat les normes de la 7a edició d'APA (*American Psychological Association, 2020*), tal com es habitual en les tesis del Departament de Pedagogia. El format general del text ha seguit les indicacions del

llibre d'estil de les tesis doctorals de la URV (Comissió per al llibre d'estil de les tesis doctorals de la URV, 2008), assegurant així l'adequació a les normes institucionals.

S'ha evitat l'ús d'anglicismes innecessaris per mantenir la coherència en l'idioma de la tesi. Tanmateix, en alguns casos s'han utilitzat acrònims fàcilment reconeixibles en anglès, atès que són termes àmpliament acceptats en la literatura científica.



## 2 MARC TEÒRIC

Es posible concordar -racional o emocionalmente- con Hebe Vessuri cuando declara que 'el ambiente es una categoría existencial', aunque es difícil tomarlo como premisa de un argumento, porque interpretado al pie de la letra colocaría el estudio del ambiente más allá del alcance de la ciencia empírica.

—Rolando García, *Ciencias Sociales y Formación Ambiental*, 1994

Aquest capítol proporciona el marc teòric que sustenta el compendi d'estudis, oferint una exploració dels conceptes que han guiat l'anàlisi i la interpretació de les dades. En primer lloc, es definiran els conceptes generals de clima i aula, establint la seva rellevància en el procés educatiu. A continuació, es desenvoluparà el concepte d'aula intel·ligent, abordant com les tecnologies emergents estan transformant els espais educatius i es presentarà l'elaboració d'aula intel·ligent com un sistema complex.

Es dedicarà un gran apartat als factors ambientals, com la temperatura i humitat, qualitat de l'aire (partícules en suspensió i diòxid de carboni), il·luminació i soroll, incloent-hi els seus efectes sobre les emocions i el rendiment acadèmic - cognitiu dels estudiants, així com sobre els docents.

## 2.1 AULA I ENTORN D'APRENTATGE

Un aula és el context o lloc on es desenvolupen interaccions o processos d'aprenentatge, que pot ser físic, com una aula tradicional, o virtual, com una simulació interactiva o un espai d'aprenentatge immersiu en 3D. Tant en l'entorn físic com en el virtual, la seva estructura i organització poden afavorir o inhibir el procés d'aprenentatge (Spector, 2014). De manera similar, Hansen et al. (2018) defineixen l'entorn d'aprenentatge com la combinació de l'entorn físic, les aules, les activitats d'aprenentatge que i el comportament dels estudiants, que pot afectar o ser afectat per aquestes activitats.

Sembla que hi ha un acord en considerar el clima escolar i d'aula com factors importants per als estudiants, tot i que persisteix una dificultat d'una definició consensuada. A la seva revisió sistemàtica, Cohen (2009) destaca que la majoria de les polítiques educatives dels Estats Units utilitzaven definicions vagues de clima escolar, sovint descrivint-lo com "propici per a l'aprenentatge". Alguns documents mencionaven "experiències subjectives" en les seves definicions, mentre que només uns pocs adoptaven definicions més àmplies i inclusives. El concepte de clima s'associa sovint més a la connexió entre els membres, l'atmosfera, el to i l'ambient de l'escola, però no s'ha parat atenció a les condicions ambientals a l'hora de crear entorns d'aprenentatge eficients, com ja van assenyalar Murillo i Martínez-Garrido (2012).

Tot i així, alguns estudis sí que han considerat la dimensió ambiental com a part del clima escolar, més proper a l'entorn físic. Zullig et al. (2010) resumeixen les dimensions que mesuren el clima escolar i identifiquen diverses, com les *school facilities*, instal·lacions escolars, que inclouen aspectes com la temperatura, l'organització de l'aula, el soroll ambiental, l'estat de l'escola i la decoració.

En aquesta línia, Barrett et al. (2016) demostren que l'ambient físic de l'aula pot tenir un impacte significatiu en el rendiment acadèmic dels estudiants, explicant fins a un 10% de la variabilitat en el seu rendiment en lectura, escriptura i matemàtiques, i fins a un 16% del rendiment general. El disseny físic influeix de manera diferent segons

la matèria: la estimulació visual, incloent el color i la complexitat visual, és especialment rellevant per al rendiment en lectura i escriptura, mentre que la individualització de l'aula, o l'adaptació de l'espai a les necessitats dels estudiants, és clau per al progrés en matemàtiques. També subratllen el principi de naturalitat, que abasta la qualitat ambiental del lloc físic (il·luminació natural, qualitat de l'aire, temperatura, soroll) i la connexió amb la natura (com plantes o vistes exteriors), factors que tenen un efecte positiu en la claredat mental i l'atenció dels estudiants.

Pel que fa a la perspectiva sensorial i espacial, Hoyuelos (2005a) proposa que els ambients educatius són espais on interactuen de manera flexible diverses dimensions humanes, manifestant-se a través de l'elecció conscient d'elements com les formes relacionals, els materials, les textures, els colors, la il·luminació i altres aspectes sensorials, amb l'objectiu de potenciar la convivència pedagògica i cultural dins de les escoles. Hernando Romero (1997, como se cita en Duarte, 2003) analitza l'espai educatiu com un component essencial en les activitats acadèmiques i administratives, argumentant que l'espai físic és inherent a l'excel·lència acadèmica, ja que no tots els espais són adequats per a tots els models educatius.

Finalment, és important destacar que l'estudi dels espais d'aprenentatge és naturalment interdisciplinari. Duarte (2003) subratlla la influència de diverses disciplines, com l'educació ambiental, l'ecologia, la psicologia i la teoria del currículum, en la comprensió dels ambients d'aprenentatge, que van més enllà dels espais escolars tradicionals i obren noves oportunitats d'anàlisi i intervenció educativa. De forma similar, Spector (2014) assenyala que els entorns d'aprenentatge s'han desenvolupat a partir de disciplines com la psicologia de l'aprenentatge, el disseny instruccional i la interacció persona - ordinador, però lamenta que sovint falti planificació estratègica per implementar aquests entorns de manera sostenible i amb suport empíric.

Com es veu, el concepte d'aula com a entorn físic per a l'aprenentatge implica una interacció entre el disseny espacial, les activitats pedagògiques i el comportament dels estudiants. És en aquest context on el concepte de sistema complex comença a adquirir rellevància, ja que permet entendre com aquestes múltiples variables es relacionen i

influeixen mútuament. A més, mesura que la tecnologia s'integra en els espais educatius, el model tradicional d'aula evoluciona cap a l'aula intel·ligent, afegint dimensions a la complexitat del sistema educatiu.

### 2.1.1 Aula intel·ligent

Aquesta tesi s'emmarca en l'àmbit de les aules intel·ligents, espais d'aprenentatge que permeten monitoritzar i analitzar tant les variables ambientals com les relacionades amb estudiants i docents. Els avenços en tecnologies de processament de senyals, tecnologia web i maquinari han transformat les aules tradicionals, millorant la transferència de coneixements i optimitzant el procés d'aprenentatge (Chen et al., 2017). En aquest context, el terme "intel·ligent" fa referència a la integració de tecnologies digitals dins l'entorn educatiu, amb l'objectiu de crear espais interactius i eficients.

Per exemple, autors com Huang et al. (2019) defineixen l'aula "S.M.A.R.T" (*Showing, Manageable, Accessible, Real-time Interactive, and Testing*) com un entorn on l'espai físic està equipat amb tecnologies que faciliten la interacció en temps real i recullen el coneixement col·lectiu dels estudiants (Lui & Slotta, 2014). Aquest tipus d'aula permet millorar la connexió i la interacció entre estudiants i professors, adaptant-se de manera flexible a les necessitats individuals dels estudiants, facilitant així un aprenentatge actiu i eficaç (Spector, 2014).

D'altra banda, Koper (2014) subratlla que un entorn d'aprenentatge intel·ligent ha d'incorporar dispositius digitals adaptatius que s'ajustin a l'entorn i facilitin un aprenentatge més ràpid i efectiu. Això es fa possible mitjançant les Interfícies d'Aprenentatge Humà (HLIs), que actuen com a pont entre els estímuls externs i els processos interns dels estudiants, garantint una retroalimentació contínua. En aquesta línia, Kaur et al. (2022) assenyalen que les tecnologies presents en les aules intel·ligents, en sinergia, milloren les tècniques d'ensenyament i contribueixen a crear una experiència d'aprenentatge més rica i efectiva, desenvolupant habilitats i augmentant el

nivell acadèmic dels estudiants. De manera similar, Mircea et al. (2021) defineixen l'aula intel·ligent com una combinació de diverses tecnologies avançades que optimitzen l'experiència d'aprenentatge tant per a estudiants com per a docents.

A més, les aules intel·ligents també ofereixen un control dinàmic dels factors ambientals. Mitjançant l'ús de tecnologies com l'IdC, es poden recopilar dades en temps real sobre variables com la temperatura, la il·luminació i la qualitat de l'aire, ajustant-les automàticament per optimitzar l'entorn d'aprenentatge. Això no només permet crear espais més saludables, sinó que també personalitza l'experiència educativa segons les necessitats dels estudiants (Burunkaya i Duraklar, 2022).

Un altre exemple és el sistema presentat per Ritheesh et al. (2023), on un sistema integrat de IdC controla de manera automàtica dispositius com la il·luminació i els ventiladors, estalviant energia en funció de la presència d'estudiants a l'aula. Aquest tipus d'automatització no només optimitza els recursos, sinó que contribueix a la sostenibilitat ambiental en els entorns educatius.

Palau i Mogas (2019) proposen que un espai d'aprenentatge intel·ligent es compon de tres nivells: condicions ambientals (arquitectura, mobiliari i factors ambientals interiors), procés pedagògic (continguts, procés d'ensenyament i aprenentatge, sistemes de suport) i tecnologia (*hardware*, dispositius, *software*, nous paradigmes com la Intel·ligència Artificial i l'IdC). Bautista et al. (2022) en relació amb la percepció dels docents sobre els espais d'aprenentatge intel·ligents a les escoles catalanes, mostra que hi ha una percepció favorable dels aspectes pedagògics i ambientals, especialment pel que fa a la flexibilitat dels espais per a diverses metodologies i la inclusió d'estudiants. No obstant, la percepció de la integració tecnològica és més baixa. També s'observen diferències segons l'edat i el nivell educatiu: els docents més joves valoren millor els aspectes pedagògics, mentre que en l'educació infantil hi ha una percepció més forta dels aspectes ambientals que en secundària.

En base a la conceptualització de Palau i Mogas (2019), que serveix de base per aquest estudi, s'ha enriquit amb la teoria dels sistemes, la qual considera l'aula com un

sistema dinàmic on interactuen múltiples components per generar un entorn d'aprenentatge sinèrgic i enriquidor.

### 2.1.2 Aula intel·ligent com a sistema complex

Per desenvolupar el concepte de sistema complex aplicat a l'aula intel·ligent, s'ha utilitzat l'enfocament teòric de García (1994, 2000, 2006), qui defineix un sistema complex per la interrelació i dependència mútua de diversos processos que funcionen com una totalitat organitzada. Rolando García és un destacat teòric de sistemes complexos que va desenvolupar una metodologia interdisciplinària basada en l'estudi de problemàtiques ambientals i socials. A més, és conegut per escriure amb Jean Piaget l'obra *Psicogènesis e historia de la ciencia*. Tot i que altres autors com Morin i Luhmann han desenvolupat teories molt influents sobre els sistemes complexos, l'elecció de l'obra de García respon a la seva claredat i aplicabilitat en contextos interdisciplinaris com l'educació.

García exemplifica aquesta metodologia interdisciplinària a través de la problemàtica ambiental, destacant la necessitat d'un estudi integrat dels sistemes. Tot i que no s'ha aplicat directament la metodologia de sistemes complexos en aquesta tesi, s'ha considerat aquesta perspectiva per interpretar de manera més sistèmica les interaccions en l'aula intel·ligent entre factors ambientals, pedagògics i tecnològics.

L'anàlisi realitzada se centra en el concepte i la seva aplicabilitat per entendre millor la interacció de les diverses variables estudiades en aquesta tesi, especialment en relació amb la dimensió ambiental. En aquest sentit, la perspectiva de sistemes complexos proporciona una eina valuosa per a una interpretació més profunda, amb el potencial de ser desenvolupada com a metodologia en futurs estudis. La complexitat d'aquests sistemes no només es troba en la diversitat dels seus components, sinó principalment en la manera en què les funcions d'aquests components es defineixen mútuament i depenen les unes de les altres dins del sistema. Aquest tipus de sistemes no solen tenir límits precisos ni un nombre definit de components, i les característiques

dels seus elements sovint no poden ser catalogades de manera inequívoca. Allò que caracteritza un sistema complex és el seu comportament global, resultat de l'activitat conjunta dels seus elements, els quals es relacionen de manera tal que el sistema opera com una unitat coherent i organitzada.

Aquest concepte de sistema complex es pot traslladar a l'aula intel·ligent, un entorn educatiu en què les dimensions pedagògica, tecnològica i ambiental estan interrelacionades i depenen mútuament les unes de les altres, formant una totalitat organitzada. La complexitat d'una aula intel·ligent no resideix únicament en la diversitat de les seves dimensions i components que les conformen, com la il·luminació, el soroll, la qualitat de l'aire i la disposició de l'aula, sinó especialment en la manera en què aquestes dimensions es defineixen i s'influeixen mútuament. A més, les aules intel·ligents no tenen límits estrictament definits, ja que els seus components i les seves interaccions van més enllà de l'espai físic mitjançant la tecnologia, segons les necessitats pedagògiques del moment. Aquesta interdependència genera un comportament global que permet que l'aula funcioni com una unitat coherent, on els canvis en una dimensió poden afectar directament o indirectament les altres, contribuint a un entorn d'aprenentatge dinàmic i adaptatiu.

A continuació es presenten els principis d'organització que estarien presents a l'aula intel·ligent.

### 2.1.2.1 Estratificació

En una aula intel·ligent, els factors que determinen el seu funcionament es poden distribuir en diferents nivells estructurals, cadascun amb les seves pròpies dinàmiques. Per exemple, podem identificar un nivell tecnològic (dispositius digitals, sistemes d'automatització), un nivell pedagògic (metodologies d'ensenyament, dinàmiques d'aprenentatge) i un nivell ambiental (factors com la il·luminació, el soroll i la qualitat de l'aire). Un exemple de la dimensió ambiental en aquest nivell seria com el control automàtic de la il·luminació, en funció de la llum natural disponible, pot afectar l'ambient d'aprenentatge, influenciant el confort visual i la concentració dels estudiants.

Tot i que aquests nivells no són interdefinibles de manera directa, les interaccions entre ells són fonamentals, ja que el comportament d'un nivell pot condicionar les dinàmiques dels nivells adjacents. Així, un canvi en la tecnologia utilitzada a l'aula pot influir en les metodologies pedagògiques, i viceversa.

### 2.1.2.2 Articulació interna

El funcionament d'una aula intel·ligent sovint comença a ser estudiat a partir d'una situació particular o un conjunt de fenòmens que es manifesten en un nivell específic d'organització, que podríem designar com a nivell base. En aquest nivell, els factors com la interacció entre estudiants i tecnologia, la disposició de l'aula o les condicions ambientals es poden agrupar en subsistemes. Un exemple de l'articulació interna en la dimensió ambiental és l'ús de sensors per monitoritzar la qualitat de l'aire (nivells de CO<sub>2</sub>, humitat), que constitueix un subsistema dins del nivell ambiental. Aquest subsistema pot alertar sobre la necessitat de ventilar l'aula, afectant així tant el benestar físic i emocional dels estudiants. Aquests subsistemes, com el sistema de gestió d'aprenentatge (LMS) o els sensors ambientals, actuen com subtotalitats que es troben altament interconnectades dins del mateix nivell. Les relacions entre aquests subsistemes constitueixen l'estructura d'aquest nivell particular del sistema, contribuint al funcionament coherent de la aula intel·ligent en el seu conjunt.

### 2.1.2.3 Condicions de contorn

Les interaccions entre els diferents nivells de l'aula intel·ligent es realitzen a través de diversos tipus de fluxos, que poden incloure fluxos d'informació (dades generades per sensors, informes de rendiment acadèmic), fluxos d'energia (necessitats energètiques dels dispositius tecnològics), i fins i tot fluxos de polítiques (directrius educatives, ambientals o normes de funcionament de l'aula). Un exemple és com els fluxos de dades dels sensors de soroll es poden utilitzar per ajustar les normatives d'ús d'espais comuns, amb l'objectiu de minimitzar el soroll i millorar la concentració dels



estudiants. Aquestes interaccions exerceixen una influència sobre cada nivell i constitueixen les condicions de contorn o límits d'aquest nivell.

### 2.1.2.4 Evolució

Les aules intel·ligents, com a sistemes complexos, experimenten transformacions contínues al llarg del temps, reflectint una evolució dinàmica que no és simplement lineal ni gradual. Aquestes aules evolucionen no només a través de canvis progressius, sinó també per una sèrie de desequilibris i reequilibris que condueixen a reorganitzacions successives del seu funcionament i estructura. Després de cada reorganització, l'aula intel·ligent pot romandre en un estat de relatiu equilibri dinàmic, on les fluctuacions es mantenen dins de certs límits. Aquest equilibri es manté fins que una nova pertorbació, que superi aquests límits, desencadeni un altre desequilibri, forçant així una nova fase d'ajust i reorganització.

Per exemple, la implementació de sistemes de control automàtic del clima interior per millorar la qualitat de l'aire i la il·luminació, és un canvi que inicialment pot provocar que docents i estudiants necessitin adaptar-se a la nova eina. Aquest procés d'adaptació pot portar a una reorganització de la disposició de l'aula o de les activitats. I, amb el temps, el sistema es reorganitza, ajustant els paràmetres ambientals per aconseguir un nou equilibri que millori tant el benestar dels estudiants com l'eficiència. Aquest equilibri es manté fins que una pertorbació, com un canvi significatiu en les condicions ambientals, superi els límits del sistema i forci una nova fase de reajustament i reorganització.

## 2.2 FACTORS AMBIENTALS I LA SEVA INFLUÈNCIA

Tot i que aquest estudi va avaluar les variables ambientals per separat, aquesta decisió va ser necessària per entendre l'impacte específic de cada variable en el rendiment acadèmic i el benestar emocional. Aquesta separació metodològica permet una anàlisi

més precisa dels efectes individuals de la temperatura, la humitat, la qualitat de l'aire, el soroll i la il·luminació. No obstant això, en el context natural de les aules, aquestes variables no actuen de manera aïllada, sinó que estan interrelacionades, la qual cosa influeix de manera global en l'experiència d'aprenentatge i en el confort. Per això, és fonamental reconèixer i gestionar aquests factors de manera integrada, ja que les investigacions han demostrat que els factors ambientals a les aules no actuen de manera aïllada, sinó que estan interrelacionats. A continuació, es presenten alguns estudis que exemplifiquen aquestes interaccions.

La revisió de Frontczak i Wargocki (2011) va assenyalar que el confort tèrmic no només depèn de variables físiques, sinó també de factors socials, com les relacions amb els superiors i els companys, el nivell d'educació dels usuaris i la pressió temporal; la percepció de la qualitat de l'aire es veu afectada per l'ambient psicosocial i l'estrès laboral, mentre que el confort visual depèn de l'edat i el tipus de feina. També van destacar que el confort acústic pot variar segons el país d'origen dels ocupants.

En aquesta línia, Liu et al. (2022) van trobar que la temperatura de color correlacionada (TCC) interactua amb la temperatura ambiental per afectar la sensació tèrmica i el rendiment cognitiu. Altres, com Golasi (2021), han demostrat que diferents TCC poden modificar la percepció de la temperatura de l'aire, destacant com la il·luminació afecta la sensació tèrmica dels ocupants. Huebner et al. (2016) van afegir que la TCC també impacta el comportament adaptatiu, ja que sota una llum més freda, els participants van tendir a utilitzar més roba per ajustar-se al seu confort tèrmic.

D'altra banda, Wang et al. (2018) van mostrar que la interacció entre el color de les parets i la temperatura de l'aire pot canviar significativament la percepció tèrmica, evidenciant que els factors visuals també influeixen en la sensació tèrmica dels usuaris.

Hi ha molts factors que poden influir en el rendiment acadèmic dels estudiants però la qualitat ambiental interior (IEQ, per les sigles en anglès, *Indoor Environmental Quality*) de les aules, incloent-hi les condicions tèrmiques, acústiques i d'il·luminació, pot influir positivament en l'ensenyament i l'aprenentatge (Lee, 2010), està vinculada a

una major satisfacció i a un aprenentatge percebut millor (Choi et al., 2014). Marchand et al. (2014) van trobar que condicions fora de la zona de confort en l'entorn de l'aula influeixen negativament en les emocions i el rendiment dels estudiants en la comprensió auditiva en comparació amb els que estaven en condicions ambientals normals.

Per aconseguir condicions òptimes, és fonamental abordar factors com la temperatura, la qualitat de l'aire i el soroll de manera integrada. Dorizas et al. (2015) van avaluar la qualitat ambiental interior a través de diverses variables, incloent la percepció dels estudiants, la salut i el rendiment acadèmic.

Segons les recomanacions de Moreno i Palau (2023), el disseny i l'ús de les aules han de tenir en compte una sèrie de factors per tal de crear espais estimulants, versàtils, flexibles, segurs, còmodes i sostenibles. Això implica que tots els agents responsables de la creació, construcció i configuració d'aquests entorns han de ser conscients de la multitud de factors ambientals sobre els quals poden actuar per optimitzar les condicions d'aprenentatge.

Finalment, la necessitat d'una gestió integrada subratlla la importància d'integrar tecnologies avançades en els entorns d'aprenentatge, apropant-nos al concepte d'aula intel·ligent, on les condicions ambientals, el procés pedagògic i la tecnologia s'interrelacionen (Palau i Mogas, 2019). Per exemple, Burunkaya i Duraklar (2022) van implementar un incubador d'aula intel·ligent (SCI) per a la mesura i control de variables ambientals, demostrant com la tecnologia pot ser utilitzada per millorar l'ambient d'aprenentatge.

### 2.2.1 Temperatura i humitat

L'interès per estudiar la temperatura i els nivells de confort tèrmic de les instal·lacions educatives té com a objectiu millorar les condicions dels espais interiors en els quals tant els docents com els estudiants passen una gran part del seu dia (Chatzidiakou et al., 2012; Chen et al., 2018; Wargocki et al., 2019).

Per entendre com les condicions ambientals influeixen en el benestar i el rendiment de les persones en espais tancats, cal definir alguns conceptes. La temperatura seca (o temperatura de l'aire) és la temperatura mesurada per un termòmetre exposat a l'aire però protegit de la radiació directa. És la mesura més comuna per descriure l'estat tèrmic d'un espai, utilitzant-se com a referència en sistemes de climatització i confort tèrmic en espais interiors (Real Decreto 178/2021, de 23 de març). D'altra banda, la humitat relativa es la proporció de vapor d'aigua present a l'aire en comparació amb la quantitat màxima que aquest pot contenir a una temperatura determinada. Es mesura en percentatge i afecta directament la sensació tèrmica dels ocupants. Una humitat relativa excessivament alta o baixa pot generar incomoditat o fins i tot problemes de salut (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, 2021*).

L'estudi de la temperatura a l'aula i les seves conseqüències sobre el benestar i el rendiment ha estat un tema d'interès des del segle passat. Earthman (2002) ja destacava la importància de mantenir un ambient tèrmic adequat per prevenir el malestar entre els estudiants i millorar el rendiment acadèmic. Un exemple primerenc d'aquesta preocupació es troba en la Comissió de Ventilació de Nova York, que l'any 1931 va establir que quan la temperatura de l'aula no es mantenia entre 19,4 °C i 22,8 °C, es registraven més casos de malalties entre els estudiants, evidenciant la relació entre el confort tèrmic i la salut (Earthman, 2002).

La recerca contemporània ha establert que el confort tèrmic a les aules s'assoleix quan la temperatura oscil·la entre 20 °C i 26 °C (Muñoz, 2018), tot i que hi ha intervals variats de confort. Per exemple, 26,5°C com la temperatura màxima en clima tropical (Kamaruzzaman & Tazilan, 2013), entre 20°C i 31°C (Mishra & Ramgopal, 2014). En l'apartat d'estàndards es presenten els intervals recomanats de temperatura i humitat, que són clau per garantir espais d'aprenentatge adequats.

Diversos estudis han confirmat que les condicions ambientals, especialment la temperatura, determinen la salubritat i el confort dels espais. Wang et al. (2017) subratllen que la temperatura fora dels límits acceptables pot augmentar el risc de

desconfort i malalties, com ara ulls irritats, cansament, i símptomes de grip o calor, tots ells factors que poden comprometre el benestar dels estudiants (Bidassey-Manilal, 2016).

Quan els estudiants perceben un desconfort tèrmic, això pot conduir a comportaments estressants que afecten el seu aprenentatge (Amasuomo, 2016). Així mateix, Wang (2017) i Kim i De Dear (2017) destaquen la importància de mantenir un ambient tèrmic confortable, amb Wang identificant paràmetres de disseny adequats per als sistemes de calefacció i Kim i De Dear subratllant la preferència dels estudiants per temperatures més fresques i l'ús de l'aire condicionat.

Un dels efectes més notables de l'increment de la temperatura és el seu impacte negatiu sobre la salut, especialment en la fatiga (Fujii et al., 2015). Una temperatura superior als valors recomanats empitjora l'aprenentatge, ja que redueix el ritme dels estudiants en les activitats, fent-los sentir més cansats (Aparicio-Ruiz et al., 2021). El rendiment laboral també es veu afectat per temperatures superiors a 26 °C i nivells baixos d'humitat relativa, especialment per sota del 40% (Gupta et al., 2018). Així mateix, temperatures elevades associades amb alts nivells d'humitat relativa poden incrementar la fatiga en persones sanes (González-Hidalgo et al., 2011), sent la fatiga una important alarma biològica per a la salut que pot deteriorar la qualitat de l'ensenyament i generar baixes per malaltia entre el professorat (Leme & Maia, 2015).

Noelke et al. (2016) van trobar que temperatures superiors a 21 °C redueixen les emocions positives (per exemple, l'alegria, la felicitat), augmenten les emocions negatives (per exemple, l'estrès, la ira) i incrementen la fatiga. A més, s'ha trobat que l'exposició prolongada a altes temperatures ambientals en zones urbanes es correlaciona amb comportaments agressius en infants i adolescents (Younan et al., 2018).

Complementàriament, Uzelac et al. (2015) indiquen que una temperatura i una humitat més baixes milloren la concentració, mentre que Cui et al. (2013) relacionen la temperatura amb la motivació i el rendiment. Aquesta relació inversa entre temperatura

i rendiment suggereix que controlar aquests factors pot tenir un impacte significatiu en l'eficàcia de l'ensenyament i l'aprenentatge.

Les condicions tèrmiques no només afecten negativament els estudiants directament, sinó també indirectament a través de les percepcions dels docents. Boix-Vilella (2021) va trobar que la temperatura i la humitat interiors, així com la diferència entre la temperatura exterior i interior, poden influir en l'estat d'ànim i la fatiga dels docents, cosa que pot afectar la qualitat de l'ensenyament i provocar una percepció més negativa del comportament dels estudiants. Aquesta situació pot conduir a una pèrdua d'interès per part dels estudiants, que acaben demanant sortir per beure aigua o anar al pati abans del període establert per a això (Biondi et al., 2015).

### 2.2.1.1 Estàndards i normatives

Segons la guia de disseny per escoles de l'ASHRAE (2023), es recomana mantenir la humitat relativa entre el 40% i el 60% per reduir la propagació de patògens i millorar la qualitat de l'aire interior. Aquest rang és considerat òptim per reduir la transmissió de malalties i millorar la funció del sistema immunològic dels ocupants. No obstant això, la investigació sobre els nivells òptims d'humitat relativa continua sent activa, ja que els nivells de humitat inferiors al 40% s'han associat amb una major transmissió de virus, una menor eficàcia de la neteja de superfícies i una major supervivència de patògens.

És fonamental mantenir i revisar adequadament els sistemes de humidificació i deshumidificació per evitar problemes com el creixement microbià i assegurar-se que no es produeixi condensació dins de l'edifici, la qual cosa podria danyar la seva estructura.

Durant l'estiu, es recomana mantenir les aules a una temperatura de 24°C amb una humitat relativa entre el 40% i el 60%, amb una guia principal de disseny que apunta al 50%. A l'hivern, la temperatura recomanada és de 22°C amb una humitat relativa entre el 40% i el 50%, utilitzant sistemes de humidificació actius per aconseguir aquests

nivells. En climes més freds, mantenir la humitat relativa del 40% pot resultar complicat sense que es formi condensació, cosa que subratlla la importància de revisar el disseny de l'envoltant de l'edifici per evitar danys estructurals.

El Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE) regula les condicions de disseny necessàries per assegurar el confort tèrmic en espais interiors. Aquest reglament estableix que la temperatura operativa i la humitat relativa han de ser dissenyades segons l'activitat metabòlica de les persones, el seu grau de vestimenta i el percentatge estimat de persones insatisfetes.

Per a activitats metabòliques sedentàries, com les que es donen en un entorn educatiu, el reglament estableix uns rangs de temperatura operativa que varien segons la temporada: entre 21°C i 23°C a l'hivern, i entre 23°C i 25°C a l'estiu, amb una humitat relativa adequada a cada estació. A més, es permet ajustar aquests valors en funció de les condicions exteriors, sempre mantenint una humitat mínima del 35% en períodes d'hivern molt freds.

El RITE establia rangs específics per a la humitat relativa, amb un màxim del 40% al 50% a l'hivern i un mínim del 45% al 60% a l'estiu, ja que el control de la humitat mitjançant humectació o deshumectació requereix un consum energètic significatiu (Reial decret 1027/2007). No obstant això, si els valors de humitat s'assoleixen sense consum d'energia addicional, aquests límits no són obligatoris, permetent variacions més grans, com arribar al 60% a l'hivern o al 40% a l'estiu. Amb el Reial decret-llei 14/2022, aquest rang ha estat ampliat entre el 30% i el 70%, amb l'objectiu de promoure l'estalvi energètic.

La norma ISO 7730, publicada per l'Organització Internacional de Normalització (ISO), proporciona una metodologia per avaluar el confort tèrmic en espais interiors mitjançant dos índexs principals:

- PMV (*Predicted Mean Vote*): És un índex que prediu la valoració mitjana d'un grup de persones sobre el seu confort tèrmic en una escala que va de -3 (molt fred) a

+3 (molt calor). Aquest indicador permet estimar com se sentirà la majoria d'ocupants d'un espai en determinades condicions ambientals.

- PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*): Aquest índex calcula el percentatge estimat de persones que se sentiran insatisfetes amb l'ambient tèrmic d'un espai, tot i les condicions estiguin optimitzades per a la majoria.

La ISO 7730 és una norma flexible, que permet ajustar les condicions ambientals segons les necessitats del lloc i dels seus ocupants.

## 2.2.2 Qualitat de l'aire

Diversos factors ambientals poden influir en el rendiment acadèmic dels estudiants, però la qualitat ambiental interior de les aules, en particular, ha demostrat tenir un impacte significatiu tant en els resultats de l'ensenyament com en l'aprenentatge (Brink et al, 2021). Els factors ambientals, com la qualitat de l'aire, representen una influència directa en el procés d'ensenyament-aprenentatge i ofereixen oportunitats importants per a la innovació a les aules (Mogas-Recalde, 2021).

Els estudis sobre la qualitat ambiental interior a les escoles sovint ressalten problemes com ara la ventilació inadequada, temperatures incorrectes i la presència de partícules en suspensió (Catalina et al., 2022). Les escoles urbanes, en particular, s'enfronten a concentracions més altes de PM en comparació amb les escoles rurals, amb un 57% dels enquestats urbans informant de la presència de partícules a les aules (Catalina et al., 2022). A més, la resuspensió de pols deguda al moviment humà és una font significativa de PM en alguns entorns interiors, especialment a les escoles (WHO, 2021). Aquests resultats subratllen el problema generalitzat de la mala qualitat de l'aire en els entorns educatius i reforcen la necessitat de millorar la ventilació, ja que els nivells actuals sovint es troben per sota dels estàndards mínims recomanats (Catalina et al., 2022).



Vasile et al (2024) també subratllen la importància de millorar la qualitat de l'aire a les escoles, destacant que els infants són especialment sensibles a contaminants com els compostos orgànics volàtils (COV, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>10</sub>). El seu estudi va revelar que sovint aquests contaminants superen els límits reguladors, deixant clara la necessitat de millorar la ventilació i la gestió de la qualitat de l'aire en els entorns educatius.

### 2.2.2.1 Matèria particulada i diòxid de carboni

La matèria particulada (PM) fa referència a una barreja de partícules sòlides i gotes de líquid suspeses a l'aire, que inclouen pols, brutícia, sutge, fum i altres partícules en aerosol. Aquestes partícules es classifiquen segons el seu diàmetre, de manera que PM<sub>x</sub> (on x representa 10, 2.5, 1 o 0.1) indica la massa de partícules per unitat de volum d'aire amb un diàmetre inferior a x micròmetres. Les partícules PM<sub>10</sub>, també conegudes com a partícules inhalables, es dipositen habitualment al tracte respiratori toràcic o superior, mentre que les partícules PM<sub>2.5</sub>, conegudes com a partícules fines inhalables, poden penetrar més profundament als pulmons, arribant als alvèols. Les partícules ultrafines, o PM<sub>0.1</sub>, tenen un diàmetre inferior a 0,1 µm i plantegen riscos per a la salut únics, ja que poden infiltrar tant els pulmons com el torrent sanguini, cosa que podria comportar efectes sistèmics per a la salut (Schraufnagel et al., 2020)

El CO<sub>2</sub>, que representa aproximadament el 0,04% de l'atmosfera, és un gas compost de carboni i oxigen. En entorns interiors, els nivells de CO<sub>2</sub> s'utilitzen sovint com a indicadors de la qualitat de la ventilació, ja que les concentracions elevades poden indicar un flux d'aire inadequat en relació amb el nombre d'ocupants. Una ventilació insuficient pot provocar nivells més alts de CO<sub>2</sub>, que, al seu torn, afecten tant el confort com la funció cognitiva (Ragazzi et al., 2017).

### 2.2.2.2 Influència de la qualitat de l'aire

L'impacte emocional dels factors atmosfèrics, com el CO<sub>2</sub> i les PM, ha estat menys documentat, i els efectes varien en funció del tipus i de les condicions ambientals. S'ha demostrat que l'exposició a nivells alts de CO<sub>2</sub> pot desencadenar respostes emocionals similars a les atacs de pànic. Segons Colasanti et al. (2012), inhalar nivells elevats de CO<sub>2</sub> pot replicar la por i el malestar característics dels episodis de pànic espontanis. Això suggereix que una mala qualitat de l'aire interior (IAQ), especialment en espais tancats com les aules, pot tenir conseqüències emocionals profundes per als ocupants.

Pel que fa a les PM, la recerca ha demostrat que les PM<sub>2.5</sub> són especialment nocives per al benestar emocional. Li et al. (2024) va observar que a Pequín, les respostes emocionals negatives augmentaven quan els nivells de PM<sub>2.5</sub> assolien aproximadament 150 a l'índex AQI, un nivell classificat com a "insalubre". A més, diferents grups socials van mostrar sensibilitats diverses pel que fa al benestar emocional, amb emocions negatives més pronunciades quan els nivells d'AQI superaven els 200, classificats com a "molt insalubres". De manera similar, Shan et al. (2021) va trobar un vincle significatiu entre els nivells elevats de PM<sub>2.5</sub> i la intensitat emocional, tal com es reflecteix en l'augment de publicacions negatives a les xarxes socials durant períodes de contaminació alta. Aquestes troballes subratllen com una qualitat de l'aire deficient pot augmentar les emocions negatives en entorns urbans, especialment en condicions de contaminació severa.

En relació amb les PM<sub>10</sub>, Kulebanova et al. (2024) va observar que durant l'hivern, nivells més alts de PM<sub>10</sub> van contribuir a un augment del sentiment públic negatiu, reflectit en la cobertura mediàtica. Aquesta investigació destaca com la contaminació atmosfèrica pot influir no només en les emocions individuals, sinó també en la percepció col·lectiva, amb els esforços de reducció de la contaminació donant lloc a emocions i percepcions públiques més positives.

La contaminació atmosfèrica en general, que inclou una varietat de factors com les PM i el diòxid de nitrogen (NO<sub>2</sub>), també s'ha vinculat a impactes emocionals i de

salut mental significatius. Szyszkowicz et al. (2020) va revelar una forta associació entre l'exposició a curt termini a contaminants urbans i un augment de les visites d'emergència per problemes de salut mental entre joves de 8 a 24 anys. Això suggereix que les poblacions més joves són particularment vulnerables a les conseqüències emocionals i psicològiques de la contaminació atmosfèrica.

Un estudi de Ng et al. (2024) va introduir el concepte de Sensibilitat Emocional a la Contaminació Atmosfèrica (ASAP), que mesura les fluctuacions emocionals en resposta als canvis diaris en la contaminació. Les persones amb més ASAP experimenten canvis emocionals més pronunciats quan els nivells de contaminació varien. Aquest constructe subratlla la variabilitat en la manera en què les persones reaccionen emocionalment a la contaminació, suggerint que la sensibilitat a la qualitat de l'aire pot influir de manera significativa en el benestar emocional.

Els estats emocionals en si mateixos també poden modular els efectes de la contaminació atmosfèrica. Cakmak et al. (2016) va demostrar que les persones amb un benestar emocional més baix, com aquelles que experimenten infelicitat, són més vulnerables als efectes negatius de la contaminació sobre la salut física, particularment en la funció pulmonar i la pressió arterial. En canvi, les persones més felices van mostrar efectes adversos menys pronunciats, destacant la interacció entre la salut emocional i els estressors ambientals.

Finalment, les condicions ambientals de les aules tenen un paper important en la configuració del compromís emocional dels estudiants i el seu benestar general. Carton et al. (2023) van trobar que la temperatura, l'entalpia de l'aire i la humitat afectaven significativament el vigor i la dedicació dels estudiants a les seves activitats. Les temperatures més altes es van relacionar amb una reducció de l'energia i la concentració, mentre que l'augment de l'entalpia de l'aire i la humitat es van associar positivament amb la dedicació i el vigor. A més, els nivells elevats de compostos orgànics volàtils totals es van associar amb una disminució de la dedicació, suggerint que una mala qualitat de l'aire interior pot afectar el compromís emocional i cognitiu en entorns educatius.

Tot i que existeix una àmplia investigació sobre l'impacte de la mala qualitat ambiental interior en la funció cognitiva i la salut general, els estudis que se centren en els efectes emocionals són relativament escassos.

### 2.2.2.3 Estàndards i normatives

Segons la guia pel disseny per escoles elaborada per *Technical Committee 9.7* (2023) de l'ASHRAE, un dels aspectes clau és l'enfocament prioritari de la instal·lació de sensors d' IAQ, com els utilitzats en el nostre estudi, per garantir un equilibri òptim entre eficiència energètica i qualitat de l'aire. Aquests sensors monitoritzen paràmetres essencials com PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>0.5</sub>, CO<sub>2</sub>, temperatura, humitat i TVOCs. Es considera imprescindible la recopilació de dades durant almenys sis mesos, tant en períodes d'ocupació com de no ocupació, per establir un perfil base que assegurí un ambient d'aprenentatge saludable i productiu.

La implementació d'aquests sensors requereix la col·laboració entre enginyers de disseny, gestors d'instal·lacions, arquitectes i personal d'operacions. Aquest enfocament basat en dades permet la monitoratge contínuu i l'ajust de les condicions ambientals per mantenir la salut i el benestar dels estudiants.

L'Organització Mundial de la Salut (OMS) ha establert les *Air Quality Guidelines* (AQG) amb l'objectiu de proporcionar recomanacions basades en l'evidència per limitar l'exposició als principals contaminants atmosfèrics i reduir-ne els efectes adversos sobre la salut. Publicada el 2021, aquesta guia actualitza els nivells recomanats d'exposició per a contaminants com les PM, l'ozó (O<sub>3</sub>), el diòxid de nitrogen (NO<sub>2</sub>), el diòxid de sofre (SO<sub>2</sub>) i el monòxid de carboni (CO). A la taula 2, es presenten les recomanacions específiques per a les PM, que són rellevants per al nostre estudi.

#### Taula 2

*Nivells recomanats de PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>10</sub> i la seva equivalència en ppm*

| Partícula                             | Exposició | Nivell AQG (µg/m <sup>3</sup> ) | Equivalent ppm |
|---------------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> , µg/m <sup>3</sup> | Anual     | 5                               | 0.0489         |

|                                       |          |    |        |
|---------------------------------------|----------|----|--------|
| PM <sub>2.5</sub> , µg/m <sup>3</sup> | 24 hores | 15 | 0.1467 |
| PM <sub>10</sub> , µg/m <sup>3</sup>  | Annual   | 15 | 0.0367 |
| PM <sub>10</sub> , µg/m <sup>3</sup>  | 24 hores | 45 | 0.1100 |

*Nota.* Elaboració pròpia a partir de les dades de AQG de l'OMS (2021).

L'estàndard del *European Committee for Standardization* (CEN) classifica la qualitat de l'aire interior (IAQ) en tres categories basades en la concentració de CO<sub>2</sub> i la temperatura. Els nivells acceptables segons aquesta normativa són (Taula 3):

**Taula 3**

*Categories de la qualitat de l'aire segons CO<sub>2</sub> i temperatura*

| Categoria                           | CO <sub>2</sub> Concentració<br>(per sobre de l'exterior,<br>ppm) | CO <sub>2</sub> Concentració<br>(valors absoluts, ppm) | Temperatura (°C) |
|-------------------------------------|---|--|------------------|
| 1a categoria<br>(Qualitat alta)     | 550   | 1030   | 21–23            |
| 2a categoria<br>(Qualitat moderada) | 800   | 1280   | 20–24            |
| 3a categoria<br>(Qualitat baixa)    | 1350  | 1830   | 19–25            |

*Nota.* Elaboració pròpia.

Per últim, la Comissió Europea, en línia amb el Pacte Verd Europeu, va establir l'objectiu de reduir la contaminació de l'aire a nivells que no siguin perjudicials per a les persones ni per al medi ambient abans de 2050. L'any 2022, la Comissió va proposar la revisió i fusió de les directives sobre qualitat de l'aire ambient (2004/107/CE i 2008/50/CE), establint nous límits vinculants per a 2030 per alinear-se amb les recomanacions de l'OMS esmentades abans (Consell d'Europa, 2024).

### 2.2.3 Il·luminació

La il·luminació a l'aula és un dels factors ambientals amb major influència en el procés d'aprenentatge, ja que afecta tant el rendiment cognitiu com el benestar físic i emocional dels estudiants. En aquest sentit, diversos estudis han evidenciat aquests efectes, com es descriu a continuació. Barrett et al. (2015) argumenten que factors com la il·luminació, la qualitat de l'aire i l'acústica són determinants per a l'aprenentatge, millorant la concentració i la claredat mental dels estudiants. En aquest context, la temperatura de color correlacionada (TCC) ha rebut una atenció especial. Choi i Suk (2016) evidencien que la llum freda (TCC alta) promou l'alerta i la concentració, mentre que la llum càlida tendeix a crear un ambient més relaxat, propici per a tasques que requereixen menys esforç cognitiu.

Aquest efecte no només es limita als processos cognitius, sinó que també influeix en el benestar físic dels estudiants. Lekan-Kehinde i Asojo (2021) destaquen com la il·luminació adequada pot influir en la producció de vitamina D, la regulació de la temperatura corporal i el confort visual. Aquest vincle entre il·luminació, salut física i rendiment cognitiu reforça la necessitat de considerar la llum com un factor integral en el disseny d'aules.

#### 2.2.3.1 Efectes de la temperatura de color correlacionada per àrees de rendiment

El rendiment acadèmic dels estudiants es veu influït per múltiples factors ambientals, entre els quals la temperatura de color correlacionada (TCC) juga un paper clau. La TCC, que pot variar des de tons càlids grocs fins a tons freds blaus, té un impacte directe en les funcions cognitives com l'atenció, la concentració i el rendiment en àrees com les matemàtiques i la lectura. Com es veurà a continuació, la il·luminació a l'aula,

en regular la TCC, pot millorar o dificultar el rendiment dels estudiants, depenent de la tasca que es realitzi.

L'atenció i la concentració són habilitats cognitives fonamentals per a l'aprenentatge, i els estudis han evidenciat que la TCC alta afavoreix aquestes capacitats. Monteoliva et al. (2016) van realitzar un estudi en nens i van demostrar que una TCC de 6500K millora significativament l'eficiència atencional en comparació amb una TCC més baixa de 4000K. Aquesta troballa suggereix que la llum freda afavoreix un major enfocament en els estudiants, mentre que el nivell d'il·luminació no va mostrar un impacte significatiu en l'atenció. De manera similar, Liu et al. (2022), en un estudi amb estudiants universitaris, van trobar que les TCC més altes (5800K i 6500K) milloren notablement la concentració en tasques cognitives, mentre que les TCC més baixes (3000K a 3700K) promouen la relaxació, cosa que pot ser útil per a activitats que no requereixen tanta concentració.

Keis et al. (2014) van concloure que la il·luminació enriquida amb blau, associada amb TCC altes, afavoreix la velocitat de processament i la concentració en tasques cognitives, encara que no afecta directament la memòria a curt termini. Aquests estudis en conjunt reforcen la idea que una TCC alta és més adequada per millorar l'atenció en contextos educatius, especialment en tasques que demanden alts nivells de concentració.

L'impacte de la TCC també s'ha observat en el rendiment en matemàtiques, una disciplina que requereix habilitats lògiques i numèriques. Choi i Suk (2016), en un estudi amb nens d'entre 9 i 10 anys, van demostrar que una TCC de 6500K millorava significativament el rendiment en proves matemàtiques en comparació amb TCC més baixes de 3500K i 5000K. Aquest resultat suggereix que la llum freda és particularment eficaç per afavorir el pensament lògic i analític.

Per la seva banda, Hviid et al. (2021) també van reportar millores significatives en les habilitats matemàtiques dels estudiants sota condicions de TCC freda (4900K) combinada amb alta ventilació, cosa que va portar a un increment de l'11.8% en el

rendiment matemàtic. Aquests resultats posen de manifest que no només la TCC influeix en el rendiment, sinó que la combinació amb altres factors ambientals, com la ventilació, també juga un rol important en la millora de les habilitats matemàtiques.

El rendiment en lectura també ha estat influït per la TCC. Mott et al. (2012) van explorar l'impacte de la il·luminació en la lectura de nens de tercer grau, trobant que la il·luminació dinàmica millorava considerablement la fluïdesa i la comprensió lectora. En un estudi posterior, Mott et al. (2016) van demostrar que una configuració de 6500K i 1000lx resultava ser més efectiva per augmentar la concentració i el rendiment en proves de lectura en comparació amb configuracions més tènues de 3000K i 500 lx. Això reforça la idea que la TCC alta afavoreix l'enfocament necessari per a activitats com la lectura, especialment en aules on es requereixen alts nivells de concentració.

Viola et al. (2008) van confirmar que la il·luminació enriquida amb blau no només millora el rendiment cognitiu, sinó que també té un efecte positiu en el benestar dels estudiants, cosa que reforça la importància d'un ambient ben il·luminat per a l'aprenentatge de la lectura.

Finalment, l'impacte de la TCC també s'ha estudiat en relació amb el rendiment en tasques complexes i el canvi de tasques. Harstein et al. (2021) van investigar com la TCC influeix en nens de 4,5 a 5,5 anys, centrant-se en l'atenció sostinguda i el canvi de tasques. Mentre que la TCC no va tenir un efecte significatiu en l'atenció sostinguda, la exposició a una TCC alta (5000K) va millorar de manera notable la capacitat dels nens per canviar de tasca, amb un increment del 15.2% en la precisió en comparació amb aquells exposats a TCC més baixa.

### 2.2.3.2 Il·luminació dinàmica

L'ús de il·luminació dinàmica en entorns educatius està directament relacionat amb el concepte d'aules intel·ligents, on la tecnologia, incloent-hi la il·luminació, s'adapta a les necessitats pedagògiques específiques de cada situació. Cebrián et al. (2020) defineixen les aules intel·ligents com espais d'aprenentatge equipats amb dispositius digitals que



milloren i optimitzen el procés d'ensenyament. La il·luminació, juntament amb l'acústica i la qualitat de l'aire, forma part d'aquest ecosistema tecnològic que busca millorar el rendiment dels estudiants.

Estudis com el de Sun et al. (2020) destaquen la importància dels sistemes d'il·luminació LED dinàmics, que permeten ajustar la brillantor i la TCC segons el context d'aprenentatge, més enllà de simplement optimitzar el consum energètic. Aquests sistemes són essencials en una aula on les necessitats lumíniques varien d'acord amb les activitats que es desenvolupen, com llegir, escriure o realitzar activitats en grup. A més, Schledermann et al. (2019) han demostrat que la il·luminació dinàmica en aules de primària permet als docents escollir diferents configuracions de llum per estructurar les activitats d'ensenyament, millorant el rendiment i la participació dels alumnes.

De manera similar, Mogas-Recalde i Palau (2021) assenyalen que l'ús d'il·luminació personalitzada a les aules intel·ligents promou un aprenentatge més eficient i adaptat a les necessitats individuals dels estudiants. Finalment, Kodama et al. (2021) introdueixen sistemes d'experiència multiusuari, on els estudiants poden ajustar la il·luminació de manera personalitzada dins d'un mateix espai, sense interferir amb les necessitats lumíniques dels altres, cosa que facilita un entorn d'aprenentatge flexible i adaptatiu.

### 2.2.3.3 Estàndards i normatives

La Norma EN 12464-1 del CEN, de caràcter europeu, regula la il·luminació dels llocs de treball interiors per garantir un entorn visual saludable i confortable. Aquesta norma estableix els requisits per a diferents espais, incloent aules i aules de tutoria, on s'especifica que la il·luminació ha de ser de 300 lux, entre d'altres. L'objectiu d'aquesta norma és proporcionar condicions visuals que afavoreixin la concentració i evitin la fatiga visual, assegurant la comoditat dels usuaris en espais educatius. Tot i que la norma no fa una referència específica als nivells de kèlvins, es menciona la importància

de la temperatura de color de la llum. La llum freda proporciona un ambient similar al de l'aire lliure, i la llum càlida crea un ambient més social i relaxat.

## 2.2.4 Soroll

El soroll, definit com qualsevol so indesitjat, ha esdevingut una preocupació creixent en la societat moderna (Goines & Hagler, 2007). Es considera la tercera preocupació ambiental més urgent després de la contaminació de l'aigua i de l'aire (Akal, 2019). En aquest context, és important tenir en compte l'impacte del soroll en l'aprenentatge i el rendiment cognitiu en infants i adolescents, ja que aquesta població és particularment vulnerable als seus efectes (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000).

L'impacte del soroll en el rendiment acadèmic i cognitiu ha estat una àrea de recerca significativa. Com es detallarà a continuació, diversos estudis i revisions sistemàtiques i meta-anàlisis han abordat diferents aspectes d'aquesta qüestió, oferint una comprensió variada de com el soroll afecta diferents grups de població i tipus d'habilitats cognitives, salut i benestar.

El soroll afecta la fluïdesa de lectura (Rance et al., 2023), la comprensió de frases (Visentin et al., 2023), les habilitats d'escriptura, aritmètica i lectura (Duarte da Cruz et al., 2016), i l'exactitud de la repetició de paraules no reals i el temps de processament verbal (McCreery & Stelmachowicz, 2013). A més, s'ha trobat que una gestió adequada de l'acústica de l'aula pot mitigar alguns dels efectes negatius del soroll. Dockrell i Shield (2012) van investigar l'impacte dels sistemes de sonorització ambiental en aules d'educació primària. Els resultats van mostrar que aquests sistemes van millorar la comprensió auditiva en aules amb pitjors condicions acústiques, però no van tenir un efecte significatiu en el rendiment acadèmic general. Aquestes troballes subratllen la importància de les condicions acústiques per determinar l'eficàcia dels sistemes de sonorització.

L'exposició a alt nivell de soroll d'avions ha demostrat tenir efectes adversos en el raonament, el vocabulari i la percepció, segons un estudi experimental dut a terme per

Baek et al. (2023). Aquest estudi va utilitzar instruments estandarditzats per mesurar els processos cognitius, proporcionant dades concretes que recolzen la relació entre el soroll d'aeronaus i el rendiment cognitiu en nens. Finalment, s'ha trobat que condicions acústiques adequades milloren la memòria de treball verbal i redueixen errors com omissions i intrusions (Vettori et al., 2022).

Szalma i Hancock (2011) van dur a terme una síntesi meta-analítica sobre els efectes del soroll en el rendiment humà, destacant el soroll com un estressor significatiu que afecta les respostes cognitives i motores. Aquest estudi, que va incloure només participants adults, va revelar que el tipus de soroll i la naturalesa de la tasca eren moderadors clau.

Investigant els efectes del soroll d'avions en la comprensió lectora i la salut psicològica dels infants, Clark et al. (2021) van analitzar dades de tres estudis en 106 escoles properes a grans aeroports. Van trobar que el soroll dels avions estava associat amb una disminució en la comprensió lectora i un augment de la hiperactivitat, tot i que sense efectes sobre els símptomes emocionals o els problemes de conducta (Clark et al., 2021).

Thompson et al. (2022) van avaluar els efectes del soroll ambiental quotidià en les habilitats cognitives no patològiques en individus, presentant una revisió sistemàtica actualitzada de la contaminació acústica i la cognició humana, cobrint tot el cicle vital. En la seva revisió sistemàtica i meta-anàlisi, Liang et al. (2024) van trobar que el soroll de baixa freqüència tenia un impacte negatiu significatiu només en les funcions cognitives d'ordre superior.

#### 2.2.4.1 Estàndards i normatives

El Reial Decret 1367/2007, de 19 d'octubre, desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll, establint els criteris acústics per a l'aplicació de la qualitat acústica en diferents àrees del territori, incloent sectors sensibles com els destinats a ús sanitari, docent i cultural. Aquest decret regula els objectius de qualitat acústica amb l'objectiu

de limitar la contaminació acústica i protegir els espais que requereixen una atenció especial pel seu impacte en la salut i el benestar.

Per a zones com escoles o hospitals, el soroll màxim admissible és de 60 dB durant el dia i el vespre, mentre que durant la nit aquest límit es redueix a 50 dB.. A més dels límits per al soroll exterior, també estableix objectius per al soroll interior, essent els nivells màxims permès dins d'aules educatives són de 40 dB i per les sales de lectura de 35 dB.

Segons la normativa catalana (Llei 16/2002, de 28 de juny) es defineixen valors límit per a la immissió de soroll en funció de l'ús del local i la seva destinació. En el cas d'espais educatius com les aules, els límits de soroll màxims permessos són de 35 dB durant tot el dia, incloent els períodes diürn, vespertí i nocturn. A més, en les sales de lectura, audició i exposició, el límit és encara més restrictiu, establint un màxim de 30 dB durant els mateixos períodes.

## 2.3 EMOCIONS

Més enllà del rendiment acadèmic, les experiències emocionals dels estudiants poden considerar-se com a factors de resultat rellevants en si mateixes, ja que constitueixen elements essencials per al benestar dels estudiants (per exemple, Goetz et al., 2003; Salovey et al., 2000). Entendre com les condicions ambientals poden influir en les emocions és, per tant, fonamental per promoure el seu benestar, ja que el gruix dels estudis se centren en l'impacte en la cognició.

En la revisió sistemàtica de Brink et al. (2021), es va constatar que, tot i l'existència de diverses proves estandarditzades per mesurar el rendiment cognitiu a curt termini, només es van identificar pocs mètodes per mesurar l'efecte de la qualitat ambiental interior en la resposta emocional, així com en la salut física a llarg termini i el rendiment acadèmic. Per això, es recomana desenvolupar nous mètodes que permetin revelar la influència de l'IEQ, tant real com percebuda, en les emocions, entre altres factors, tant

en estudiants com en docents. El nostre enfocament interdisciplinari, integrant tecnologies de reconeixement emocional, permet mesurar en temps real les emocions dels estudiants, superant la manca de mètodes adequats per avaluar l'impacte de l'IEQ en la resposta emocional.

Per conceptualitzar què són les emocions, sense ser exhaustius, mencionem que les primeres teories, com la de William James, argumenten que les emocions són principalment sensacions de canvis corporals, més que estats mentals independents (James, 1884). Teories més contemporànies, com la de Damasio (2010) sosté que les emocions estan associades a patrons específics d'activació fisiològica i cognitiva. Per exemple, la tristesa es caracteritza per un pensament lent i repetitiu sobre fets negatius, mentre que l'alegria afavoreix pensaments ràpids i optimistes, o Prinz (2004) sosté que les emocions són avaluacions corporalitzades que responen a aspectes de l'entorn rellevants per al benestar de l'organisme.

Altres models ofereixen una perspectiva més completa sobre la relació entre emocions i benestar. El Model circumplex de Russell (1980) organitza les emocions en funció de dues dimensions: la valència (positiva o negativa) i l'activació (alta o baixa), cosa que ens permet, per exemple, comprendre com les condicions ambientals o les activitats d'aprenentatge poden influir en les respostes emocionals. Això es complementa amb la Teoria PERMA de Seligman (2011), que inclou cinc components: emocions positives, compromís, relacions positives, significat i realització. Suggerim que les emocions positives no només milloren l'experiència emocional immediata, sinó que també contribueixen a altres aspectes del benestar, com el compromís i les relacions interpersonals. Finalment, la Teoria de l'autodeterminació de Deci i Ryan (2000) assenyala que les emocions positives es deriven de la satisfacció de tres necessitats bàsiques: l'autonomia, la competència i la relació.

A més, s'han desenvolupat altres categories d'emocions específiques en el context acadèmic. Un exemple són les emocions epistèmiques, definides com aquelles que sorgeixen en resposta a activitats d'aprenentatge, com la sorpresa, la curiositat o la frustració, i estan especialment relacionades amb els processos d'adquisició de

coneixement (Pekrun et al., 2012; Vogl et al., 2020). Així, les emocions epistèmiques s'afegeixen a altres categories d'emocions que també intervenen a l'aula, com les relacionades amb el benestar i l'adaptació a l'entorn de l'aula.

Tot i la importància dels models teòrics esmentats, per a la mesura de les emocions en aquest estudi, es va optar per la Teoria de les emocions bàsiques desenvolupada per Ekman (Ekman & Friesen, 1976). Aquesta teoria sosté que existeixen sis emocions bàsiques (alegria, fàstic, por, felicitat, tristesa i sorpresa). Aquestes emocions són discretes, la qual cosa significa que es componen de patrons psicològics, fisiològics i neurobiològics específics que les diferencien entre si. Aquests patrons serveixen de base per a experiències emocionals més complexes, desenvolupades per satisfer les nostres necessitats en entorns o circumstàncies específiques. Proposen que les emocions que són universals i reconegudes a través de diferents cultures. Segons Ekman, aquestes emocions són respostes evolutives ràpides i automàtiques davant de problemes significatius per a la supervivència, i aquestes respostes es poden identificar a través de les expressions facials (Keltner & Cordaro, 2017).

Tot i la seva influència, la teoria d'Ekman ha estat criticada. Alguns investigadors argumenten que s'hauria de considerar un ventall més ampli d'emocions bàsiques per reflectir millor la complexitat de l'experiència emocional humana (Hutto & Robertson, 2018). A més, recerques com les de Crivelli (2016), posen en dubte la universalitat de les emocions, ja que algunes cultures tenen expressions i interpretacions emocionals que no encaixen amb els patrons proposats per Ekman.

De totes maneres, s'ha fet servir aquest model en gran part per la seva practicitat i la metodologia derivada. Ekman i Friesen van crear el *Facial Action Coding System* (FACS) (1978), un sistema que permet codificar els moviments dels músculs facials per identificar emocions específiques, descomponent les expressions facials en Unitats d'Acció (*Action Units*, AUs). Aquest sistema ha estat àmpliament utilitzat en la investigació sobre emocions, així com en aplicacions tecnològiques i computació afectiva (Yan et al., 2021). En aquesta tesi s'ha utilitzat un codi basat en el FACS elaborat per Llurba, una de les coautores d'estudis d'aquest compendi, i que ja s'ha

utilitzat dues versions en dos estudis previs (Llurba et al., 2022, 2024), el qual que permet identificar i quantificar amb precisió les emocions dels estudiants.

## 2.4 ESTRÈS DOCENT

El benestar del professorat és un tema fonamental per a les escoles i la societat (Hascher & Waber, 2021). L'Organització Mundial de la Salut (OMS) va fer una primera aportació sobre la importància del benestar. Ja l'any 1946, l'OMS havia definit la salut com un estat de complet benestar físic, mental i social, i no només com l'absència de malaltia.

D'altra banda, l'estrès és una part inherent de l'experiència humana normal; la resposta a l'estrès proporciona un mecanisme valuós mitjançant el qual un organisme pot respondre adequadament als estressors interns i externs. Segons el model de Lazarus i Folkman (1984), l'estrès implica la relació entre la persona i l'entorn, en què el subjecte percep les demandes ambientals com una amenaça per al seu benestar si aquestes superen o igualen els seus recursos d'afrontament.

L'estrès té conseqüències negatives sobre la salut física i mental del professorat. Els docents que mostren un alt estrès laboral tenen una menor satisfacció laboral i un menor compromís, i són menys capaços de donar suport als seus estudiants emocionalment i acadèmicament (Travers, 2017) i tendeixen a reportar la intenció de deixar l'ensenyament en cinc anys (Thomson & Hillman, 2020). L'estrès crònic o continu es relaciona amb la síndrome de *burnout* (Wang et al., 2015; Vargas-Rubilar & Oros, 2021; Zhao et al., 2022). La síndrome de *burnout* és una resposta a l'estrès laboral crònic i s'identifica amb tres components: alts nivells d'esgotament emocional i despersonalització o cinisme, combinats amb un baix assoliment personal (Maslach & Jackson, 1981, 1982).

L'estrès és un problema comú entre el cos docent en el context espanyol. El 84,4% dels docents se senten estressats, i un 30,6% d'ells el consideren "molt alt" (ANPE -

Sindicat Independent, 2019). Les principals raons són la sobrecàrrega de treball, la falta de reconeixement, la manca de recursos i la indisciplina dels estudiants. Un altre estudi va revelar que el 70% dels docents pateixen estrès, i un 27% el consideren sever (Unió de Docents de l'Ensenyament [UDE], 2018). A més, un 88% dels enquestats van indicar que el sistema educatiu espanyol no està dissenyat per prevenir i gestionar l'estrès laboral dels docents.

Encara que s'han identificat múltiples factors estressors de caire psicosocial en el context educatiu, les variables ambientals com la temperatura, la irradiància solar i la qualitat de l'aire han estat menys explorades com a fonts potencials d'estrès. Estudis com el de Parsons (2014) i Allen et al. (2016) suggereixen que aquestes condicions ambientals poden tenir un impacte significatiu en el benestar dels docents, contribuint al seu estrès diari. Aquests factors ambientals no només influeixen en el confort físic, sinó que també poden afectar la capacitat cognitiva i emocional, incrementant la càrrega de treball percebuda per part dels docents (Boyce, 2014; Cajochen, 2007).

### 2.4.1 Mesures de l'estrès

L'estrès dels docents ha estat objecte d'estudi i es pot avaluar mitjançant qüestionaris, com l' *Escala de Fuentes de Estrés en Profesores*, creada per l'Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball (INSHT) a Espanya (Nogareda Cuixart, 2000) o, en relació amb el *burnout*, el qüestionari àmpliament utilitzat de *Maslach Burnout Questionnaire*, (Maslach et al, 1997). No obstant això, aquest tipus de mètode no permet accedir a l'experiència en temps real ni a com aquesta es veu afectada pels esdeveniments que succeeixen. Les mesures subjectives proporcionen informació valuosa, però quan es poden obtenir mesures objectives de la variable d'interès i aquestes estan lliures d'errors, tendeixen a oferir millors resultats que les mesures subjectives (Jahedi & Méndez, 2014). Tenint en compte que la FC és l'indicador més comunament utilitzat per a les reaccions fisiològiques d'estrès (Bodie, 2010), aquesta podria utilitzar-se com a paràmetre objectiu en lloc de, o en complement a, les autoavaluacions subjectives.



Pocs estudis consideren la correlació entre la FC i el benestar/estrès. Böckerman et al. (2017) van trobar una correlació positiva entre la FC durant la infància i la felicitat en l'edat adulta en un estudi longitudinal. En l'estudi de 216 homes i dones de mitjana edat, es va trobar que una major felicitat, avaluada durant diversos moments del jornada laboral, es correlacionava amb una FC més baixa entre els homes, però no entre les dones (Stephoe & Wardle, 2005). En canvi, s'ha informat rutinàriament d'un augment de la FC en escenaris laborals d'alt estrès (Galy et al., 2012).

L'ús d'un dispositiu portàtil com un rellotge intel·ligent per mesurar paràmetres de salut està ben acceptat. Seifert (2018) va explorar l'ús de dispositius portàtils per fer un seguiment de dades de salut auto-registrades i la disposició per compartir aquestes dades amb investigadors. Els resultats van indicar que el 43,3% de tots els participants utilitzaven un o més dispositius mòbils (*tracker activity, smartwatch, smartphone o tablet*), i que el 27,6% utilitzaven aquests dispositius per registrar dades de salut. A més, hi ha estudis que detecten l'estrès mitjançant sensors portàtils, entre altres mètodes (Sano & Picard, 2013).

És possible que els dispositius portàtils monitoritzin la salut mental i els estressors fisiològics, permetent als usuaris entendre la seva consciència emocional i regulació, o que les dades es transfereixin a un professional per a accions posteriors (Lui et al., 2022). Ciabattini et al. (2017) van proposar una detecció en temps real de l'estrès mental durant diferents tasques cognitives mitjançant el processament de la FC, la resposta galvànica de la pell i la temperatura corporal mesurades per un rellotge intel·ligent comercial en un context experimental.

D'altra banda, l'ús d'una polsera o rellotge intel·ligent per a l'avaluació de l'estrès en l'àmbit educatiu no està encara molt estès. Hi ha estudis sobre l'ús d'un rellotge intel·ligent en estudiants per fer un seguiment de l'atenció, les interaccions d'aprenentatge i les dades físiques (Liang et al. 2019), o com a dispositiu per mesurar la FC en classes de biologia cardiovascular a l'escola secundària (Dolenšek et al., 2022).

Per tant, aquest estudi és innovador, ja que aplica una tecnologia existent, el rellotge intel·ligent, al monitoratge de la FC dels docents en l'escola, un objectiu i àmbit que no s'havia considerat abans. Això implica un nou instrument per a la mesura indirecta de l'estrès en els docents.

## 2.5 SÍNTESI

Aquest capítol ha abordat el marc conceptual que fonamenta l'anàlisi de la dimensió ambiental, definint l'aula com un espai físic o virtual que influeix en el procés educatiu, on aspectes sensorials i espacials interactuen amb el disseny pedagògic.

L'aula intel·ligent es presenta com una evolució d'aquest espai d'aprenentatge tradicional, integrant tecnologia i factors ambientals —com la temperatura, la qualitat de l'aire, la il·luminació i el soroll— amb els processos pedagògics. Des de la teoria de sistemes complexos, aquesta aula es concep com una unitat dinàmica on les dimensions tecnològiques, pedagògiques i ambientals interactuen constantment. Així, cada component contribueix a l'equilibri general, i els canvis en una dimensió influeixen el conjunt.

Els factors ambientals de l'aula impacten en el benestar emocional i el rendiment acadèmic d'estudiants i docents, i interactuen de manera complexa, afectant l'experiència d'aprenentatge. El confort tèrmic, acústic i visual es combinen per crear un entorn que pot potenciar o dificultar tant l'aprenentatge com la satisfacció dels estudiants.

Per exemple, una temperatura i humitat elevades són factors que generen fatiga i estrès. La qualitat de l'aire influeix en la salut respiratòria i, també, en la concentració i el benestar general. La il·luminació a l'aula impacta en el rendiment cognitiu i en el benestar físic i emocional dels estudiants, on la llum freda millora la concentració i és ideal per a tasques cognitivament exigents. El soroll interfereix en la lectura, la comprensió verbal, l'escriptura i el raonament.

Les emocions dels estudiants són fonamentals per al seu benestar, a més del seu rendiment acadèmic. Entendre com els factors ambientals afecten les emocions és clau per dissenyar entorns d'aprenentatge que afavoreixin el benestar emocional. Per mesurar les emocions, aquest estudi es basa en la teoria d'Ekman sobre les sis emocions bàsiques, utilitzant un programa basat en el sistema de codificació facial FACS, que permet identificar i categoritzar aquestes emocions.

Respecte al benestar docent, factors psicosocials com la sobrecàrrega laboral i la manca de reconeixement, juntament amb factors ambientals com la temperatura i la qualitat de l'aire, contribueixen a l'estrès, tot i que aquests últims han estat poc explorats.

La gestió integrada dels factors ambientals és essencial per crear entorns d'aprenentatge que no només siguin estimulants, sinó que també optimitzin el benestar i el rendiment acadèmic d'estudiants i docents.



# 3 METODOLOGIA

All observation is theory-laden.

— *Russell Hanson (1958)*

En aquest capítol es descriu la metodologia emprada en aquesta recerca, estructurada segons els cinc estudis independents amb el fil conductor de la influència de determinats factors ambientals. Es presenten els objectius específics de cada estudi, el mètode, que inclou la descripció dels participants, els instruments utilitzats i els procediments seguits per a la recollida i l'anàlisi de dades.

## 3.1 OBJECTIUS DE LA RECERCA

L'objectiu general d'aquesta recerca és analitzar com determinats factors ambientals, com la temperatura, la humitat, la qualitat de l'aire, la il·luminació i el soroll dins de les aules, influeixen tant en els estudiants com en els docents. Això permetrà conèixer i comprendre millor la influència d'aquests factors en el rendiment acadèmic i el benestar emocional dels estudiants i docents. Per assolir aquest objectiu general, les preguntes de recerca que l'estudi pretén abordar són:

- a. Quin és l'impacte de les condicions ambientals (soroll, il·luminació, qualitat de l'aire, temperatura i humitat) en l'aprenentatge dels estudiants de primària i secundària?
- b. Com influeixen les condicions ambientals (temperatura, humitat, qualitat de l'aire) en les emocions dels estudiants i en l'estrès dels docents dins dels entorns educatius?

A partir d'aquestes preguntes, s'han definit els següents objectius específics, cadascun dels quals aborda un aspecte particular d'aquesta influència ambiental:

1. **Monitoratge ambiental i estrès docent:** Explorar com les condicions ambientals de l'aula, les activitats d'ensenyament-aprenentatge i el moment del dia influeixen en l'estrès dels docents, utilitzant un rellotge intel·ligent per mesurar la freqüència cardíaca com a indicador biomètric.
2. **Influència de la temperatura i la humitat en les emocions:** Analitzar la influència de les condicions de temperatura i humitat en les emocions dels estudiants, aplicant tecnologies emergents com la Internet de les Coses (IdC) i la tecnologia de reconeixement emocional.
3. **Influència de la qualitat de l'aire en les emocions dels estudiants:** Explorar la correlació entre els nivells de factors ambientals (PM i CO<sub>2</sub>) i les emocions bàsiques dels estudiants, avaluant com la qualitat de l'aire a l'aula pot afectar el seu benestar emocional.
4. **Efecte del soroll en l'aprenentatge dels estudiants:** Examinar com el soroll ambiental afecta l'aprenentatge, concretament el rendiment acadèmic i cognitiu d'estudiants de primària i secundària.
5. **Impacte de la il·luminació en el rendiment acadèmic:** Analitzar com la il·luminació afecta la comprensió lectora i la resolució de problemes matemàtics en estudiants de sisè de primària.

## 3.2 PERSPECTIVA METODOLÒGICA

Aquest treball adopta una perspectiva empíric-analítica en un anàlisi general, ja que el compendi inclou diversos estudis que, tot i estar enfocats en objectius específics, comparteixen característiques essencials (Rodríguez & Valldeoriola, 2014):

- Visió objectiva i positivista: En tots els estudis, s'ha adoptat una visió tangible i externa a l'investigador, posant l'accent en la recollida de dades objectives sobre el context educatiu així com en la recollida de dades secundàries.
- Centrat en fenòmens observables: Els estudis s'han focalitzat en fenòmens mesurables, com els factors ambientals, les emocions bàsiques, la competència en comprensió lectora i matemàtica.
- Objectivitat i l'evidència empírica: La metodologia ha posat èmfasi en la recollida d'evidència quantitativa, amb l'objectiu de descriure les relacions observades entre les variables ambientals i les emocions i rendiment acadèmic o cognitiu.
- Exploració sistemàtica: S'ha adoptat una exploració sistemàtica guiada per la literatura i les dades empíriques, prioritzant la identificació de patrons en lloc d'un procediment hipotètic-deductiu estricte.
- Criteris de qualitat: En cada estudi, s'han prioritzat la validesa interna i externa, la fiabilitat i l'objectivitat en la recollida i anàlisi de dades, tot reconeixent les limitacions metodològiques, especialment en els estudis observacionals.
- Instruments vàlids i fiables: Els diversos instruments emprats (kit de monitoratge ambiental, programa de tecnologia de reconeixement emocional, instrument d'avaluació de la competència de comprensió lectora / matemàtica, matriu de codificació en el metanàlisi) han garantit la fiabilitat en la mesura de les diferents variables estudiades, així com la assegurant la consistència en la recollida de dades.

- Anàlisi quantitatiu i estadístic: L'anàlisi de dades en tots els estudis s'ha realitzat de manera quantitativa i amb tècniques estadístiques, buscant identificar associacions rellevants entre les variables sense establir relacions causals.

Inicialment, la recerca es va concebre amb l'objectiu de comprendre com les condicions ambientals influeixen en l'estrès dels docents, atès que el benestar docent es considera un factor essencial en la qualitat de l'experiència educativa i en les emocions dels estudiants. En aquest sentit, el primer estudi amb docents va ser un estudi pilot, explorant la relació entre les condicions ambientals i l'estrès docent per obtenir una primera aproximació a aquestes dinàmiques en un context real. No obstant això, la dificultat per a la recollida de dades en la població docent, combinada amb l'accessibilitat de mostres d'estudiants a través d'una estratègia de mostratge per conveniència, va orientar el focus cap a l'anàlisi de la influència de les condicions ambientals en els estudiants. Aquesta adaptació va mantenir la coherència amb el propòsit general de la recerca, centrant-se en la influència de les condicions ambientals en entorns educatius.

A continuació, es presenten els dissenys utilitzats per abordar cada objectiu:

- Estudis observacionals i correlacionals: Es van explorar les associacions entre factors ambientals (com la concentració de PM, CO<sub>2</sub>, temperatura i humitat) i les emocions bàsiques dels estudiants durant les classes, complint amb l'objectiu d'explorar la influència de les condicions ambientals en el benestar dels estudiants.
- Estudi de grup únic pre-test i post-test: Aquest disseny es va aplicar per analitzar l'efecte de la il·luminació dinàmica en la competència lectora i la resolució de problemes matemàtics, adreçant l'objectiu de posar de manifest la importància de la il·luminació dinàmica a l'aula.
- Meta-anàlisi: Es va utilitzar per avaluar l'impacte del soroll en l'aprenentatge, integrant resultats dels estudis seleccionats anteriors i proporcionant una visió



robusta i generalitzable sobre com el soroll afecta el rendiment acadèmic i el benestar.

A continuació, es presenta una descripció detallada de cadascun dels estudis que conformen el compendi.

### 3.3 DESCRIPCIÓ DE LA METODOLOGIA DELS ESTUDIS

#### 3.3.1 Monitoratge ambiental i estrès docent

Aquest estudi pilot tenia com a objectiu explorar com les condicions ambientals de l'aula, les activitats d'ensenyament-aprenentatge i el moment del dia influeixen en l'estrès dels docents, utilitzant un rellotge intel·ligent per mesurar la freqüència cardíaca com a indicador biomètric.

Pel que fa al disseny i el mètode, la metodologia utilitzada va ser de naturalesa exploratòria, ja que abordava per primera vegada l'ús del rellotge intel·ligent com a eina per monitoritzar les dades biomètriques dels docents, específicament la freqüència cardíaca. L'estudi es va centrar en dos docents voluntaris, un home i una dona, que van utilitzar el dispositiu durant diverses sessions de classe al llarg de dues setmanes. L'enfocament de l'estudi va ser quantitatiu.

Respecte a la mostra, van participar dos docents de secundària: una dona de 42 anys amb 16 anys d'experiència docent, i un home de 39 anys amb 15 anys d'experiència. Ambdós van portar el rellotge intel·ligent entre 2 i 6 hores al dia, segons l'horari de cada docent, durant 10 dies en un període de dues setmanes. Durant aquest temps, els docents van impartir classes de Ciències Socials i Tecnologia i Informàtica. Les dades biomètriques i ambientals es van registrar automàticament. Es van recopilar dades sobre la temperatura, la humitat i la irradiància solar proporcionades per l'estació

meteorològica més propera a l'escola, obtingudes a través del servei meteorològic oficial de Catalunya (meteo.cat). L'emmagatzematge i la integració de la base de dades va ser manual

Pel que fa a les variables observades, les activitats dels docents a l'aula es van classificar en les següents categories:

- a. Explicació: el docent feia una classe expositiva.
- b. Observació: el docent esperava, assegut o de peu, que els alumnes completessin una tasca.
- c. Atenció: el docent es desplaçava per l'aula supervisant la feina dels alumnes.
- d. Interacció/discussió: els alumnes realitzaven treballs en equip guiats pel docent.
- e. Activitat logística: es tractava de desplaçaments específics del docent fora de la classe, no relacionats amb l'activitat acadèmica.

Quant al procediment, les dades recollides es van transferir a una fulla de càlcul per a l'anàlisi posterior amb el programa estadístic de codi obert JASP. Es van utilitzar tècniques d'anàlisi descriptiva i de correlació per explorar la relació entre les condicions ambientals, les activitats d'ensenyament i l'estrès dels docents, mesurat a través de la freqüència cardíaca.

Pel que fa a les consideracions ètiques, els docents van ser informats de les característiques de l'estudi i van signar un formulari de consentiment informat. L'estudi va ser aprovat pel Comitè Ètic d'Investigació en Persones, Societat i Medi Ambient de la URV.

Aquest estudi pilot es va dissenyar per analitzar la influència de les condicions ambientals en l'estrès docent a través de la FC. Si bé es va centrar en els factors ambientals, cal reconèixer que, en entorns educatius reals, altres elements contextuais i individuals podrien influir en les respostes d'estrès dels docents. Per aquesta raó, el

present estudi prioritza l'exploració d'aquestes variables ambientals específiques en un entorn controlat i estableix una base per avaluar el seu paper en les respostes d'estrès.

Aquesta aproximació ha permès obtenir una primera aproximació metodològica precisa. A més, les dades biomètriques ofereixen una mirada objectiva i alternativa a l'autoreport amb la previsió que investigacions futures puguin expandir aquest disseny per integrar-hi altres variables psicosocials i institucionals que poden contribuir a una interpretació més completa.

### **3.3.2 Influència de la temperatura i la humitat i de la qualitat de l'aire en les emocions dels estudiants**

En aquest apartat incloem els dos estudis, donat que segueixen una metodologia comuna. Els objectius de cadascun era explorar la influència de la temperatura i la humitat en les emocions i influència de la qualitat de l'aire en les emocions dels estudiants i analitzar la influència de les condicions de temperatura i humitat en les emocions dels estudiants, aplicant tecnologies emergents com la Internet de les Coses (IdC) i la tecnologia de reconeixement emocional, per explorar aquestes relacions a l'aula.

Per aquests dos estudis, es va utilitzar un disseny observacional i correlacional. En aquest apartat s'inclouen dos estudis amb una metodologia comuna, orientada a explorar com les condicions ambientals, específicament la temperatura, la humitat i la qualitat de l'aire, influencien les emocions dels estudiants. Tot i que altres factors, com els contextos interpersonals i el suport acadèmic, poden també incidir en el benestar emocional, aquests estudis se centren en les condicions ambientals per entendre'n el paper específic dins de l'aula. Aquesta decisió metodològica busca precisar la influència d'aquests factors.

L'estudi es va dur a terme durant el primer trimestre del curs escolar (setembre i octubre). Tots els estudiants assistien a classes de Tecnologia o d'una altra assignatura relacionada amb la tecnologia, com un el Projecte Verd emmacat en els ODS.

En aquest estudi van participar un total de 76 estudiants de secundària de 6 classes diferents en una àrea urbana de la província de Tarragona, Catalunya. El nombre mitjà d'estudiants participants per aula va ser de 24, amb un rang de 12 a 32 estudiants per classe. L'edat dels estudiants oscil·lava entre els 12 i els 16 anys. Les classes estaven aproximadament equilibrades per gènere.

Es van instal·lar un kit de monitoratge de factors ambientals, així com una càmera de reconeixement facial i emocional en una sala de classe, per obtenir les condicions ambientals i les emocions dels estudiants en temps real. A continuació, se detalla els dos instruments.

### 3.3.2.1 Instruments de recollida de dades

#### Programari de tecnologia de reconeixement emocional

La detecció de cares, la identificació i l'anàlisi de les expressions facials es van dur a terme mitjançant un sistema format per una càmera i un programari desenvolupat a mida. El codi es va escriure en *Python*, un entorn de programació adequat per a la gestió de tasques d'adquisició i processament d'imatges. Es va crear un *script* personalitzat que incorporava diverses biblioteques de *Python Facial Expression Analysis Toolbox (Py-Feat)*, reconegudes per la seva alta qualitat i funcionalitat, per detectar i categoritzar les emocions a través de l'anàlisi d'imatges. Aquest codi va permetre que el sistema d'adquisició de vídeo identificu amb precisió emocions bàsiques com la por, la ràbia, el disgust, la tristesa, l'alegria, la sorpresa i la neutra, basant-se en el *Facial Action Coding System (FACS)* d'Ekman.

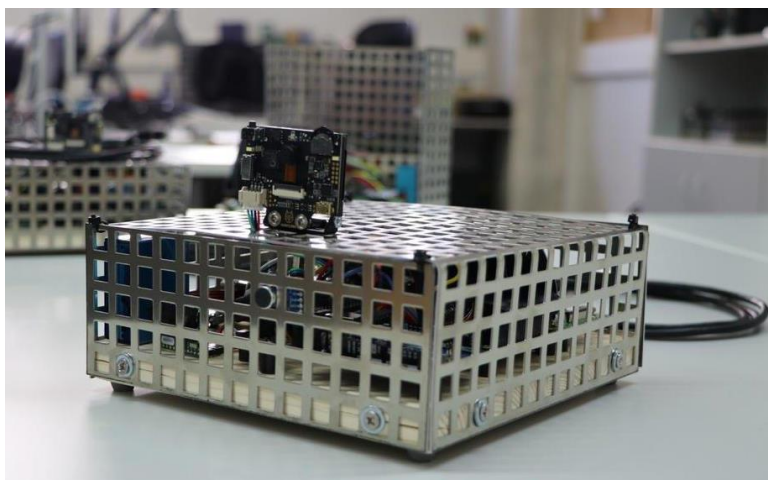
Abans de l'estudi, es va avaluar l'efectivitat i la fiabilitat de la biblioteca *Py-Feat* mitjançant proves de reconeixement facial i d'emocions administrades als estudiants

en un entorn de classe. El primer dia va servir de prova, durant el qual es va demanar als estudiants que modifiquessin les seves expressions facials per provar la funcionalitat del codi. Durant diverses lliçons, els estudiants van ser enregistrats per la càmera del portàtil per a l'adquisició de dades, amb cada sessió d'una durada de 50 minuts a una hora. Les gravacions es van desar en format MP4. La càmera es va col·locar estratègicament per capturar clarament tant la part davantera com la part posterior de la classe, maximitzant l'eficàcia d'aquesta eina d'imatges. Tots els estudiants dins del camp de visió de la càmera web van ser inclosos en el vídeo. Aquests vídeos es van emmagatzemar a un compte de *One Drive* en un compte de Microsoft 365 de la URV. Posteriorment, els vídeos es van segmentar en fotogrames consecutius cada 10 segons, un procés facilitat per un codi específic que convertia els fotogrames en arxius PNG per a l'anàlisi de dades posterior. Finalment, es va generar un arxiu CSV que contenia totes les emocions identificades en cada imatge, després del qual es van poder esborrar totes les imatges.

### Dispositiu de monitoratge ambiental

El dispositiu ambiental utilitzat en aquest estudi s'anomena kit ACTUA-041 i pertany al projecte ACTUA de la URV, iniciat durant la pandèmia de COVID-19, al maig de 2021. L'objectiu principal del projecte era investigar la transmissió del SARS-CoV-2 a les aules escolars.

El dispositiu és una caixa de  $20 \times 20 \times 10$  cm, amb una base de fusta coberta per una placa perforada o malla d'alumini. El kit de sensors conté un ordinador de placa única, anomenat *Raspberry Pi*. Malgrat la seva petita mida, aquestes plaques poden operar com un ordinador tradicional, tot i que amb una capacitat de càlcul inferior. Així doncs, el kit conté un conjunt de sensors que capten les variables contextuais de l'estudi: temperatura i humitat relativa. Tots aquests sensors estan connectats al *Raspberry Pi* mitjançant cables dins del mateix kit. Es pot veure a la Figura 2.

**Figura 2***Kit ambiental amb sensors*

*Nota.* Font de la imatge: <https://diaridigital.urv.cat/es/un-estudio-de-la-urv-monitoriza-las-aulas-para-evaluar-la-transmision-de-virus-entre-ninos/>

El dispositiu es va instal·lar a l'aula, en un punt estratègic per controlar els paràmetres de la manera més eficient possible, i prop de la porta d'entrada per proporcionar informació sobre si està oberta o no. De manera contínua, cada 10 minuts, el kit mesura variables com la temperatura i la humitat relativa, per monitoritzar les condicions dins de l'aula. Inclou un termòmetre que mesura la temperatura i un higròmetre que mesura la humitat relativa.

Per mesurar les condicions de l'aula, el projecte va desenvolupar una plataforma de monitoratge de variables ambientals basada en IdC, que facilita l'obtenció i el desplegament de sistemes de sensors amb capacitats de connectivitat de xarxa, a més d'incloure les característiques físiques de l'aula i els seus ocupants.

Aquest dispositiu envia les dades recollides cada 8 hores al servidor a través d'Internet. Tota la informació es desa en una base de dades al servidor, que també proporciona una aplicació web per gestionar i visualitzar les dades del sistema.

El calibratge de l'instrument de recollida de dades ambientals és clau per tal d'obtenir dades ajustades a la realitat. A continuació, es mostra el rang de precisions de cada sensor (Taula 4).

**Taula 4**

*Precisió dels sensors del dispositiu de monitoratge ambiental*

| Sensor  | Fabricant | Variable  | Unitat            | Precisió                                    |
|---------|-----------|---|-------------------|---|
| Enviro+ | Pimoroni  | Temperatura   | °C                | ± 1°C                                       |
| SCD30   | Sensirion | Temperatura   | °C                | ± 0.4°C                                     |
| SCD30   | Sensirion | Concentració CO <sub>2</sub>  | ppm               | ± 30 ppm                                    |
| PMS5003 | Adafruit  | Concentració de PM<br>(PM <sub>1</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> ) | µg/m <sup>3</sup> | ± 10% entre [100-<br>500] µg/m <sup>3</sup> |

*Nota.* Adaptat de Batista et al. (2023).

L'anàlisi de les dades va suposar un repte degut a la gran quantitat d'informació generada per les variables ambientals i emocionals. Tot i que el volum de dades generat s'assembla al que es podria trobar en contextos de *Big Data*, l'anàlisi es va realitzar utilitzant tècniques estadístiques tradicionals. Això va requerir un esforç considerable per gestionar la integritat i la coherència de les dades.

En els dos estudis, es van realitzar tècniques d'anàlisi descriptiva, correlacional i de regressió lineal per explorar les relacions entre la temperatura, la humitat i les emocions dels estudiants. En el estudi de les partícules en suspensió i CO<sub>2</sub>, que va ser posterior, es van sofisticar lleugerament respecte a l'anàlisi de temperatura i humitat. Per capturar possibles associacions no lineals, va ser necessari transformar les variables en termes quadràtics. Aquesta decisió va ser motivada pel reconeixement que les relacions lineals poden no captar plenament la complexitat de les interaccions entre les variables ambientals i els estats emocionals. Amb la inclusió de termes quadràtics, es va buscar tenir en compte la possible curvatura en les relacions, permetent una anàlisi

més exhaustiva de les dades i oferint una visió més completa sobre les dinàmiques matisades entre els factors ambientals i les emocions.

A més, els mètodes per a l'anàlisi de CO<sub>2</sub> i PM Per abordar l'asincronia entre les dades ambientals, que eren mesurades amb menys freqüència en comparació amb les dades emocionals, es va aplicar la tècnica de *forward fill*. Aquesta elecció es fonamenta en la necessitat d'omplir de manera contínua els buits temporals en les dades ambientals aprofitant la informació més recent disponible. L'ús d'aquesta tècnica permet mantenir una seqüència temporal contínua i uniforme, facilitant així l'anàlisi conjunta de les dades ambientals i emocionals sense comprometre la coherència temporal.

### 3.3.2.2 Aspectes ètics

L'estudi es va dur a terme d'acord amb els estàndards ètics proporcionats pel Comitè d'Ètica de la Universitat Rovira i Virgili (URV), amb el número de referència: CEIPSA-2021-TD-0019. Es pot visualitzar l'informa favorable [aquí](#). Abans de la participació dels estudiants en l'estudi, van llegir un consentiment informat en què s'explicava l'objectiu, la durada i el procediment de la recerca. Es va informar als estudiants que la seva participació era voluntària. Els investigadors van recollir les dades durant les hores lectives habituals. Els representats legals dels estudiants van signar un consentiment informat de l'estudi. A més, com és habitual a l'inici de curs, van emplenar un formulari de consentiment a favor o en contra que els seus fills fossin fotografiats o enregistrats.

De totes, maneres, el reconeixement emocional i l'ús de tecnologies d'IdC plantegen qüestions ètiques importants. Si bé aquests sistemes poden millorar l'entorn educatiu, també impliquen riscos en termes de privacitat i consentiment. En relació al seguiment emocional no ha de ser utilitzat per avaluar el rendiment personal, sinó com a eina per optimitzar l'entorn d'aprenentatge. Per aquesta raó, els participants van ser degudament informats, i tant la recollida com l'anàlisi es van realitzar amb dades



anònimes, ja que el codi només detectava les emocions, sense identificar ni fer seguiment dels subjectes.

### 3.3.3 Impacte de la il·luminació dinàmica en el rendiment acadèmic

Analitzar com la il·luminació afecta la comprensió lectora i la resolució de problemes matemàtics en estudiants de sisè de primària, amb l'objectiu de demostrar la necessitat d'una il·luminació dinàmica a les aules.

L'estudi va seguir un disseny pre-experimental, que es va considerar el més adequat per a les circumstàncies. Es va experimentar amb un sol grup que es va avaluar en diferents moments del dia durant tres setmanes. El grup estudiat era el grup-classe natural, no es va realitzar una assignació aleatòria i, per tant, no hi va haver un control total de la situació (Bono Cabré, 2012). Malgrat això, es va intentar identificar les variables externes que podrien influir en la interpretació dels resultats.

Aquest estudi es va dur a terme en un centre educatiu de la província de Tarragona. Es tracta d'un centre concertat que acull alumnes des de jardí infantil fins a batxillerat.

En l'estudi es va considerar si algun dels alumnes participants presentava necessitats educatives especials per adaptar la prova o el temps necessari per realitzar-la, assegurant així que tinguessin les mateixes possibilitats que els seus companys per superar-les. No obstant això, en aquest cas, no es va detectar cap alumne amb aquestes necessitats, per la qual cosa l'estudi es va realitzar amb el mateix temps i format de les proves per a tots els participants.

Es va mesurar el rendiment dels alumnes mitjançant exercicis de competències bàsiques. Els materials utilitzats inclouen sis versions diferents de proves de competències bàsiques, dissenyades específicament per a aquest estudi, i configuracions d'il·luminació dinàmica amb temperatures de color de 3000K (llum càlida) i 5000K (llum freda) (Taula 5).

Les proves es van realitzar en sis escenaris diferents, que combinaven diferents moments del dia amb diferents configuracions d'il·luminació:

### Taula 5

#### *Escenaris d'il·luminació*

| Moment del dia | CCT 3000K (Il·luminació càlida) | CTT 5000K<br>(Il·luminació freda) |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 9:10 h         | Escenari 1                      | Escenari 4                        |
| 11:30 h        | Escenari 2                      | Escenari 5                        |
| 15:10 h        | Escenari 3                      | Escenari 6                        |

*Nota.* Elaboració pròpia.

Cada versió de la prova tenia la mateixa estructura: una part dedicada a la comprensió lectora en llengua catalana i una altra part dedicada a la resolució de problemes matemàtics. Els exercicis en cada versió eren similars en format però variaven en contingut.

#### 3.3.3.1 Procediment

Per recollir les dades, es van aplicar proves objectives de rendiment acadèmic basades en les proves oficials de competències bàsiques que es duen a terme cada any a la regió de Catalunya. Aquestes proves les realitzen els alumnes que finalitzen les etapes d'educació obligatòria, és a dir, el sisè nivell de primària (alumnes de 11 anys).

Cada prova tenia una durada màxima de 20-25 minuts. La part dedicada a la comprensió lectora consistia en un text i 15 preguntes relacionades amb el text, majoritàriament de tipus elecció múltiple, excepte una pregunta oberta que requeria justificar la resposta.

La part de resolució de problemes matemàtics estava dividida en dos exercicis. El primer exercici s'havia de resoldre aplicant operacions bàsiques o altres operacions com els percentatges, etc. Aquest exercici incloïa preguntes de tipus elecció múltiple i

una pregunta oberta per a que l'alumne justificués la seva resposta. El segon exercici es basava en un gràfic, i els alumnes havien de respondre a una sèrie de preguntes basades en la informació obtinguda del gràfic proporcionat.

### 3.3.3.2 Anàlisi de dades

Per analitzar la influència de la temperatura de color de la llum en el rendiment acadèmic dels estudiants, es van aplicar diverses proves estadístiques. Inicialment, es va dur a terme una anàlisi descriptiva per proporcionar una visió general de les dades recollides. Aquesta anàlisi va permetre identificar tendències generals en el rendiment dels alumnes sota les diferents condicions d'il·luminació.

Posteriorment, es va aplicar la prova de Friedman, que és una prova no paramètrica utilitzada per detectar diferències en mesures repetides sobre els mateixos individus. Aquesta prova va ser seleccionada per avaluar si existien diferències significatives en el rendiment dels estudiants sota les diferents temperatures de color de la llum (3000K i 5000K) en diferents moments del dia.

### 3.3.4 Efecte del soroll en l'aprenentatge

Examinar com el soroll ambiental a l'aula afecta l'aprenentatge, concretament el rendiment acadèmic i cognitiu d'estudiants de primària i secundària, considerant el tipus de soroll, l'edat dels estudiants i els processos cognitius, com a variables moderadores en aquesta interacció.

Es va realitzar una revisió sistemàtica de la literatura seguint les etapes d'identificació, cribatge, elegibilitat i inclusió, tal com es descriu a les directrius PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, 2020).

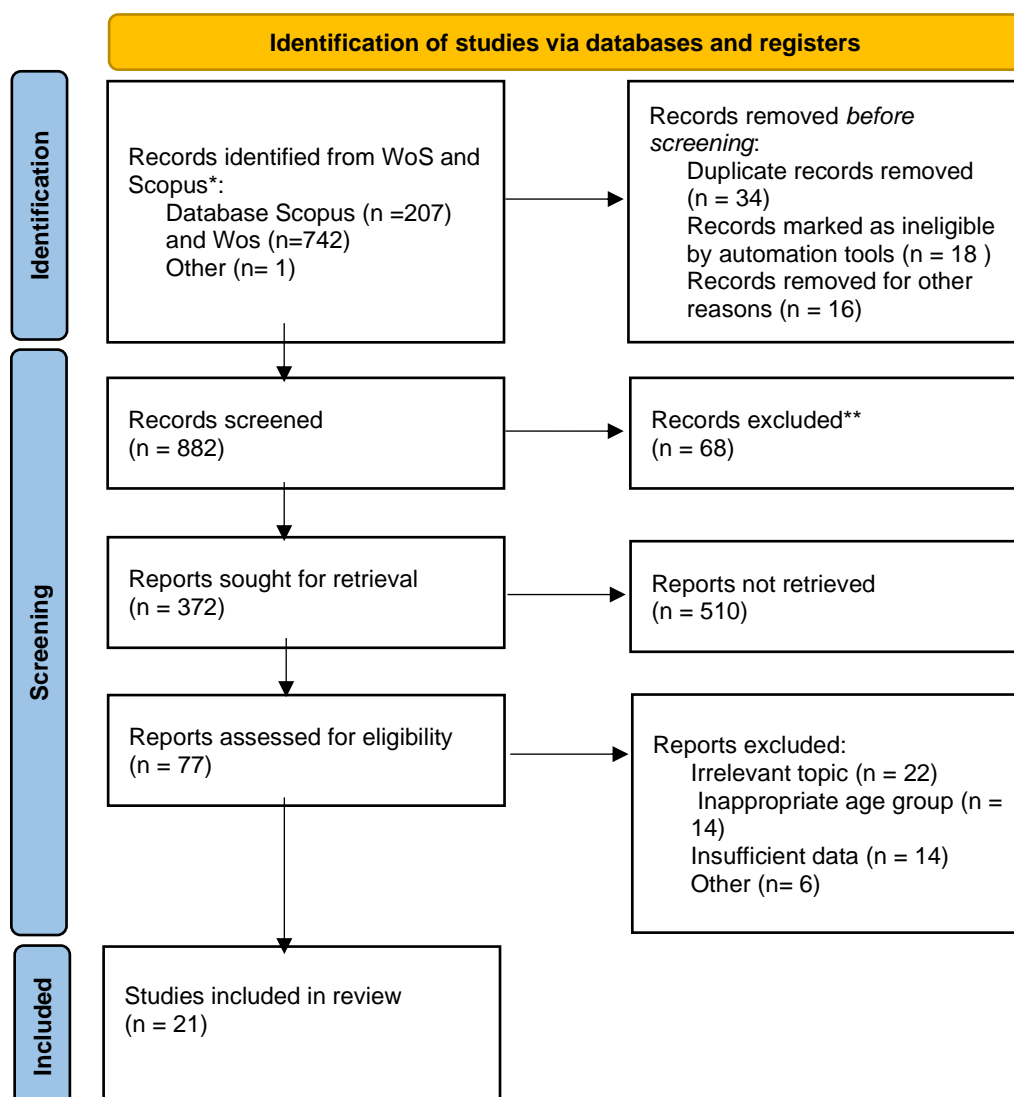
El protocol de cerca es va dur a terme en les bases de dades de *Scopus* i *Web of Science*, cobrint el període des de l'any 2000 fins a l'actualitat. Les paraules clau per a la

cerca d'estudis van ser: *(acoustics OR noise) AND (academic AND performance OR cognitive AND performance OR learning) AND (classroom OR school)*. Es van aplicar restriccions per incloure els camps de cerca "Títol, Resum i Paraules clau".

Per abordar el biaix de publicació, es va contactar amb experts en el camp. Concretament, es va contactar amb una autora a través de la xarxa *ResearchGate* per sol·licitar estudis no publicats; ella va enviar un estudi que finalment resultà estar publicat.

**Figura 3**

*Diagrama Prisma*



*Nota.* Elaboració pròpia

La cerca d'articles i fonts es va realitzar de manera exhaustiva i sistemàtica. Es van incloure estudis que complien les següents característiques:

- a. Influència del soroll: examinen la influència del soroll en el rendiment cognitiu i/o acadèmic dels estudiants en un context escolar.
- b. Processos cognitius: els efectes del soroll analitzats inclouen processos cognitius com la memòria, l'atenció, la resolució de problemes o la comprensió lectora, mesurats a través d'instruments o escales validades, i no basats en les percepcions dels participants.
- c. Rendiment acadèmic: es van incloure també les notes de rendiment acadèmic.
- d. Participants: els participants són estudiants no universitaris de centres escolars regulars que no presenten dificultats auditives o d'aprenentatge aparents.
- e. Disseny de l'estudi: el disseny de l'estudi és experimental o quasi-experimental.
- f. Dades per al càlcul: proporcionen dades suficients per calcular la mida de l'efecte.
- g. Idiomes acceptats: els estudis estan escrits en anglès, català, espanyol o portuguès.
- h. Exclusió de certs estudis: no s'inclouen estudis sobre l'efecte del soroll en el comportament, el confort o la percepció i comprensió del discurs.

Es va desenvolupar un protocol per registrar les característiques dels estudis i determinar quins podrien influir en els resultats. Per a això, es van distingir entre característiques metodològiques, característiques de l'objecte d'estudi, característiques dels participants i característiques extrínseques. A continuació es detallen els indicadors per a cada conjunt de característiques:

- a. Característiques metodològiques: tipus de disseny, transversal o longitudinal, instrument per a la mesura dels processos cognitius o mesura del rendiment acadèmic.

- b. Característiques de l'objecte d'estudi: procés cognitiu avaluat (atenció, memòria, comprensió, lectura, etc.), assignatura acadèmica o tipus de soroll detectat.
- c. Característiques dels participants: edat, nivell acadèmic, mida de la mostra, país.
- d. Característiques extrínseques: any de publicació, font.

Per a cada estudi seleccionat, es va calcular la mida de l'efecte de Cohen ( $d$ ) utilitzant les mitjanes i desviacions estàndard proporcionades. En alguns casos, també es va utilitzar l'eta quadrat parcial ( $\eta^2p$ ) per calcular la  $d$  de Cohen. A més, es va calcular l'error estàndard per a cada mida d'efecte utilitzant una fórmula basada en la mida de les mostres. Aquests càlculs són necessaris per integrar i comparar els resultats de múltiples estudis en el metaanàlisi.

En el procés de sintetitzar i interpretar les mides d'efecte dels estudis, va ser necessari ajustar els signes d'algunes mides d'efecte per assegurar la coherència en la interpretació. Concretament, en el nostre metaanàlisi, una mida d'efecte positiva indica consistentment un millor rendiment o un impacte menys negatiu, mentre que una mida d'efecte negativa indica un pitjor rendiment o un impacte negatiu més significatiu. Per exemple, si un estudi reportava una mida d'efecte positiva per a una condició experimental que en realitat conduïa a un pitjor rendiment en comparació amb la condició de control, es va invertir el signe per mantenir la uniformitat.

## 4 RESULTATS I DISCUSSIÓ

En aquest capítol es presenten i discuteixen els resultats obtinguts en els estudis sobre la monitoratge ambiental i els docents, i els relacionats amb cadascun dels factors ambientals: la temperatura i la humitat, la qualitat de l'aire, la il·luminació i el soroll en l'entorn de l'aula. El capítol s'estructura en cinc seccions, cadascuna dedicada a un dels objectius específics. A cada secció, s'ofereix una síntesi dels resultats, complementada amb gràfics elaborats *ad hoc* que faciliten la comprensió. Les anàlisis detallades es poden trobar en els articles. A diferència dels articles originals, on els resultats i la discussió es presentaven de manera separada, aquí s'ha optat per integrar-los. Aquesta decisió permet una anàlisi més cohesiva i reflexiva dels resultats, mostrant com cada troballa es relaciona amb la literatura existent i contribueix als objectius de la recerca.

### 4.1 MONITORATGE AMBIENTAL I ESTRÈS DOCENT

Explorar com les condicions ambientals de l'aula, les activitats d'ensenyament-aprenentatge i el moment del dia influeixen en l'estrès dels professors, utilitzant el rellotge intel·ligent per mesurar la freqüència cardíaca (FC) com a indicador biomètric de l'estrès.

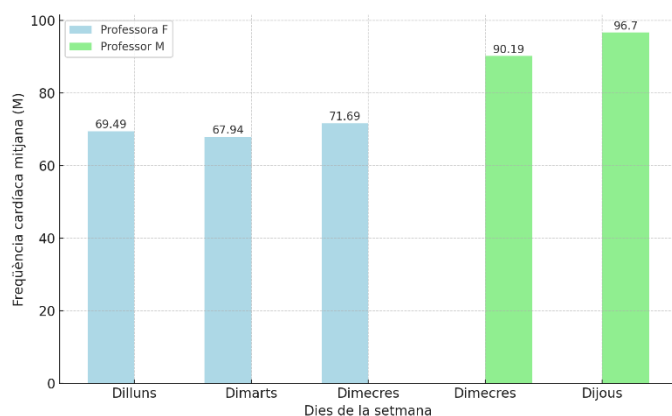
*Freqüència cardíaca per cada participant.* S'han trobat diferències significatives en la FC cardíaca dels dos professors participants, segons la prova de Mann-Whitney

( $U=1701.500$ ,  $p<0,001$ ). La professora F va presentar una FC més baixa ( $M=69,617$ ,  $SD=5,291$ ) que el professor M ( $M=94,067$ ,  $SD=5,291$ ).

La prova de Kruskal-Wallis indica que la professora F va mostrar diferències significatives en la FC segons el dia de la setmana ( $H=44,790$ ,  $p<0,001$ ). Segons la prova *post hoc* de Dunn, hi ha variacions entre parells de dies: entre dilluns ( $M=69,491$ ) i dimarts ( $M=67,941$ ), entre dilluns ( $M=69,491$ ) i dimecres ( $M=71,692$ ), i entre dimarts ( $M=67,941$ ) i dimecres ( $M=71,692$ ), amb un nivell de significació de  $p<0,001$ . De manera similar, per al professor M, la prova de Mann-Whitney va mostrar diferències significatives entre els dos dies en què va impartir classe ( $W=2304,500$ ,  $p<0,001$ ), amb una FC més alta el dijous ( $M=96,704$ ) que el dimecres ( $M=90,188$ ). (Figura 3)

### Figura 3

*Freqüència cardíaca mitjana dels docents segons dies de la setmana*



*Nota.* Elaboració pròpia.

La professora va obtenir una FC més baixa que el professor. Això contradiu l'evidència científica que indica que la mitjana per a dones adultes és entre 78 i 82 batecs per minut, mentre que la mitjana de la FC per a homes adults és entre 70 i 72 batecs per minut (Prabhavathi et al., 2014). Aquest resultat podria ser atribuït a altres variables que poden influir en la FC dels individus, com ara la condició física.

*Freqüència cardíaca i hora del dia.* Es van observar diferències en la FC durant la jornada escolar per als dos professors. La prova de Kruskal-Wallis va mostrar



diferències significatives en la FC al llarg del dia per ambdós professors. La professora F va obtenir un valor de  $H=57,710$  ( $p<0,001$ ). La prova *post hoc* de Dunn va revelar diferències entre les 8:30 h i les 9:30 h ( $p=0,003$ ), les 10:30 h, les 12:00 h i les 13:00 h (totes  $p<0,001$ ); entre les 9:30 h i les 10:30 h ( $p=0,003$ ), i entre les 9:30 h i les 13:00 h ( $p<0,001$ ). La FC més alta es va registrar a les 8:30 h ( $M=72,660$ ), seguida de les 9:30 h ( $M=69,785$ )

Mentrestant, el professor M va obtenir un valor de  $H=51,629$ ,  $p<0,001$ . La prova *post hoc* de Dunn va mostrar diferències entre diverses franges horàries: entre les 8:30 h i les 9:30 h i les 10:30 h (ambdues  $p<0,001$ ); entre les 9:30 h i les 13:00 h ( $p<0,001$ ), les 14:00 h ( $p=0,026$ ), així com entre les 10:30 h i les 13:00 h ( $p<0,001$ ) i les 14:00 h ( $p=0,002$ ). La FC més alta es va registrar a les 13:00 h ( $M=97,709$ ), seguida de les 8:30 h ( $M=96,143$ ), amb la més baixa a les 10:30 h ( $M=90,023$ ).

Pel que fa a les diferències segons el dia de la setmana, no s'han trobat estudis científics que facin referència a aquest aspecte, tot i que sí que s'han trobat diferències pel que fa a l'hora del dia. En l'estudi present, el professor M mostra aquesta tendència, però cal tenir en compte que l'última classe és a les 14:00 h, de manera que és difícil percebre la seva resposta a l'estrès en les últimes hores del dia. Sembla que no hi ha diferències significatives en la FC segons l'hora del dia, encara que el sistema hipotalàmic respon més a l'estrès psicològic al matí que no pas a la tarda. No obstant això, el sistema medul·lar simpato-adrenal, pel que fa a l'augment de la FC, no va mostrar una diferència significativa segons l'hora del dia entre els dos grups de l'experiment (Yamanaka et al., 2019).

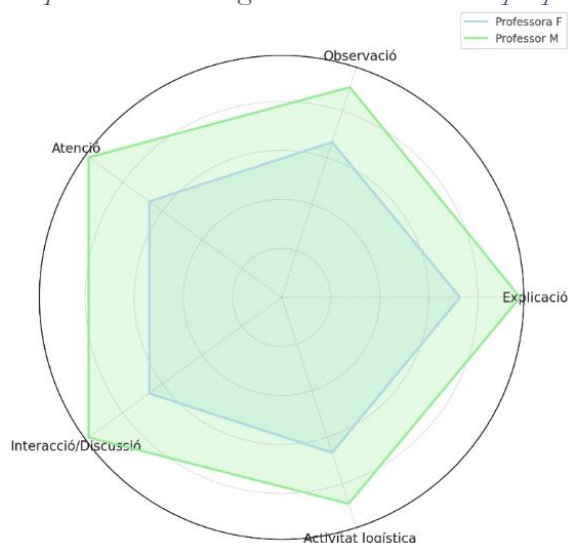
*Freqüència cardíaca i activitat educativa.* La FC segons el tipus d'activitat educativa va variar significativament en els dos professors (professora F:  $H=66,660$ ,  $p<0,001$ ; professor M:  $46,733$ ,  $p<0,001$ ), segons la prova de Kruskal-Wallis.

Pel que fa a l'activitat de classe i la FC, s'esperava que l'observació fos l'activitat educativa més relaxada, ja que implica esperar, i això es confirma en tots dos professors. No obstant això, en la resta de categories no hi ha un resultat general

consistent: per a la professora F, l'explicació és l'activitat més exigent, mentre que per al professor M, ho és l'atenció als estudiants (veure Figura 4). És important tenir en compte que hi podria haver variabilitat individual segons les preferències i habilitats de cadascú. Tot i que s'ha trobat un estudi que analitza la relació entre la metodologia d'ensenyament i l'estrès (Guedes-Granzotti et al., 2021) aquest no ha trobat una influència de la metodologia sobre l'estrès i, a més, només han avaluat a estudiants universitaris, no inclouen una mostra de docents, per la qual cosa els resultats poden no ser comparables.

Per a la professora F, la prova *post hoc* de Dunn va indicar diferències significatives en la FC entre diverses activitats educatives. Es van observar diferències entre Explicació i Observació i Atenció (amb un nivell de significació de  $p < 0,001$ ), entre Interacció/discussió i Observació i Atenció (totes amb  $p < 0,001$ ), i finalment, entre Observació i Atenció i Activitat logística (amb  $p < 0,001$ ). La FC més alta es va registrar durant l'Explicació ( $M=72,745$ ), mentre que la més baixa es va observar durant l'Observació dels estudiants ( $M=66,621$ ).

Pel que fa al professor M, la prova *post hoc* de Dunn va mostrar diferències significatives en la FC segons el tipus d'activitat educativa. Es van trobar diferències entre Explicació i Atenció als estudiants ( $p < 0,001$ ), entre Observació i Atenció ( $p < 0,001$ ), i entre Atenció i Activitat logística ( $p=0,012$ ). En el seu cas, la FC més alta es va produir durant l'Atenció als estudiants ( $M=97,202$ ), mentre que la més baixa es va registrar durant les activitats logístiques ( $M=88,500$ ).

**Figura 4***Freqüència cardíaca segons activitats educatives per participant*

*Nota.* Elaboració pròpia.

*Correlacions entre la freqüència cardíaca i les condicions ambientals.* L'anàlisi de la FC en relació amb les condicions ambientals per a la professora F va mostrar petites correlacions negatives amb la temperatura mitjana ( $r=-0,207$ ,  $p<0,001$ ) i la irradiància solar ( $r=-0,142$ ,  $p<0,001$ ).

En el cas del professor M, es van observar correlacions positives entre la FC i la temperatura mitjana ( $r=0,326$ ,  $p<0,001$ ), la humitat ( $r=0,395$ ,  $p<0,001$ ) i la irradiància solar ( $r=0,252$ ,  $p<0,001$ ).

Una altra diferència significativa és la direcció de les correlacions entre la FC i les condicions ambientals. Per a la professora F, la FC es correlaciona negativament amb la temperatura i la irradiància solar, mentre que per al professor M hi ha una correlació positiva amb les tres variables ambientals. Pel que fa a la temperatura, les baixes temperatures registrades es troben fora del rang de confort tèrmic ( $21,66^{\circ}$ ), cosa que podria afectar negativament el benestar dels professors. És important tenir en compte que l'estudi es va dur a terme a l'hivern i que les finestres estaven obertes segons el protocol COVID. En general, la relació temperatura-FC s'ha observat amb una forma

de V en la majoria dels grups de participants (Madaniyazi et al., 2016), cosa que s'assembla més al patró observat en la professora F.

Els resultats obtinguts en aquest subapartat han permès assolir l'objectiu d'explorar la influència de les condicions ambientals de l'aula, les activitats d'ensenyament-aprenentatge i el moment del dia en l'estrès dels professors, mesurat a través de la FC com a indicador biomètric mitjançant l'ús de rellotges intel·ligents. Les diferències significatives trobades en la FC entre els docents, així com la variabilitat observada segons els dies de la setmana i les activitats realitzades, subratllen la importància de considerar tant factors individuals com contextuals en l'anàlisi de l'estrès docent.

## 4.2 INFLUÈNCIA DE LA TEMPERATURA I LA HUMITAT EN LES EMOCIONS DELS ESTUDIANTS

En aquest apartat es va realitzar una anàlisi descriptiu i correlacional per explorar les relacions entre les variables ambientals i emocionals. Posteriorment, es va dur a terme una anàlisi de regressió per examinar amb més detall la influència de la temperatura i la humitat en les emocions dels estudiants.

Els resultats obtinguts del kit de monitoratge ambiental, amb temperatures que oscil·len entre 27,49°C i 31,62°C (mediana de 29°C i mitjana de 29,85°C), superen els límits recomanats pel RITE per al confort tèrmic en estiu, que estableixen un rang de temperatures operatives entre 23°C i 25°C. S'ha de tenir en compte que les mesures es van prendre a finals de setembre i principis d'octubre, és a dir, durant la tardor, quan les condicions climàtiques haurien d'estar començant a aproximar-se als límits d'hivern, on el RITE fixa temperatures entre 21°C i 23°C. Aquesta discrepància indica que podria generar un impacte negatiu en el benestar i el rendiment dels estudiants. Pel que fa a la humitat relativa, amb valors entre 36,3% i 51,3% (mediana de 42,23% i mitjana de 43,04%) es manté dins dels marges adequats per al confort tèrmic segons el RITE i l'ASHRAE, que recomanen un rang entre 40% i 60%. Els resultats obtinguts a partir

del kit de ambiental mostren que les temperatures oscil·len entre els 27,5 °C i els 30,6 °C, amb la mediana i la mitjana coincidint en 29,8 °C.

Pel que fa a les emocions bàsiques dels estudiants, que van ser recollides mitjançant el processament d'imatges i la categorització emocional, la presència de cadascuna d'elles és reduïda. Per a comprendre millor aquest aspecte, es presenta una anàlisi descriptiva de les emocions i que es pot visualitzar a la Figura 5.

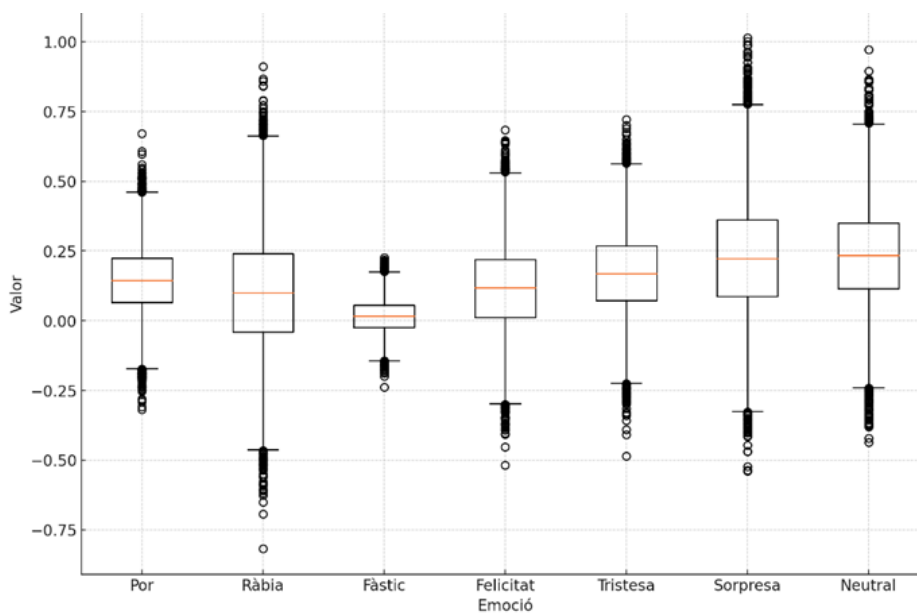
- a. Por: mostra una mediana relativament baixa, indicant que la majoria dels estudiants experimenten nivells baixos de por. Tot i això, la caixa té una alçada moderada, cosa que suggereix una variabilitat considerable en les respostes de por entre els estudiants. L'asimetria a la dreta és pronunciada, fet que significa que, encara que la majoria experimenta por amb baixa intensitat, hi ha alguns estudiants que mostren nivells significativament més alts d'aquesta emoció.
- b. Ràbia: té una mediana propera a zero, cosa que indica que la majoria dels estudiants gairebé no experimenten aquesta emoció. Tanmateix, la desviació estàndard és alta, cosa que suggereix que, tot i que la majoria no sent ràbia, alguns estudiants experimenten aquesta emoció en major mesura. El *boxplot* mostra diversos valors atípics cap a la dreta, cosa que reforça la presència d'estudiants que senten un nivell alt de ràbia, tot i que siguin una minoria.
- c. Fàstic: és la menys present entre els estudiants, amb una mediana i una mitjana molt baixes. La caixa és petita i els bigotis són curts, indicant poca variabilitat i nivells generalment baixos d'aquesta emoció. La distribució està altament esbiaixada a la dreta, fet que significa que gairebé tots els estudiants reporten nivells nuls o molt baixos de fàstic, amb molt pocs experimentant qualsevol intensitat significativa d'aquesta emoció.
- d. Felicitat: presenta una mediana i mitjana moderades, indicant que una part considerable dels estudiants experimenta felicitat amb certa regularitat. La caixa és relativament alta, fet que suggereix una variabilitat en la intensitat de la felicitat. Tot i que la distribució està esbiaixada a la dreta, la presència de

felicitat és més comuna i més intensament sentida per alguns estudiants en comparació amb emocions com la ràbia o el fàstic.

- e. Tristesa: mostra una mediana més alta en comparació amb altres emocions negatives, indicant que aquesta emoció és més comuna entre els estudiants. La caixa és moderadament alta, cosa que indica variabilitat en com els estudiants experimenten tristesa. Igual que amb altres emocions, la distribució està esbiaixada a la dreta, però la major presència de tristesa suggereix que una proporció d'estudiants l'experimenta, tot i que la intensitat sigui baixa en general.
- f. Sorpresa: té una mediana i mitjana relativament altes, indicant que aquesta emoció és una de les més comunament experimentades pels estudiants. La caixa mostra una àmplia variabilitat, cosa que suggereix que la intensitat de la sorpresa varia significativament. Tot i que continua estant esbiaixada a la dreta, la sorpresa és una de les emocions amb major presència i intensitat, fet que indica que els estudiants l'experimenten amb certa regularitat i en diferents graus.
- g. Neutral: és la més abundant, amb la mediana i la mitjana més altes entre totes les emocions. Això suggereix que la majoria dels estudiants es troben en un estat emocional neutral la major part del temps. Tot i que la distribució també mostra una asimetria a la dreta, la caixa indica una variabilitat relativament alta, cosa que significa que alguns estudiants experimenten aquest estat emocional amb major o menor intensitat que altres.

**Figura 5**

*Boxplot per cada emoció bàsica dels estudiants*



*Nota.* Elaboració pròpia.

Per determinar si hi ha una relació entre les emocions i les variables ambientals, es va aplicar la prova de *Spearman* (Figura 6). Aquesta prova no paramètrica es va escollir perquè les variables emocionals no segueixen una distribució normal. Per a major claredat, presentem el resultat de les correlacions significatives entre les dues variables, temperatura i humitat, amb les emocions considerades negatives (por, ràbia, fàstic i tristesa), i les emocions positives (felicitat i sorpresa).

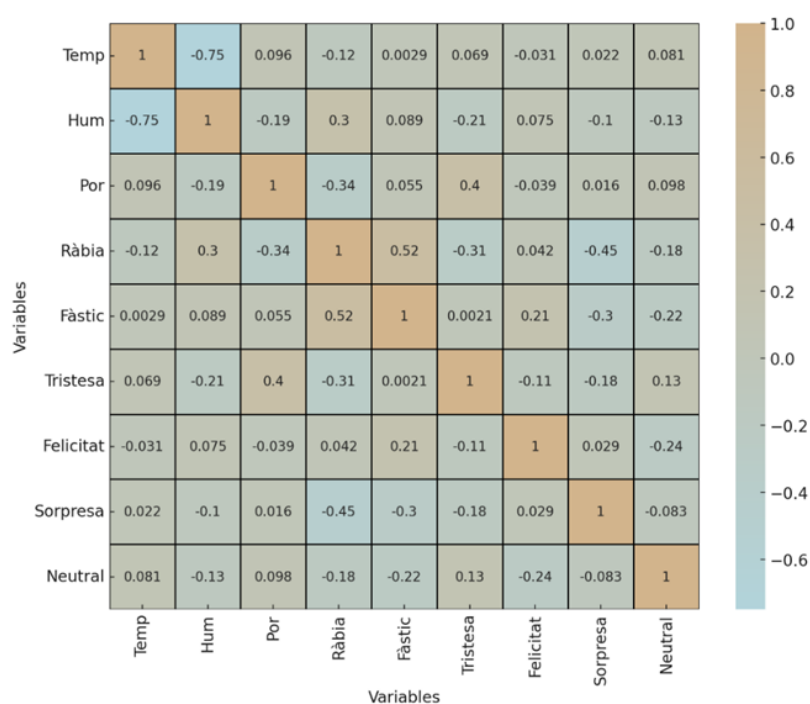
La temperatura es va correlacionar significativament i positivament amb la por (0,0962,  $p < 0,001$ ) i la tristesa (0,069,  $p < 0,001$ ), mentre que negativament amb la ràbia (-0,1169,  $p < 0,001$ ) i la felicitat (-0,0312,  $p < 0,001$ ). El fàstic no va correlacionar amb la temperatura (0,0029,  $p = 0,71$ ). La humitat va correlacionar significativament i positivament amb la ràbia ( $r = 0,3005$ ,  $p < 0,001$ ) i amb el fàstic (0,0892,  $p < 0,001$ ), i negativament amb la por (-0,1876,  $p < 0,0001$ ), la tristesa ( $r = -0,2051$ ,  $p < 0,001$ ) i la sorpresa (-0,1033,  $p < 0,001$ ). Mentrestant, l'emoció neutra va correlacionar

positivament amb la temperatura (0,0809,  $p < 0,001$ ) i negativament amb la humitat (-0.1345,  $p < 0,001$ ).

Aquestes correlacions significatives impliquen que la relació entre les emocions i les dues variables és poc probable que sigui deguda a l'atzar. No obstant això, la força de la relació és petita.

**Figura 6**

*Heatmap de les variables de temperatura, humitat i emocions bàsiques*



*Nota.* Elaboració pròpia.

A continuació, descrivim breument els resultats de la regressió lineal (Taula 6). És important tenir en compte que l'aplicació de la regressió lineal pot estar subjecta a certes limitacions metodològiques que podrien influir en la interpretació dels resultats.

En primer lloc, els models de regressió van revelar que la temperatura i la humitat tenen una influència estadísticament significativa en les emocions dels estudiants ( $p < 0,001$ ), tot i que l'explicació de la variabilitat és limitada ( $R^2$  són bastant baixos). Tanmateix els valors T associats són alts, la qual cosa indica que els coeficients de



regressió són significatius i, tot plegat, suggereix que l'efecte de la temperatura i la humitat és real i estadísticament significatiu.

**Taula 6**

*Resum dels models de regressió per cada emoció bàsica*

| Emoció    | R2    | RMSE  | F ANOVA | p-value ANOVA | Temp Coef. | Temp T val | Temp p-val | Hum Coef. | Hum T val | Hum p-val |
|-----------|-------|-------|---------|---------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Por       | 0,016 | 0,117 | 139,574 | <0,001        | -0,007     | -3,856     | <0,001     | -0,005    | -12,398   | <0,001    |
| Ràbia     | 0,063 | 0,199 | 564,123 | <0,001        | 0,028      | 9,577      | <0,001     | 0,019     | 27,166    | <0,001    |
| Fàstic    | 0,014 | 0,059 | 118,593 | <0,001        | 0,009      | 10,524     | <0,001     | 0,003     | 15,19     | <0,001    |
| Tristesa  | 0,034 | 0,144 | 299,588 | <0,001        | -0,025     | -11,873    | <0,001     | -0,011    | -22,434   | <0,001    |
| Felicitat | 0,012 | 0,151 | 105,563 | <0,001        | 0,019      | 8,292      | <0,001     | 0,017     | 13,835    | <0,001    |
| Sorpresa  | 0,011 | 0,205 | 89,501  | <0,001        | -0,029     | -9,556     | <0,001     | -0,01     | -13,279   | <0,001    |
| Neutral   | 0,008 | 0,176 | 64,082  | <0,001        | 0,005      | 2,016      | <0,001     | -0,003    | -5,166    | <0,001    |

*Nota.* Elaboració pròpia. R<sup>2</sup> = Coeficient de determinació; RMSE = Error quadràtic mitjà; F (ANOVA) = Estadístic F d'ANOVA; p (ANOVA) = Valor p d'ANOVA; Temp Coef. = Coeficient per a la variable Temperatura; Temp T val. = Valor T per a la variable Temperatura; Temp p-val. = Valor p per a la variable Temperatura; Hum Coef. = Coeficient per a la variable Humitat; Hum T val. = Valor T per a la variable Humitat; Hum p-val. = Valor p per a la variable Humitat.

El model de regressió per a l'emoció de ràbia és el més robust i significatiu de tots els analitzats, explicant un 6,3% de la variabilitat, la proporció més alta entre totes les emocions estudiades (F = 564,123, p < 0,001). Tant la temperatura com la humitat van mostrar una influència significativa en la ràbia, amb coeficients de regressió de 0,028 i 0,019 respectivament, essent més notable l'impacte de la temperatura. Aquest resultat destaca la ràbia com l'emoció més afectada per les condicions ambientals.

A continuació, el model de tristesa va explicar un 3,4% de la variabilitat d'aquesta emoció (F = 299,588, p < 0,001). Aquest resultat subratlla la influència de les variables ambientals en la tristesa, confirmant la seva rellevància en el context de l'aula.

Pel que fa a l'emoció de por, el model de regressió va explicar l'1,6% de la variabilitat (F = 139,574, p < 0,001), amb la temperatura i la humitat mostrant

coeficients significatius. Això suggereix que, tot i ser una proporció menor, aquestes variables continuen tenint un impacte notable en la por.

En relació amb el fàstic, la temperatura i la humitat van explicar un 1,4% de la variabilitat en aquesta emoció ( $F = 118,593$ ,  $p < 0,001$ ). Tot i que aquest percentatge és lleugerament inferior als anteriors, la influència de les condicions ambientals sobre el fàstic continua sent significativa.

La felicitat, per la seva banda, va mostrar un 1,2% de la variabilitat explicada per la temperatura i la humitat ( $F = 105,563$ ,  $p < 0,001$ ), indicant que aquestes variables també tenen un efecte en emocions positives, encara que amb una magnitud menor.

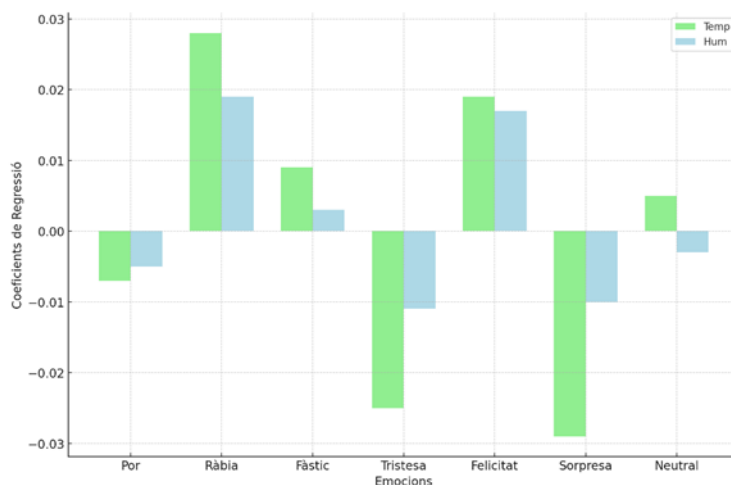
Pel que fa a la sorpresa, el model va explicar un 1,1% de la variabilitat, atribuïble a les dues variables ambientals ( $F = 89,501$ ,  $p < 0,001$ ). Aquest percentatge, tot i ser modest, posa de manifest la influència significativa de la temperatura i la humitat en la capacitat de sorpresa dels estudiants.

Finalment, el model més feble va ser el de l'emoció neutra, que va explicar només el 0,8% de la variabilitat ( $F = 64,082$ ,  $p < 0,001$ ). L'emoció neutra, per la seva naturalesa, representa un estat d'equilibri o falta d'una resposta emocional intensa, cosa que podria explicar per què les variables ambientals, com la temperatura i la humitat, tenen un impacte petit sobre ella.

Per tal de clarificar la presentació dels resultats, es mostra a la Figura 7, els coeficients de regressió associats a la influència de la temperatura i la humitat per cada emoció, que proporciona una visió de la magnitud i direcció dels efectes sobre les emocions bàsiques.

**Figura 7**

*Influència de la temperatura i humitat en les emocions bàsiques: coeficients de regressió*



*Nota.* Elaboració pròpia .

En tots els casos, la temperatura té el coeficient més alt (en valor absolut), el que indica que la temperatura és el factor més influent en totes les emocions en comparació amb la humitat. Pel que fa a la direcció dels efectes, la temperatura augmenta la intensitat de la ràbia (0,028), el fàstic (0,009), la felicitat (0,019) i l'emoció neutra (0,005) a mesura que augmenta. D'altra banda, la temperatura té un efecte negatiu, disminuint la tristesa (-0,025), la sorpresa (-0,029) i la por (-0,007) a mesura que augmenta.

Quant a la influència de la humitat, aquesta augmenta la intensitat de la ràbia (0,019), el fàstic (0,003) i la felicitat (0,017) a mesura que augmenta. D'altra banda, la humitat té un efecte negatiu, disminuint la tristesa (-0,011), la sorpresa (-0,010), la por (-0,005) i l'emoció neutra (-0,003) a mesura que augmenta.

Aquestes troballes, obtingudes mitjançant l'ús de tecnologies com la Internet de les Coses i el reconeixement emocional a través d'imatges, proporcionen una comprensió de com les condicions ambientals poden influir en l'experiència emocional dels estudiants a l'aula.

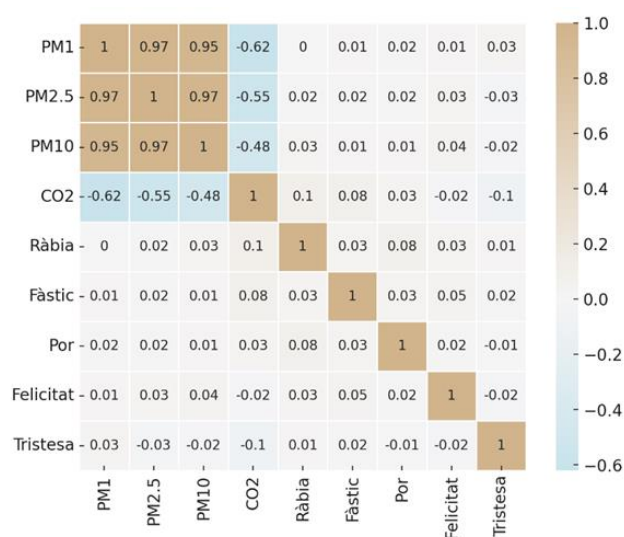
### 4.3 INFLUÈNCIA DE LA QUALITAT DE L'AIRE EN LES EMOCIONS DELS ESTUDIANTS

Aquesta secció explora les relacions entre els factors ambientals, incloent-hi PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> i CO<sub>2</sub>, i les emocions dels estudiants (ràbia, fàstic, por, felicitat, tristesa, sorpresa i neutre). L'anàlisi comença amb les correlacions de Spearman entre cada factor ambiental i les emocions. Posteriorment, es desenvolupen models de regressió lineal per a cada emoció. Es proporciona un resum general dels models per facilitar la comprensió dels resultats clau.

Per oferir una representació de les relacions entre els factors ambientals i les emocions, es presenta un *heatmap* (Figura 8). De la mateixa manera que en la secció anterior, aquest *heatmap* resumeix la força i la direcció de les correlacions, utilitzant colors més càlids (beix) per indicar correlacions positives i colors més freds (blau) per a les correlacions negatives. Els nivells de significació estan marcats (\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ ), destacant la robustesa d'aquestes associacions.

Figura 8

Heatmap de la qualitat de l'aire i les emocions bàsiques



Nota. Elaboració pròpia.

Les variables PM1, PM2.5 i PM10 van mostrar correlacions altes i positives entre elles mateixes, totes amb coeficients de correlació de Spearman significatius ( $p < .001$ ), la qual cosa suggereix una relació forta entre aquestes partícules. A més, s'observa una correlació negativa significativa entre PM1, PM2.5 i PM10 amb el CO<sub>2</sub> ( $p < .001$ ), indicant una relació inversa.

En l'estudi es van observar diverses correlacions entre emocions i variables ambientals. Pel que fa a la matèria particulada, es van trobar algunes associacions significatives i febles amb emocions. Per exemple, PM1 va mostrar una correlació negativa i significativa amb la sorpresa. PM2.5 va tenir una correlació negativa i significativa amb la sorpresa ( $\rho = -0,03$ ,  $p \leq 0,001$ ) i positiva amb la felicitat ( $\rho = 0,03$ ,  $p < 0,001$ ), mentre que PM10 va presentar correlacions amb sorpresa ( $\rho = -0,04$ ,  $p < 0,001$ ) i ràbia ( $\rho = 0,03$ ,  $p < 0,001$ ).

A més, la concentració de CO<sub>2</sub> va mostrar correlacions més fortes amb diverses emocions. Es van trobar associacions positives entre el CO<sub>2</sub> i emocions com la ràbia ( $\rho = 0,098$ ,  $p < 0,001$ ) i el fàstic ( $\rho = 0,078$ ,  $p < 0,001$ ), i negatives amb la tristesa ( $\rho = -0,051$ ,  $p < 0,001$ ) i la por ( $\rho = -0,031$ ,  $p < 0,001$ ).

A partir de les correlacions observades, es va analitzar més a fons el poder predictiu de les variables ambientals mitjançant models de regressió. La Taula 7 ofereix un resum d'aquests models, destacant l'eficàcia de CO<sub>2</sub>, PM1, PM2.5 i PM10 en la predicció d'emocions bàsiques. Aquesta anàlisi proporciona una visió sobre com aquests factors ambientals influeixen en les emocions, més enllà de l'anàlisi de correlació.

Taula 7

Resum dels models de regressió per les emocions bàsiques

| Model<br>M <sub>1</sub> <sup>1</sup> | R         | R <sup>2</sup> | RMSE                       | R <sup>2</sup><br>Change | df1 | df2   | p      | Durbin-Watson              |               |            |
|--------------------------------------|-----------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----|-------|--------|----------------------------|---------------|------------|
|                                      |           |                |                            |                          |     |       |        | Autoc.<br>2                | Statisti<br>c | p          |
| Ràbia                                | 0.01<br>4 | 0.00<br>0      | 2.37<br>3×10 <sup>+7</sup> | 0.000                    | 7   | 24435 | 0.661  | 2.045×<br>10 <sup>-4</sup> | 2.00<br>0     | 0.99<br>5  |
| Disgust                              | 0.27<br>0 | 0.07<br>3      | 0.05<br>6                  | 0.073                    | 7   | 24450 | < .001 | 0.02<br>0                  | 1.96<br>0     | 0.00<br>1  |
| Por                                  | 0.74<br>2 | 0.55<br>1      | 0.11<br>8                  | 0.551                    | 7   | 24449 | < .001 | 0.07<br>5                  | 1.84<br>9     | < .0<br>01 |
| Felicitat                            | 0.60<br>3 | 0.36<br>4      | 0.15<br>9                  | 0.364                    | 7   | 24450 | < .001 | 0.04<br>2                  | 1.91<br>7     | < .0<br>01 |
| Tristesia                            | 0.73<br>4 | 0.53<br>8      | 0.15<br>1                  | 0.538                    | 7   | 24450 | < .001 | 0.11<br>6                  | 1.76<br>9     | < .0<br>01 |
| Sorpresa                             | 0.70<br>1 | 0.49<br>1      | 0.20<br>4                  | 0.491                    | 7   | 24450 | < .001 | 0.07<br>2                  | 1.85<br>7     | < .0<br>01 |
| Neutra                               | 0.78<br>9 | 0.62<br>2      | 0.19<br>8                  | 0.622                    | 7   | 24450 | < .001 | 0.06<br>8                  | 1.86<br>5     | < .0<br>01 |

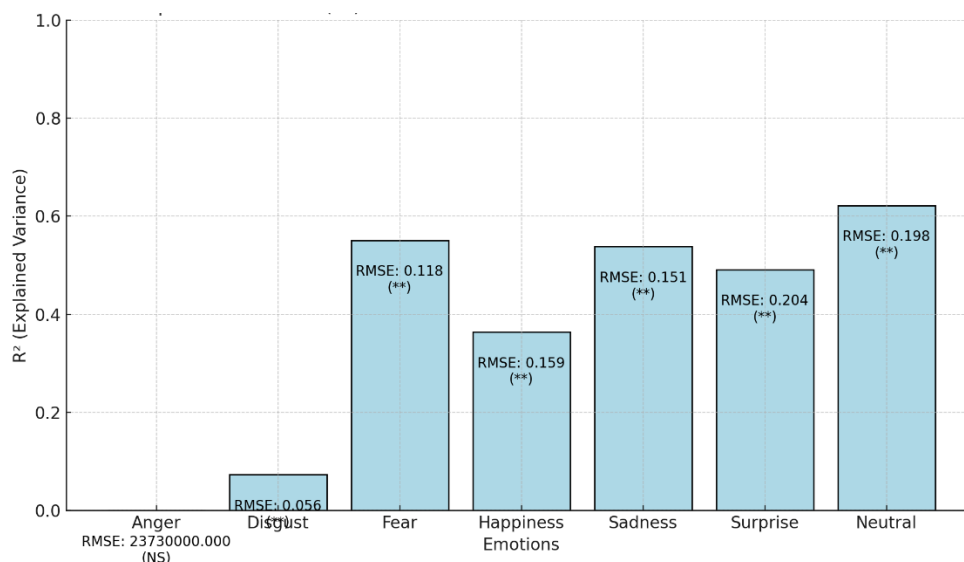
Nota. Elaboració pròpia. <sup>1</sup>M<sub>1</sub> inclou PM1, PM2.5, PM10, CO2, sq\_PM1, sq\_PM2.5, sq\_PM10, sq\_CO2. <sup>2</sup>Autoc. es autocorrelació

Els models per a les emocions neutra, por, tristesa, sorpresa i felicitat van mostrar valors substancials de R<sup>2</sup>, que oscil·len entre 0,364 per a felicitat i 0,622 per a neutralitat, cosa que indica que una proporció significativa de la variància en aquestes emocions s'explica pels predictors utilitzats en els models. Tots els models, excepte el de ràbia (R<sup>2</sup> = 0,000), són estadísticament significatius, cosa que dóna suport a la robustesa dels models. Les estadístiques de Durbin-Watson per a tots els models són properes a 2, la qual cosa suggereix que no hi ha autocorrelació significativa en els residus, assegurant la fiabilitat de les estimacions de regressió.

Per resumir visualment aquests resultats, la Figura 9 presenta la variància explicada (R<sup>2</sup>) i la precisió predictiva (RMSE) per a cada emoció.

**Figura 9**

*Variància explicada ( $R^2$ ) i precisió predictiva (RMSE) per a les emocions basades en factors ambientals*



*Nota.* Elaboració pròpia.

El model de l'emoció neutra va ser el més robust en termes de variància explicada, amb un  $R^2$  de 0,622, indicant que més del 62% de la variància d'aquesta emoció va ser explicada pels factors ambientals analitzats. A més, l'error quadràtic mitjà (RMSE = 0,198) va suggerir una precisió notable en les prediccions, recolzada també per un valor  $p$  altament significatiu ( $p < 0,001$ ).

El model de por va mostrar resultats sòlids, amb un  $R^2$  de 0,551, explicant més del 55% de la variància en la por, amb un RMSE de 0,118. El valor  $p$  ( $< 0,001$ ) va indicar una alta fiabilitat en les prediccions del model.

De manera similar, el model de tristesa va presentar un  $R^2$  de 0,538, explicant més del 53% de la variància en aquesta emoció. El RMSE va ser de 0,151, i el model va ser estadísticament significatiu ( $p < 0,001$ ), cosa que el converteix en un predictor fiable de la tristesa.

El model de sorpresa va explicar el 49% de la variància ( $R^2 = 0,491$ ), amb un RMSE de 0,204. També va ser estadísticament significatiu ( $p < 0,001$ ), tot i que lleugerament menys predictiu en comparació amb els models de tristesa i por.

Per a l'alegria, el model va explicar el 36% de la variància ( $R^2 = 0,364$ ) amb un RMSE de 0,159. Tot i que el model també va ser estadísticament significatiu ( $p < 0,001$ ), va explicar una proporció menor de variància en relació amb altres emocions.

El model de fàstic va presentar un  $R^2$  de 0,073, indicant que només el 7,3% de la variància en el fàstic es podria atribuir als factors ambientals. El RMSE va ser de 0,056, i tot i que el model va ser estadísticament significatiu ( $p < 0,001$ ), va ser menys eficaç per predir aquesta emoció.

Finalment, el model de ràbia va ser ineficaç, amb un  $R^2$  de 0,000 i un  $R^2$  ajustat de -0,000. El RMSE va ser extremadament alt, i el model no va assolir la significació estadística ( $p = 0,661$ ), suggerint que els predictors ambientals no explicaven la variància en la ràbia.

La regressió estandarditzada va mostrar l'impacte de PM i CO<sub>2</sub>, tant de manera directa com en efectes quadràtics, sobre les emocions. La Taula 8 resumeix els coeficients de regressió i els seus efectes.

### Taula 8

*Comparació dels coeficients de regressió estandarditzats entre emocions*

| Predictor     | Disgust           | Por                   | Felicitat              | Tristesa               | Sorpresa               | Neutral               |
|---------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>PM1</b>    | -0.166<br>(0.033) | -0.195<br>(0.013)     | -0.954<br>( $< .001$ ) | 0.961<br>( $< .001$ )  | -0.705<br>( $< .001$ ) | -0.220<br>(0.004)     |
| <b>PM2.5</b>  | -0.075<br>(0.461) | 0.455<br>( $< .001$ ) | 1.102<br>( $< .001$ )  | -0.620<br>( $< .001$ ) | 0.483<br>( $< .001$ )  | 0.128<br>(0.206)      |
| <b>PM10</b>   | 0.091<br>(0.207)  | -0.092<br>(0.207)     | 0.012<br>(0.869)       | -0.031<br>(0.664)      | 0.337<br>( $< .001$ )  | 0.858<br>( $< .001$ ) |
| <b>sq_PM1</b> | 0.182<br>(0.007)  | 0.224<br>(0.001)      | 0.552<br>( $< .001$ )  | -0.636<br>( $< .001$ ) | 0.496<br>( $< .001$ )  | 0.197<br>(0.003)      |



### 4.3 | INFLUÈNCIA DE LA QUALITAT DE L'AIRE EN LES EMOCIONS DELS ESTUDIANTS

|                       |                   |                    |                    |                   |                    |                    |
|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>sq_PM2.5</b>       | -0.101<br>(0.239) | -0.473<br>(< .001) | -0.750<br>(< .001) | 0.298<br>(< .001) | -0.256<br>(0.003)  | 0.421<br>(< .001)  |
| <b>sq_PM10</b>        | 0.083<br>(0.231)  | 0.112<br>(0.108)   | 0.074<br>(0.280)   | 0.095<br>(0.172)  | -0.374<br>(< .001) | -1.364<br>(< .001) |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | 0.048<br>(< .001) | 0.115<br>(< .001)  | 0.007<br>(0.180)   | 0.152<br>(< .001) | 0.075<br>(< .001)  | 0.029<br>(< .001)  |

*Nota.* Elaboració pròpia

En aquesta anàlisi, es destaquen els efectes més grans de cada variable:

PM1 i el seu terme quadràtic (sq\_PM1) tenen efectes no lineals significatius en emocions com la felicitat i la sorpresa. Els coeficients negatius en el terme lineal i positius en el terme quadràtic suggereixen una relació en forma de U. Inicialment, aquestes emocions disminueixen amb l'augment de nivells de PM1, però després augmenten a nivells més alts. Per exemple, per a la felicitat, el coeficient lineal és negatiu ( $\beta = -0,954$ ,  $p < .001$ ) i el coeficient quadràtic és positiu ( $\beta = 0,552$ ,  $p < .001$ ). De manera similar, per a la sorpresa, el coeficient lineal és  $\beta = -0,705$  ( $p < .001$ ) i el coeficient quadràtic és  $\beta = 0,496$  ( $p < .001$ ).

Per a la tristesa, el patró és oposat, amb un coeficient positiu en el terme lineal ( $\beta = 0,961$ ,  $p < .001$ ) i negatiu en el terme quadràtic ( $\beta = -0,636$ ,  $p < .001$ ), indicant que la tristesa augmenta amb els primers increments de PM1, però disminueix a nivells més alts d'exposició.

Les anàlisis per a PM2.5 i el seu terme quadràtic (sq\_PM2.5) mostren efectes significatius en diverses emocions. Amb la por ( $\beta = 0,455$ ,  $p < .001$ ) i la felicitat ( $\beta = 1,102$ ,  $p < .001$ ), es van observar coeficients positius en el terme lineal, indicant que nivells més alts de PM2.5 s'associen amb un augment en aquestes emocions. No obstant això, el terme quadràtic va mostrar efectes negatius significatius en ambdues emocions (por:  $\beta = -0,473$ ,  $p < .001$ ; felicitat:  $\beta = -0,750$ ,  $p < .001$ ), suggerint una relació en forma de U invertida.

Per a la tristesa, es va trobar un coeficient negatiu significatiu en el terme lineal ( $\beta = -0,620$ ,  $p < .001$ ), amb un coeficient quadràtic positiu ( $\beta = 0,298$ ,  $p < .001$ ), indicant un comportament en forma de U, on la tristesa disminueix amb els primers increments de PM2.5, però augmenta a nivells d'exposició més alts. De la mateixa manera, la sorpresa va mostrar un comportament en forma de U, amb un coeficient positiu en el terme lineal ( $\beta = 0,483$ ,  $p < .001$ ) i un coeficient quadràtic negatiu ( $\beta = -0,256$ ,  $p = .003$ ).

Finalment, la neutralitat va presentar un coeficient quadràtic positiu ( $\beta = 0,421$ ,  $p < .001$ ), suggerint una relació no lineal, tot i que no es van trobar efectes significatius en el terme lineal ( $p = 0,206$ ).

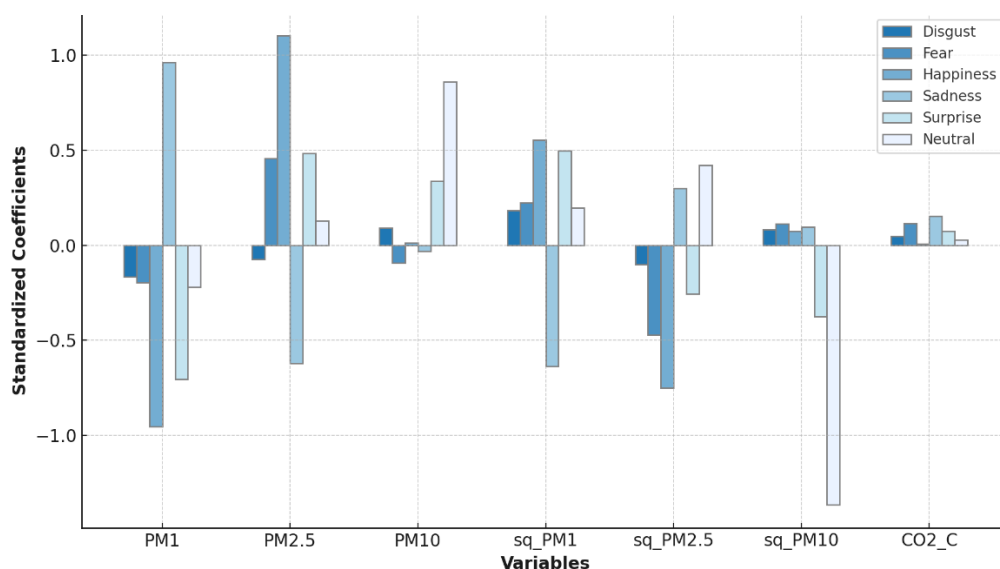
L'anàlisi dels efectes de PM10 i el seu terme quadràtic (sq\_PM10) en les emocions va mostrar alguns resultats significatius en les emocions de sorpresa i neutralitat. Per al terme lineal de PM10, es va observar un coeficient positiu significatiu en sorpresa ( $\beta = 0,337$ ,  $p < .001$ ) i neutralitat ( $\beta = 0,858$ ,  $p < .001$ ), suggerint que nivells més alts de PM10 s'associen amb un augment en aquestes emocions. El terme quadràtic (sq\_PM10) també va mostrar efectes significatius en sorpresa ( $\beta = -0,374$ ,  $p < .001$ ) i neutralitat ( $\beta = -1,364$ ,  $p < .001$ ), indicant una relació no lineal, amb una disminució d'aquestes emocions a nivells més alts de PM10.

Per al fàstic, la por, la tristesa, la sorpresa i la neutralitat, el CO<sub>2</sub> té un impacte positiu i significatiu. Concretament, en fàstic ( $\beta = 0,048$ ,  $p < .001$ ), por ( $\beta = 0,115$ ,  $p < .001$ ), tristesa ( $\beta = 0,152$ ,  $p < .001$ ), sorpresa ( $\beta = 0,075$ ,  $p < .001$ ) i neutralitat ( $\beta = 0,029$ ,  $p < .001$ ), un augment dels nivells de CO<sub>2</sub> s'associa amb un increment en aquestes emocions. No es van trobar efectes significatius en la felicitat ( $p = 0,180$ ). Aquests resultats són parcialment consistents amb investigacions prèvies, especialment pel que fa a la relació entre el CO<sub>2</sub> i les emocions negatives. Tot i que no es va observar una correlació positiva de Spearman entre CO<sub>2</sub> i la por, el coeficient del model de regressió va revelar un coeficient petit però significatiu amb la por. Això dona suport a la idea que un augment del CO<sub>2</sub> podria estar relacionat amb un increment en els nivells de por, cosa que és consistent amb la literatura (Colasanti et al., 2012).

Per visualitzar millor els efectes de cada variable ambiental en les emocions, la Figura 10 presenta els coeficients de regressió estandarditzats.

**Figura 10**

*Coefficients de regressió estandarditzats per cada emoció*



*Nota.* Elaboració pròpia.

### 4.3.1 Discussió

Els resultats van revelar correlacions significatives, encara que febles, entre els nivells de CO<sub>2</sub> i diverses emocions, especialment les de connotacions negatives. Es van trobar associacions positives entre el CO<sub>2</sub> i emocions com la ràbia ( $\rho = 0,098$ ,  $p < 0,001$ ), el fàstic ( $\rho = 0,078$ ,  $p < 0,001$ ) i la tristesa ( $\rho = -0,051$ ,  $p < 0,001$ ). Aquestes correlacions suggereixen que nivells més alts de CO<sub>2</sub> poden estar associats amb un augment en les emocions negatives. Aquests resultats són parcialment consistents amb investigacions anteriors, especialment pel que fa a la relació entre el CO<sub>2</sub> i les emocions negatives. Tot i que no es va trobar una correlació positiva de Spearman entre CO<sub>2</sub> i la por, el model de regressió va revelar un petit però significatiu coeficient amb la por,

cosa que reforça la idea que un augment del CO<sub>2</sub> podria estar relacionat amb un increment en els nivells de por, d'acord amb la literatura (Colasanti et al., 2012).

A banda dels efectes del CO<sub>2</sub>, el PM<sub>2,5</sub> va mostrar una correlació feble però significativa amb emocions com la ràbia ( $\rho = 0,016$ ,  $p = 0,006$ ), el fàstic ( $\rho = 0,023$ ,  $p < 0,001$ ) i la por ( $\rho = 0,017$ ,  $p = 0,003$ ), mentre que el PM<sub>10</sub> es va associar de manera similar amb el fàstic ( $\rho = 0,029$ ,  $p < 0,001$ ) i la por ( $\rho = 0,014$ ,  $p = 0,015$ ).

Aquests resultats són coherents amb la literatura existent, que indica l'impacte significatiu del PM interior, especialment el PM<sub>2,5</sub>, en el benestar emocional. Li et al., (2019) i Shan et al. (2021) han demostrat que l'augment dels nivells de PM<sub>2,5</sub> està correlacionat amb respostes emocionals negatives, com s'ha observat en publicacions a les xarxes socials. De manera similar, l'anàlisi de Kulebanova et al. (2024) sobre PM<sub>10</sub> va posar de manifest una relació entre l'augment dels nivells de PM i una percepció pública negativa, recolzant així els nostres resultats.

A més, la recerca de Cakmak (2016) destaca com la salut emocional pot modular els efectes de la contaminació de l'aire, mostrant que les persones amb un nivell de felicitat inferior són més vulnerables als seus impactes adversos. Això podria explicar la variabilitat en les respostes emocionals davant dels factors ambientals observada en el nostre estudi, on les emocions més negatives es correlacionaven amb nivells més elevats de contaminants.

Pel que fa als models de regressió, es va observar un patró per a l'emoció neutra. L'increment inicial del PM<sub>10</sub> augmenta la probabilitat d'emoció neutra, cosa que pot indicar una disminució en la intensitat o freqüència d'altres emocions. L'emoció neutra pot predominar quan altres emocions bàsiques no s'expressen. Tot i que aquesta observació no és definitiva, suggereix que nivells més alts de PM podrien reduir l'excitació cognitiva i emocional necessària per desencadenar reaccions emocionals més intenses. Això s'alinea amb estudis anteriors que han mostrat que una qualitat de l'aire deficient, especialment amb nivells elevats de PM i CO<sub>2</sub>, s'associa amb un rendiment cognitiu i una implicació emocional reduïts (Shaughnessy et al., 2006;

Clements-Croome, 2012; Bogdanovica et al., 2020). A mesura que disminueixen les respostes cognitives i emocionals, els estats emocionals neutrals podrien esdevenir més prevalents. No obstant això, calen més investigacions per explorar plenament els mecanismes darrere d'aquesta relació.

L'anàlisi de regressió per a la tristesa va revelar una relació positiva amb els nivells de PM<sub>1</sub>, amb un coeficient lineal de 0,961 ( $p < 0,001$ ), indicant que nivells més alts de PM<sub>1</sub> estan inicialment associats amb un augment en els sentiments de tristesa. El coeficient quadràtic negatiu de -0,636 ( $p < 0,001$ ) suggereix una disminució de la tristesa en nivells més alts de PM<sub>1</sub>, posant de manifest una relació no lineal. Aquest patró indica una corba en forma d'U invertida, on la tristesa augmenta amb els increments inicials de PM<sub>1</sub> però comença a disminuir a mesura que els nivells de PM<sub>1</sub> continuen augmentant. Tot i que la literatura no aborda específicament el PM<sub>1</sub>, els nostres resultats són consistents amb la investigació general que vincula la matèria particulada amb respostes emocionals negatives (Li et al., 2019; Shan et al., 2021; Kulebanova et al., 2024), inclòs un augment de les visites a urgències per trastorns de salut mental entre joves (Szyszkowicz et al., 2020).

A més de la tristesa, altres emocions com la felicitat i la sorpresa també van mostrar relacions no lineals significatives amb els nivells de PM<sub>1</sub>. Per a la felicitat, vam trobar un coeficient lineal negatiu ( $\beta = -0,954$ ,  $p < 0,001$ ) i un coeficient quadràtic positiu ( $\beta = 0,552$ ,  $p < 0,001$ ), indicant una relació en forma de U. Això suggereix que la felicitat disminueix amb els increments inicials de PM<sub>1</sub>, però comença a augmentar de nou a nivells d'exposició més alts. De manera similar, la sorpresa va mostrar un coeficient lineal negatiu ( $\beta = -0,705$ ,  $p < 0,001$ ) i un coeficient quadràtic positiu ( $\beta = 0,496$ ,  $p < 0,001$ ), reflectint un patró comparable. Aquests resultats impliquen que l'impacte del PM<sub>1</sub> en les respostes emocionals és complex i varia segons les diferents emocions, fet que necessita una investigació més aprofundida per comprendre els mecanismes subjacents.

En general, els resultats suggereixen que una qualitat de l'aire deficient s'associa amb emocions negatives. Tanmateix, es necessita més recerca per entendre plenament

les subtileses de com les fluctuacions en la qualitat de l'aire afecten les emocions. Constructes com la Sensibilitat Afectiva a la Contaminació de l'Aire (ASAP) (Ng et al., 2024), ofereixen marcs prometedors per explorar més a fons com la sensibilitat individual a la qualitat de l'aire impacta en el benestar emocional.

A més dels efectes emocionals, és important reconèixer els impactes cognitius i de salut ben documentats d'una qualitat de l'aire deficient. Els nivells elevats de CO<sub>2</sub> i PM s'han demostrat que redueixen el rendiment cognitiu, especialment en tasques que requereixen concentració i resolució de problemes (Shaughnessy et al., 2006; Clements-Croome, 2012). Aquest baix rendiment cognitiu també pot influir en les emocions, ja que, segons Pekrun et al. (2012), una activitat d'aprenentatge pot generar emocions negatives, com ansietat, confusió o frustració, i aquestes poden predisposar a l'abandonament de l'activitat, impactant així la participació i el rendiment acadèmic.

#### 4.4 IMPACTE DE LA IL·LUMINACIÓ DINÀMICA EN EL RENDIMENT ACADÈMIC

L'estudi va utilitzar un disseny pre-experimental amb un únic grup, avaluat en diferents moments del dia per observar l'impacte de la il·luminació dinàmica. Addicionalment, es va mesurar l'efecte del gènere dels estudiants. Les dades es van recollir mitjançant proves de competències bàsiques en sis escenaris d'il·luminació variada, amb l'objectiu de mesurar l'efecte d'aquestes condicions en la comprensió lectora i la resolució de problemes matemàtics. Les proves es van realitzar utilitzant versions diferents en sis escenaris d'il·luminació:

- a. **9:10 h:** Il·luminació càlida (3000K) i il·luminació freda (5000K)
- b. **11:30 h:** Il·luminació càlida (3000K) i il·luminació freda (5000K)
- c. **15:10 h:** Il·luminació càlida (3000K) i il·luminació freda (5000K)

Per analitzar la influència de la temperatura de color de la llum en el rendiment acadèmic dels estudiants, es van dur a terme diverses proves estadístiques. Primer, es va realitzar una anàlisi descriptiva per obtenir una visió general de les dades. A

continuació, es va aplicar la prova de Friedman per avaluar si existien diferències significatives en el rendiment dels estudiants sota diferents temperatures de color de la llum (3000K i 5000K).

La taula 9 presenta un resum de les estadístiques descriptives per a les variables de comprensió lectora i resolució de problemes matemàtics en diferents escenaris de temperatura de color de la llum (3000K i 5000K) i moments del dia (9:10 h., 11:30 h., 15:10 h.).

**Taula 9**

*Estadístics descriptius dels escenaris d'il·luminació*

| Variable        | Il·luminació | Hora   | N  | Valors perduts | Mediana | Mitjana | Desviació estàndard |
|-----------------|--------------|--------|----|----------------|---------|---------|---------------------|
| Comp.lectora    | Natural      | 9.10h  | 19 | 1              | 4,666   | 4,421   | 0,693               |
| Res.prob.matem. | Natural      | 9.10h  | 19 | 1              | 4,062   | 3,569   | 1,474               |
| Comp.lectora    | 3000k        | 11.30h | 19 | 1              | 4,000   | 3,776   | 0,893               |
| Res.prob.matem. | 3000k        | 11.30h | 19 | 1              | 4,375   | 4,062   | 0,988               |
| Comp.lectora    | 5000k        | 15.10h | 18 | 2              | 4,375   | 4,271   | 0,577               |
| Res.prob.matem. | 5000k        | 15.10h | 18 | 2              | 4,219   | 3,680   | 1,243               |
| Comp.lectora    | 5000k        | 9.10h  | 20 | 0              | 4,642   | 4,392   | 0,778               |
| Res.prob.matem. | 5000k        | 9.10h  | 20 | 0              | 4,219   | 4,000   | 0,970               |
| Comp.lectora    | 5000k        | 11.30h | 20 | 0              | 4,285   | 3,946   | 0,986               |
| Res.prob.matem. | 5000k        | 11.30h | 20 | 0              | 3,749   | 3,598   | 1,085               |
| Comp.lectora    | 3000k        | 15.10h | 20 | 0              | 4,375   | 4,359   | 0,541               |
| Res.prob.matem. | 3000k        | 15.10h | 20 | 0              | 4,271   | 3,953   | 1,045               |
| Comp.lectora    | 3000k        | 9.10h  | 19 | 1              | 4,333   | 4,140   | 0,826               |
| Res.prob.matem. | 3000k        | 9.10h  | 19 | 1              | 4,375   | 3,706   | 1,200               |

*Nota.* Elaboració pròpia. “Comp.lectora” és comprensió lectora; “Res.prob.matem” es resolució de problemes matemàtics.

Pel que fa a la comprensió lectora, es poden observar diferències en les mitjanes del rendiment segons l'hora del dia i la temperatura de color de la llum. Per exemple, la comprensió lectora a les 9:10 hs. sota llum freda de 5000K mostra una mitjana de

4,39, que és superior en comparació amb altres condicions, apart de la llum natural a les 9:10 hs que té gairebé la mateixa puntuació mitjana (4,42).

En relació amb la resolució de problemes matemàtics, les mitjanes són generalment més baixes i hi ha una major variabilitat entre les condicions. No obstant això, les diferències no van resultar ser estadísticament significatives, cosa que suggereix una estabilitat en el rendiment matemàtic independentment de l'hora del dia o la temperatura de color. La puntuació més alta en resolució de problemes matemàtics es va observar a les 9:10 h sota llum freda de 5000K, amb una mitjana de 4,22.

A més, la desviació estàndard per a les puntuacions de comprensió lectora és generalment menor que per a la resolució de problemes matemàtics, indicant una menor variabilitat en les puntuacions de lectura.

Segons la prova de normalitat de Shapiro-Wilk, indicada per a mostres petites, les variables no s'ajustaven a la distribució normal ( $p < 0,05$ ), excepte una. Totes les variables presentaven valors d'asimetria negativa, indicant una tendència a l'acumulació de casos amb puntuacions elevades. Per tot això, es va aplicar proves estadístiques no paramètriques.

La prova de Friedman, l'equivalent no paramètric de l'ANOVA de mesures repetides, es va utilitzar per avaluar les diferències en el rendiment dels estudiants sota diferents condicions d'il·luminació al llarg del dia. El resultat va indicar una diferència estadísticament significativa en el rendiment segons la temperatura de color de la llum ( $\chi^2(10) = 23,651$ ,  $p = 0,009$ ). Això suggereix que la llum, ja sigui càlida (3000K) o freda (5000K), té un impacte significatiu, al menys entre alguns escenaris. El coeficient de concordança de Kendall ( $W = 0,487$ ) suggereix una associació moderada entre les variables, indicant que les variacions en la temperatura de color expliquen una proporció moderada de la variabilitat en el rendiment.

Les comparacions *post hoc* de Conover van revelar diferències significatives en el rendiment de comprensió lectora sota diferents condicions d'il·luminació i moments del dia. En primer lloc, la llum natural a les 9:10 h va donar lloc a un rendiment



significativament millor en comprensió lectora en comparació amb la llum artificial de 3000K a les 11:30 h. Aquest resultat suggereix que la llum natural és més favorable per a la comprensió lectora que la llum artificial càlida de 3000K, especialment durant les primeres hores del matí.

De manera similar, en comparar diferents temperatures de color, la llum de 5000K a les 9:10 h va conduir a un millor rendiment en comparació amb la llum de 3000K a les 11:30 h. Això indica que la llum freda, com la de 5000K, pot millorar la comprensió lectora de manera més efectiva que la llum càlida de 3000K, especialment quan s'utilitza en les primeres hores del dia.

No es van trobar diferències estadísticament significatives entre la llum natural i les diverses condicions d'il·luminació de 5000K (mesurades a les 9:10 h, 11:30 h i 15:10 h). Tot i que es va observar una lleugera millora en comparar la llum natural i la llum de 5000K a les 11:30 h, la diferència no va ser significativa.

Aquests resultats, en general, s'alineen amb investigacions anteriors que demostren l'impacte positiu de les temperatures de color correlacionades més altes en el rendiment cognitiu. Estudis de Monteoliva et al. (2016), Liu et al. (2022), Keis et al. (2014), Harstein et al. (2021) i Moeller et al. (2011) han mostrat que una TCC més alta millora el rendiment cognitiu, l'atenció i la motivació. A més, Rautkylä et al. (2010) van trobar que l'ús de TCC altes en entorns d'aprenentatge millora l'alerta subjectiva dels estudiants, afavorint una major concentració i implicació durant les activitats acadèmiques. En relació específica amb la comprensió lectora, Mott et al. (2016) van trobar que un ambient amb una configuració de 6500K i 1000lx era més efectiu per millorar la concentració i el rendiment en lectura que les configuracions de TCC més baixes (3000K i 500lx), la qual cosa es correlaciona estretament amb els resultats del nostre estudi.

A més, el moment del dia en si sembla jugar un paper important. Sota la mateixa il·luminació de 3000K, els estudiants van obtenir millors resultats a les 11:30 h que a les 15:10 h, la qual cosa suggereix que la capacitat per comprendre material de lectura

pot disminuir a mesura que avança el dia, independentment de la temperatura de color de la llum. També cal tenir en compte que a les 11:30 h els estudiants venen d'una breu estona de pati i podria donar-se un efecte de major activació que promogui un millor rendiment.

Pel que fa a la resolució de problemes matemàtics, no es van trobar efectes significatius de les condicions d'il·luminació ( $F(6, 90) = 0.963, p = 0,073$ ). De la mateixa manera, les diferències de gènere no van ser significatives ( $F(1, 15) = 0.704, p = 0,200$ ), i no es va trobar cap interacció significativa entre el gènere i la il·luminació ( $F(6, 90) = 1,463, p = 0,200$ ), cosa que indica que les condicions d'il·luminació no van influir en les diferències de rendiment entre els estudiants masculins i femenins. Altres escenaris van mostrar diferències en els resultats, però aquestes no van ser estadísticament significatives després d'aplicar els ajustos per comparacions múltiples, la qual cosa suggereix que els efectes observats podrien deure's a l'atzar o no ser prou robustos. Això suggereix que, malgrat els canvis en les condicions d'il·luminació i l'hora del dia, el rendiment en competència matemàtica es manté relativament constant i no es veu influenciat de manera significativa per aquestes variables. Aquests resultats contrasten amb estudis anteriors que han destacat els efectes positius de la llum freda en les habilitats matemàtiques. Per exemple, Choi i Suk (2016) i Hviid et al. (2021) van trobar que una TCC més alta, especialment quan es combinava amb factors com la ventilació, millorava el rendiment en matemàtiques. Aquestes discrepàncies suggereixen que cal més recerca per explorar com la il·luminació interactua amb altres condicions de l'aula per influir en els resultats d'aprenentatge en entorns reals.

En darrer terme, les nostres troballes no van revelar diferències significatives en la interacció entre el gènere i els escenaris lumínics en el rendiment en comprensió lectora ( $F(6, 90) = 1,031, p = 0,411$ ) ni en la resolució de problemes matemàtics ( $F(6, 90) = 1,463, p = 0,200$ ) sota les diverses condicions d'il·luminació. Tot i que Yang i Jeon (2020) van observar diferències de gènere en la percepció de la il·luminació però no en el rendiment entre estudiants universitaris, no es coneixen altres estudis que explorin aquest aspecte, especialment en poblacions més joves.

En resum, els resultats obtinguts en aquest estudi mostren que la temperatura de color de la llum, particularment la llum freda de 5000K, pot influir significativament en la comprensió lectora dels estudiants, especialment en determinats moments del dia. Tot i que no es van observar diferències significatives en el rendiment matemàtic, aquests resultats suggereixen que l'ajust de la il·luminació a les necessitats específiques de l'activitat i l'hora al llarg de la jornada escolar podria ser una estratègia per optimitzar el rendiment acadèmic.

## 4.5 EFECTE DEL SOROLL EN L'APRENTATGE

L'estudi va examinar com el soroll ambiental a l'aula afecta l'aprenentatge, concretament el rendiment acadèmic i cognitiu d'estudiants de primària i secundària, considerant el tipus de soroll, l'edat dels estudiants, l'etapa educativa i les funcions cognitives i acadèmiques, com a variables en aquesta interacció.

L'impacte del soroll en el rendiment acadèmic i cognitiu ha estat objecte d'una àmplia investigació. Diverses revisions sistemàtiques i metaanàlisis han explorat aquesta qüestió, proporcionant una comprensió variada de com el soroll afecta diferents grups poblacionals i habilitats cognitives. Per exemple, Szalma i Hancock (2011) van destacar el soroll com un estressor significatiu que afecta les respostes cognitives i motores en adults. Clark et al. (2021) van trobar que el soroll d'avions disminuïa la comprensió lectora i augmentava la hiperactivitat en nens, mentre que Thompson et al. (2022) van revisar l'efecte del soroll ambiental al llarg de la vida. Liang et al. (2024) van identificar un impacte negatiu del soroll de baixa freqüència en les funcions cognitives d'ordre superior.

Aquest metaanàlisi es diferencia dels estudis anteriors en avaluar com el soroll ambiental i de l'aula afecta el rendiment cognitiu i acadèmic de nens i adolescents. Es va dur a terme una revisió sistemàtica de la literatura i un metaanàlisi seguint les etapes d'identificació, cribatge, elegibilitat i inclusió, tal com es detalla a les directrius PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, 2020). Integrant

dades de múltiples estudis, permet obtenir una estimació quantitativa més robusta i generalitzable dels efectes del soroll, així com identificar possibles moderadors com el tipus de soroll i les característiques dels estudiants. Un resum dels estudis, les seves característiques i els resultats s'inclou en la [taula 1 de l'apèndix](#) per la seva grandària, amb les mides de l'efecte, les mides de les mostres i els rangs d'edat coberts.

En l'anàlisi dels estudis inclosos, es van identificar diversos efectes del soroll, especialment el soroll del trànsit i el soroll a l'interior de l'aula, sobre diferents tipus de rendiment cognitiu i acadèmic. Es va examinar una gran varietat de processos relacionats amb l'aprenentatge, que van classificar en categories més àmplies, que inclouen la comprensió i processament del llenguatge, la velocitat de processament, el control executiu, l'atenció, les habilitats matemàtiques, el rendiment acadèmic, les habilitats visuoespacials i la memòria.

El mètode utilitzat va ser la *Restricted Maximum Likelihood* (REML) per estimar els efectes aleatoris. REML és una tècnica robusta i adequada per al metaanàlisi quan s'espera variabilitat entre els estudis, ja que ajusta l'estimació de la variància dels efectes aleatoris, proporcionant una estimació més precisa en comparació amb mètodes menys sofisticats. Aquest mètode és especialment útil quan les mides de les mostres varien entre els estudis i es desitja una estimació imparcial de l'heterogeneïtat.

Es va realitzar la Prova Òmnibus dels Coeficients del Model per avaluar la significació global del model. La prova va produir un valor Q de 36,921 amb 17 graus de llibertat, i el resultat va ser estadísticament significatiu ( $p < 0,001$ ). Això indica que els coeficients del model contribueixen col·lectivament a la predicció de la variable de resultat.

Les mesures d'ajust per al mètode d'estimació de REML indiquen l'adequació del model per explicar la variabilitat de les dades. El valor del Log-Likelihood va ser -95,417, la Deviance va ser 190,834, el Criteri d'Informació d'Akaike (AIC) va ser 228,834, el Criteri d'Informació Bayesiana (BIC) va ser 283,893, i el Criteri d'Informació d'Akaike Corregit (AICc) va ser 235,500. Aquestes mesures suggereixen

que el model ofereix un ajustament raonable per a les dades, amb valors més baixos d'AIC, BIC i AICc que indiquen un bon rendiment del model.

En l'anàlisi dels coeficients, es va trobar que la intercepció era estadísticament significativa amb una estimació de  $-0,352$  ( $p = 0,020$ ), indicant un efecte basal negatiu quan totes les altres variables es mantenen constants. La categoria d'edat "Infants" també va mostrar un resultat altament significatiu amb una estimació de  $-0,350$  ( $p = 0,007$ ), suggerint que els infants tenen un rendiment significativament inferior en les condicions estudiades. El soroll del trànsit va mostrar una estimació positiva de  $0,477$  ( $p = 0,088$ ), tot i que no va ser estadísticament significativa, cosa que podria deure's a interaccions complexes amb altres variables que no s'han controlat adequadament. Encara que el soroll a l'aula no va ser estadísticament significatiu, va mostrar una tendència negativa amb una estimació de  $-0,161$  ( $p = 0,436$ ), indicant una possible relació negativa entre aquest tipus de soroll i el rendiment acadèmic. Les funcions de memòria i de llenguatge també van mostrar tendències negatives amb estimacions de  $-0,127$  ( $p = 0,461$ ) i  $-0,152$  ( $p = 0,318$ ), respectivament. A més, el soroll ambiental alt va presentar una estimació de  $-0,045$  ( $p = 0,820$ ), i les habilitats visuoespacials una estimació de  $-0,064$  ( $p = 0,856$ ), tot i que cap d'aquestes no va ser estadísticament significativa.

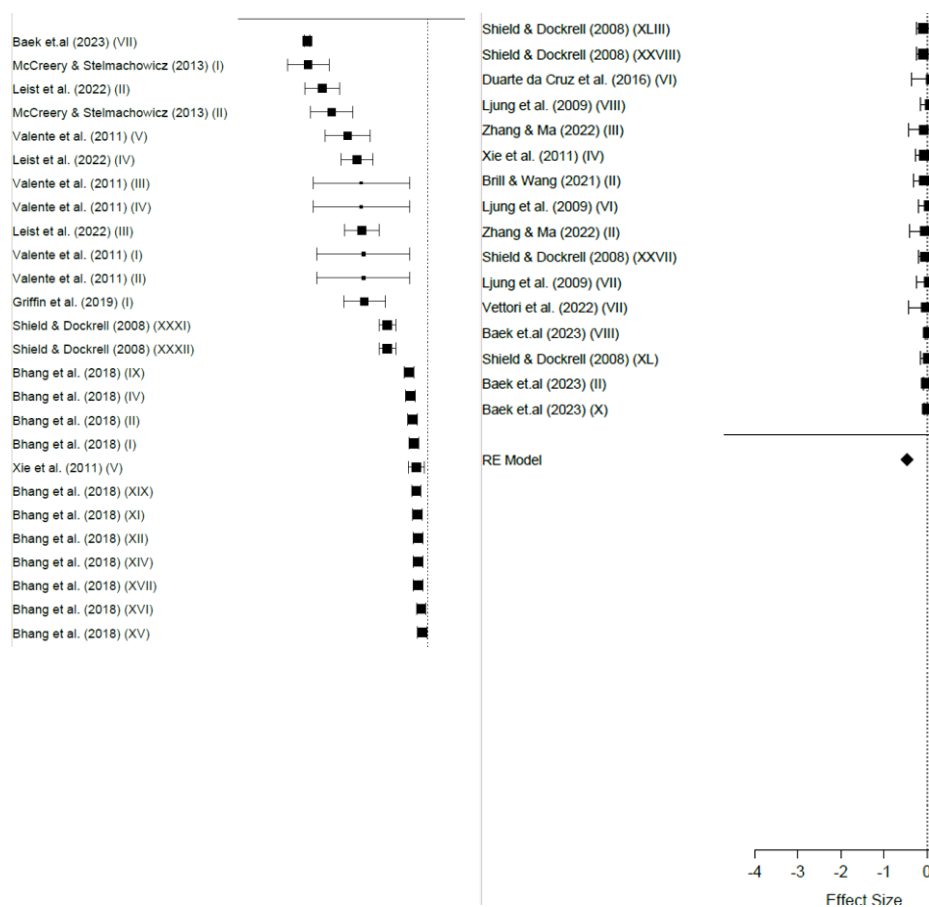
L'anàlisi va revelar una heterogeneïtat residual significativa entre els estudis, tal com ho indica un valor de  $\tau^2$  de  $0,207$  i un valor d' $I^2$  del  $96,943\%$ . Aquest alt valor d' $I^2$  suggereix que aproximadament el  $97\%$  de la variabilitat en les mides de l'efecte es deu a diferències entre els estudis, més que no pas a l'error de mostreig. La prova d'heterogeneïtat residual (Q) ho reforça, amb un valor de  $8,320,079$  ( $df = 134$ ,  $p < 0,001$ ), indicant que l'heterogeneïtat és estadísticament significativa. Aquests resultats subratllen la variació en els efectes del soroll sobre el rendiment cognitiu i acadèmic entre els estudis. L'heterogeneïtat podria atribuir-se a múltiples factors, incloent el gran nombre de mides d'efecte reportades, les diferències en les edats dels participants, els nivells acadèmics, els tipus de soroll i la varietat de processos cognitius i acadèmics avaluats.

### 4.5.1 Visualització dels resultats

La mida del efecte és va resultar de  $-0,46$  indica una magnitud moderada segons les directrius de Cohen. Això suggereix que la variable independent (en aquest cas, el soroll) té un impacte negatiu en la variable dependent (rendiment acadèmic o cognitiu). L'interval de confiança del 95% ( $-0,54$  a  $-0,38$ ) indica que, ja que l'interval és inferior a zero i no inclou zero, podem afirmar que l'efecte negatiu del soroll és significatiu i no es deu a l'atzar. Es pot veure parcialment l'efecte general i els efectes específics a la Figura 11. Per la seva grandària, el gràfic complet es pot visualitzar correctament i ampliar amb el zoom en l'enllaç: <https://drive.google.com/file/d/1qxFp379wXZph6SYYxrZ-GUGXEOKs6Bof/view?usp=sharing>

**Figura 11**

*Vista parcial de forest plot de l'efecte general i específics*



*Nota.* Elaboració pròpia.

La majoria de les mides d'efecte es troben al costat esquerre de la línia, cosa que indica un impacte negatiu del soroll en el rendiment. Els valors negatius més substancials corresponen a -3,01 [-3,07, -2.95] reportats per Baek et al. (2023) amb un petit interval de confiança, -2.98 [-3,50, -2.46] i -2.40 [-2.92, -1.88] reportats per McCreery i Stelmachowicz (2013), -2.63 [-3,06, -2.20] per Leist et al. (2022), i -2.0 [-2.56, -1.44] per Valente et al. (2011).

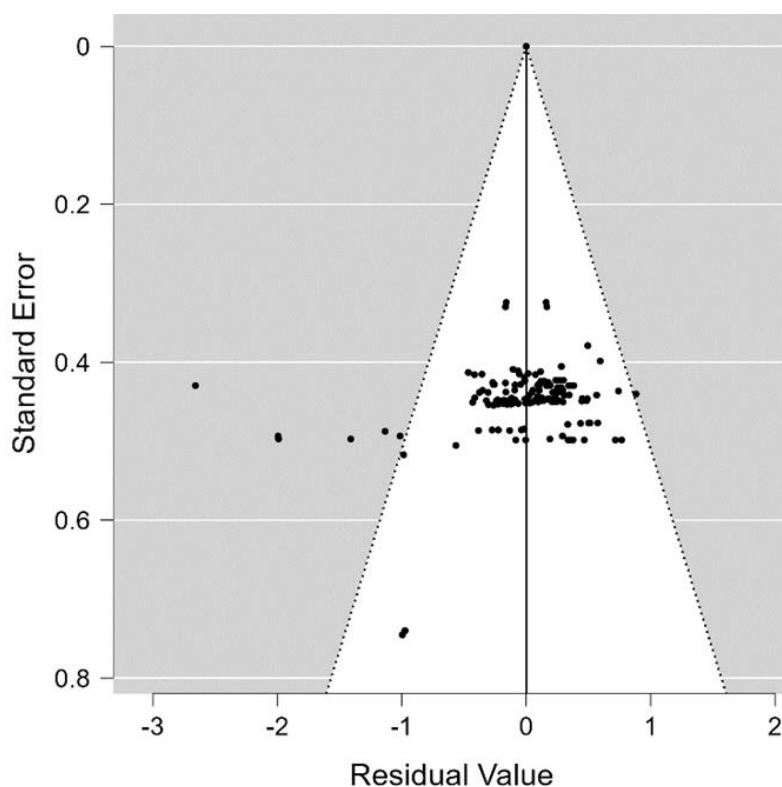
Baek et al. (2023) van reportar una mida d'efecte gran, mostrant una diferència significativa en les puntuacions de percepció entre els grups d'alta exposició i control en una mostra gran de 989 participants. McCreery i Stelmachowicz (2013) van destacar una reducció significativa en l'exactitud amb una amplada de banda reduïda, amb una major exactitud observada a 9 dB SNR en comparació amb 3 dB SNR en el procés d'Exactitud en la Repetició de No-Paraules, tot i que la seva mostra era de 17 subjectes. Leist et al. (2022) van descobrir que el soroll afecta negativament la percepció del discurs en nens de 6-8 anys. En el seu estudi, van comparar el silenci amb condicions binaurals ( $L_{Aeq} = 63$  dB, SNR -3dB) i van trobar un efecte negatiu significatiu. Això ressaltava l'impacte perjudicial del soroll en la capacitat dels infants petits per entendre el discurs. A més, Valente et al. (2011) van demostrar un impacte negatiu significatiu del soroll a l'aula i de la reverberació en el rendiment de la comprensió en alumnes d'edat escolar primària. L'estudi va utilitzar un entorn d'aula simulat amb temps de reverberació i nivells de soroll de fons variables, mostrant que ambdós factors reduïen el rendiment en les tasques de comprensió.

En canvi, els efectes positius reportats van ser petits i no significatius, ja que incloïen 0. Ljung et al. (2009) van reportar un petit efecte del discurs irrellevant en la comprensió lectora amb  $L_{Aeq} = 66$  dBA i un murmur de fons al voltant de 62 dBA, amb un rang de freqüències dominant entre 500-1500 Hz, indicant que el discurs irrellevant millora lleugerament la comprensió lectora, encara que la mida de l'efecte era petita. Duarte da Cruz et al. (2016) van comparar el soroll a l'aula en un grup de control i un grup experimental en la primera avaluació amb participants de 8 anys. Els resultats van mostrar una lleugera preferència cap al grup de control, però aquesta diferència no va ser significativa, i els autors no van poder explicar aquest resultat.

El *funnel plot* o gràfic d'embut (Figura 12) va mostrar una distribució raonablement simètrica dels punts al voltant del valor mitjà de l'efecte, cosa que suggereix una absència parcial de biaix de publicació. La majoria dels estudis es concentren al centre, indicant que les mides d'efecte estimades són consistents i fiables. No obstant això, s'observa una asimetria a la part inferior del gràfic, indicant un possible biaix de publicació degut a la manca d'estudis amb efectes positius, tot i que això no és esperat. Així mateix, l'efecte del soroll en l'aprenentatge podria estar sobreestimat perquè no vam poder incloure els efectes no significatius del soroll, ja que en molts casos, els autors no especifiquen les dades concretes per calcular-los. Tot i que podríem haver-los inclòs amb una mida d'efecte de 0, això també hauria estat una imprecisió. Per tant, encara que hi ha indicis de consistència en les mides d'efecte, no es pot descartar la presència de biaix de publicació.

### Figura 12

*Gràfic d'embut de l'anàlisi de biaix de publicació*



*Nota.* Elaboració pròpia.



Per concloure, els resultats obtinguts en aquest metaanàlisi responen a l'objectiu específic d'examinar com el soroll ambiental a l'aula afecta l'aprenentatge dels estudiants de primària i secundària. S'ha demostrat que el soroll té un impacte significatiu i negatiu en el rendiment acadèmic i cognitiu dels infants i adolescents, amb una mida de l'efecte general de -0.46 (IC del 95%: -0.54 a -0.38). L'edat és un factor moderador, ja que el soroll afecta més els infants. Tot i que altres variables, com certes funcions cognitives (memòria, comprensió i processament del llenguatge, atenció, habilitats visuoespacials i control executiu), no van mostrar resultats estadísticament significatius, es va observar una tendència cap a la disminució del rendiment en aquestes funcions sota condicions de soroll. Això suggereix que, encara que l'efecte del soroll en aquestes funcions no sigui sempre estadísticament significatiu, podria haver-hi una influència negativa que mereix més investigació.

# 5 CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.

—Mark Weiser, *1991*

Aquest capítol presenta les conclusions de la investigació, estructurades en funció dels objectius específics plantejats. Es recordaran els principals resultats, la contribució de cada estudi, així com les limitacions i les futures línies de recerca. A més, s'ha elaborat una conclusió integrativa de la tesi.

## 5.1 MONITORATGE AMBIENTAL I ESTRÈS DOCENT

L'estudi ha tingut com a objectiu principal explorar com les condicions ambientals, les activitats d'ensenyament-aprenentatge i el moment del dia influeixen en l'estrès dels professors. Per aconseguir-ho, s'ha utilitzat un enfocament que combina el monitoratge de la freqüència cardíaca (FC) mitjançant un rellotge intel·ligent amb l'anàlisi de les condicions ambientals i les activitats educatives diàries.

En particular, s'han observat diferències significatives en la FC dels participants segons la temperatura, la irradiància solar i les activitats realitzades, amb variacions entre individus que suggereixen la influència de factors personals. Aquesta variabilitat destaca la necessitat d'enfocar la prevenció de l'estrès docent de manera personalitzada tenint en compte les característiques individuals.

L'estudi ha demostrat la viabilitat d'utilitzar un dispositiu comercial com un rellotge intel·ligent per monitoritzar l'estrès mitjançant la mesura de la FC en temps real i de manera contínua, amb la possibilitat d'emmagatzemar les dades. En aquest context, la FC s'ha utilitzat com a indicador de l'estrès, basant-se en la seva relació amb l'activació del sistema nerviós simpàtic, una resposta fisiològica comuna al estrès (Thayer et al., 2012). Encara que la FC no mesura l'estrès de manera directa, proporciona informació valuosa sobre les respostes fisiològiques dels individus davant de les diferents activitats i condicions ambientals. Això és rellevant en un entorn educatiu on l'estrès pot ser difícil de mesurar de manera subjectiva o psicològica, oferint una mesura objectiva i quantificable de les respostes fisiològiques. No obstant això, cal tenir en compte que la FC pot no capturar tota la complexitat de l'estrès i que les seves mesures poden ser influenciades per altres variables individuals o de l'entorn.

Aquest mètode ha permès identificar els moments crítics d'alta activació i la relació de diversos factors amb l'estrès dels docents, la qual cosa suposa una contribució innovadora en l'àmbit educatiu. La disponibilitat d'informació sistemàtica sobre variables personals i ambientals dels professors mitjançant dispositius assequibles subratlla la integració de les tecnologies de la Quarta Revolució Industrial en l'entorn educatiu i apropa al concepte d'aula intel·ligent (Palau i Mogas, 2019).

Les limitacions de l'estudi, es basen principalment en el fet que és un estudi pilot exploratori i correlacional amb una mostra molt petita, per la qual cosa no es poden extreure conclusions generalitzables a partir de les anàlisis desenvolupades. A més, el control de les activitats realitzades a classe va ser autoinformat pels participants fet que podia haver generat algunes inexactituds. Així mateix, altres variables poden influir en la FC sense que hi hagi de considerar-se estrès. Malgrat això, els resultats indiquen

tendències que poden guiar futures intervencions. Aquest estudi representa un primer pas cap a la integració pràctica dels rellotges intel·ligent ses en l'àmbit educatiu pel monitoratge i gestió de l'estrès docent, proporcionant una eina eficaç per identificar factors de risc i dissenyar estratègies preventives adaptades a les necessitats individuals.

Les futures investigacions han de tenir en compte les limitacions d'aquest estudi. S'ha d'ampliar la mostra i considerar altres mètodes de control, com la medicació de cortisol o la variabilitat de la FC, per obtenir una imatge més completa de l'estrès docent. Les investigacions podrien explorar com les polseres o rellotges intel·ligents poden ajudar a analitzar la FC en temps real i relacionar-la amb les activitats a l'aula mitjançant la captura d'imatges durant la classe. També caldria considerar factors ambientals interiors, com els nivells de soroll i la qualitat de l'aire. A més, seria útil avaluar la percepció del cos docent sobre l'ús i la utilitat d'aquests dispositius per predir l'actitud i la intenció d'utilitzar-los, des del Model d'Acceptació Tecnològica (TAM) (Davis, 1989).

## 5.2 INFLUÈNCIA DE LA TEMPERATURA I LA HUMITAT EN LES EMOCIONS DELS ESTUDIANTS

L'objectiu d'aquest estudi era analitzar la influència de les condicions de temperatura i humitat en les emocions dels estudiants, aplicant tecnologies emergents com la Internet de les Coses (IdC) i el reconeixement d'imatges de les emocions dels estudiants, per comprendre millor com les condicions ambientals influeixen en les emocions a l'aula.

Tant la temperatura com la humitat van influir en totes les emocions, amb major o menor intensitat, sent la temperatura el factor més influent. L'emoció de ràbia va ser la més afectada per aquests factors, amb el model de regressió explicant un 6,3% de la seva variabilitat, seguida de la tristesa, amb un 3,4%. A mesura que la temperatura augmenta, incrementa la intensitat de la ràbia, el fàstic, la felicitat i l'emoció neutra, mentre que disminueix la tristesa, la sorpresa i la por. Per la seva banda, la humitat

també augmenta la intensitat de la ràbia, el fàstic i la felicitat, però redueix la tristesa, la sorpresa, la por i l'emoció neutra. Els resultats han estat condicionats per les condicions específiques de temperatura (entre 27,5 °C i 30,6 °C) i humitat (entre 36,3% i 51,3%). Aquest context és essencial per entendre la magnitud i direcció dels efectes, on petites variacions dels factors ambientals poden promoure canvis emocionals que afecten el benestar i l'experiència d'aprenentatge dels estudiants.

Una de les principals contribucions d'aquest estudi és l'exploració de la relació entre les emocions i els factors de temperatura i humitat, un enfocament poc habitual ja que normalment s'enfoquen en el confort tèrmic autopercebut o en el rendiment cognitiu. Així mateix, la implementació de tecnologia avançada en un entorn d'aula natural, en lloc de basar-nos en percepcions dels estudiants o en situacions experimentals, suposa una innovació metodològica que ofereix dades més aplicables al món real. Aquest estudi proporciona una base per a futures investigacions sobre la integració de tecnologies intel·ligents en l'educació i les seves implicacions per al benestar emocional.

No obstant això, aquest estudi té certes limitacions que cal considerar. La variabilitat explicada per les condicions ambientals és modesta, amb valors de R baixos, el que suggereix que una gran part de la variabilitat en les emocions dels estudiants no està capturada per les variables ambientals estudiades. Això indica que altres factors, ambientals o de l'entorn, podrien estar influïent en les respostes emocionals. A més, l'ús de tecnologies IdC pot estar limitat per la precisió dels sensors, les fluctuacions ambientals no controlades, o la limitació en la captura de dades en temps real. Aquests factors limiten la generalització dels resultats, i futures investigacions haurien de considerar-les amb dissenys més complets, com estudis longitudinals o models estadístics avançats, i controlant possibles factors moderadors com la interacció entre altres factors ambientals o característiques individuals dels estudiants.

Les implicacions pràctiques d'aquest estudi subratllen la importància de monitoritzar i controlar les condicions ambientals a l'aula per millorar el benestar emocional dels estudiants. Mantenir un nivell de temperatura i humitat adequats

ajudaria a evitar la intensificació de la ràbia i podria contribuir a estabilitzar la tristesa, factors que poden afectar la disposició a l'aprenentatge. Aquest estudi també obre la porta a futures investigacions que podrien aprofundir en l'impacte d'altres variables ambientals o ampliar l'ús de tecnologies per a monitoritzar i millorar l'experiència en els espais d'aprenentatge.

Tanmateix, cal mencionar que aquest tipus d'eines, que proporcionaria informació al docent i li permetria prendre decisions per a la seva pràctica docent, es poden trobar barreres institucionals, legals i ètiques en la seva implementació, especialment pel que fa a la privacitat i seguretat de les dades (Unciti & Palau, 2024).

### 5.3 INFLUÈNCIA DE LA QUALITAT DE L'AIRE EN LES EMOCIONS DELS ESTUDIANTS

Aquest estudi tenia com a objectiu explorar la influència dels factors ambientals, incloent-hi partícules en suspensió ( $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ) i diòxid de carboni ( $CO_2$ ), en les emocions dels estudiants.

Els resultats del present estudi són destacables per la capacitat dels models de l'emoció neutra, por, tristesa, sorpresa i felicitat per explicar una part significativa de la variància en aquestes emocions, entre el 62% al 36% respectivament.

En el cas de l'emoció neutra, un augment en els nivells de  $PM_{10}$  inicialment incrementa l'expressió d'aquesta emoció, però la quadratura del  $PM_{10}$  redueix aquest efecte. De manera similar, passa amb la tristesa, un augment en els nivells de  $PM_1$  està associat amb un lleuger increment en l'expressió d'aquesta emoció, però l'efecte es redueix quan es considera la seva quadratura. Això suggereix que l'efecte no és lineal i que hi ha un punt on els nivells més alts de PM podrien començar a tenir un impacte negatiu. En el cas de la por, un augment en els nivells de  $CO_2$  està associat amb un

increment en l'expressió d'aquesta emoció. Això suggereix que nivells més alts de CO<sub>2</sub> poden intensificar la por, indicant una relació directa i positiva entre aquests factors.

Els resultats d'aquest estudi aporten contribucions tant a nivell metodològic i pràctic. El treball té coherència amb resultats anteriors, tot i que es destaca la perspectiva innovadora en la recollida de dades ambientals i emocionals. Des del punt de vista pràctic, aquests resultats suggereixen que les escoles haurien de monitoritzar i controlar els nivells de partícules en suspensió per mitigar els seus efectes negatius. Això pot incloure la implementació de sistemes de ventilació millorats, sensors de qualitat de l'aire per a un monitoratge en temps real o, fins i tot, incloure plantes per millorar la qualitat de l'aire de manera natural (Rees, 2017).

Tot i les troballes significatives, aquest estudi presenta limitacions que cal tenir en compte. En primer lloc, es va centrar en un conjunt limitat de factors ambientals, deixant de banda altres possibles influències com la temperatura, la humitat o el soroll, que també podrien afectar les emocions dels estudiants. A més, la naturalesa no experimental del disseny limita la capacitat per establir relacions causals entre els factors ambientals i les emocions.

A partir de les limitacions identificades, sorgeixen alternatives per a futures investigacions. Seria interessant ampliar l'estudi per incloure altres factors ambientals, com la temperatura i la humitat, i explorar com aquests interactuen amb la qualitat de l'aire en la modulació de les emocions. A més, en funció de la ubicació geogràfica, seria recomanable incloure l'anàlisi de contaminants addicionals com el diòxid de nitrogen (NO<sub>2</sub>), l'ozó (O<sub>3</sub>), el diòxid de sofre (SO<sub>2</sub>) i el monòxid de carboni (CO), que són freqüents en zones urbanes o industrials i poden tenir efectes adversos sobre la salut respiratòria, així com afectar el benestar general dels estudiants i docents.

Per últim, seria valuós replicar aquest estudi en altres contextos educatius amb l'objectiu de validar i generalitzar els resultats. Adoptar un enfocament quasi-experimental podria proporcionar un major control sobre les variables, contribuint a una comprensió més precisa de l'efecte dels factors ambientals.

## 5.4 IMPACTE DE LA IL·LUMINACIÓ DINÀMICA EN EL RENDIMENT ACADÈMIC

Aquest estudi tenia com a objectiu analitzar com la il·luminació afecta la comprensió lectora i la resolució de problemes matemàtics en estudiants de sisè de primària, amb la intenció de demostrar la necessitat d'una il·luminació dinàmica a les aules. Els resultats obtinguts mostren que la temperatura de color correlacionada (TCC) té un impacte significatiu en la comprensió lectora, especialment en moments específics del dia, mentre que no es van observar diferències significatives en la resolució de problemes matemàtics. Així mateix, no es van detectar diferències de gènere en interacció amb les condicions de llum.

En concret, la llum freda (5000K) al matí va afavorir un millor rendiment en la comprensió lectora, mentre que la llum càlida (3000K) a la tarda va resultar menys efectiva. Aquestes diferències suggereixen que la combinació de la temperatura de color de la llum amb l'hora del dia pot influir en la capacitat cognitiva dels estudiants, cosa que reforça la idea que la il·luminació dinàmica podria millorar el rendiment acadèmic, especialment en tasques que requereixen concentració sostinguda com la comprensió lectora. Tot i això, l'absència de diferències significatives en la resolució de problemes matemàtics indica que altres factors, més enllà de la il·luminació, poden influir més en aquesta habilitat cognitiva.

Les implicacions pràctiques d'aquests resultats són rellevants per als equips directius de les escoles i el professorat. Els docents podrien ajustar la il·luminació a l'aula per millorar el rendiment dels estudiants segons la tasca a realitzar i el moment del dia. Aquest ajust, a més de millorar el rendiment acadèmic, podria contribuir al benestar cognitiu dels estudiants, especialment en activitats que requereixen una elevada concentració.

A més, la incorporació de tecnologies d'il·luminació avançada a les aules representa un pas important cap a la creació d'entorns d'aprenentatge més adaptatius. Tot i això, encara queda molt camí per recórrer, ja que els sistemes d'il·luminació



dinàmica no estan prou integrats en el disseny de les aules (Hansen et al., 2018). Un altre repte rellevant és la formació del professorat perquè pugui utilitzar de manera eficient aquestes eines en la seva pràctica educativa (Schledermann et al., 2019). Això planteja la necessitat de desenvolupar un marc pedagògic que permeti als docents aprofitar plenament les tecnologies d'il·luminació dinàmica per millorar l'experiència d'aprenentatge dels seus estudiants.

No obstant això, cal tenir en compte diverses limitacions. Primerament, la mida de la mostra era petita, fet que limita la generalització dels resultats a altres contextos educatius. El disseny pre-experimental, tot i que permet controlar algunes variables, no va poder descartar altres factors no controlats que podrien haver influït en els resultats, com l'efecte aprenentatge o la fatiga associada a la repetició de proves. A més, el fet que les finestres estiguessin obertes per complir amb la normativa sanitària durant la pandèmia de la COVID-19 podria haver introduït variacions en la il·luminació natural que haurien afectat les condicions experimentals.

Per superar aquestes limitacions, futurs estudis haurien de fer ús de mostres més grans i aplicar dissenys quasi-experimentals més rigorosos, que permetin controlar millor les variables ambientals i altres factors externs. També seria rellevant explorar com altres elements ambientals, com la ventilació, la qualitat de l'aire o la temperatura, interactuen amb la il·luminació per influir en el rendiment acadèmic.

En conclusió, aquest estudi aporta evidències que recolzen la implementació d'una il·luminació dinàmica a les aules per millorar el rendiment acadèmic dels estudiants, especialment en activitats de comprensió lectora. Tot i així, és necessari continuar investigant per desenvolupar solucions educatives més robustes i adaptades a les necessitats dels estudiants en el context actual de l'aprenentatge.

## 5.5 IMPACTE DEL SOROLL EN L'APRENTATGE

L'objectiu d'aquest metaanàlisi era analitzar l'impacte del soroll sobre l'aprenentatge a través del rendiment acadèmic i/o cognitiu dels estudiants no universitaris. Per assolir aquest objectiu, es van abordar les següents preguntes d'investigació:

### 5.5.1 Efecte global del soroll en el rendiment acadèmic i cognitiu

Els resultats, basats en 21 estudis i 152 mides d'efecte, mostren que el soroll té un impacte negatiu significatiu en el rendiment acadèmic i cognitiu, amb una mida d'efecte moderada de -0.46 (IC=-0.54 i -0.38 al 95%). Aquesta troballa suggereix que a mesura que augmenten els nivells de soroll, disminueix el rendiment acadèmic i cognitiu. La significació estadística d'aquest efecte destaca la importància de considerar el soroll com un factor crític a les escoles. Un exemple més tangible d'aquest resultat seria que un o una estudiant que normalment obtindria una nota de 5 sobre 10 en un entorn silenciós, la nota podria reduir-se entre 4,46 i 4,62 en un entorn amb soroll.

### 5.5.2 Influència de moderadors en l'efecte

L'anàlisi dels coeficients va revelar que els infants entre 6 i 12 anys rendeixen significativament pitjor en condicions de soroll, amb una estimació de -0,350 ( $p = 0,007$ ). Tot i que el soroll a l'aula no va ser estadísticament significatiu, va mostrar una tendència negativa amb una estimació de -0,161 ( $p = 0,436$ ), indicant una possible relació negativa entre aquest tipus de soroll i el rendiment acadèmic. De manera similar, les funcions de memòria i de comprensió del llenguatge també van mostrar tendències negatives, amb estimacions de -0,127 ( $p = 0,461$ ) i -0,152 ( $p = 0,318$ ) respectivament.

És important destacar que el soroll del trànsit va mostrar una estimació positiva de 0,477 ( $p = 0,088$ ), però aquest resultat no va ser estadísticament significatiu. Aquesta inconsistència podria deure's a interaccions complexes amb altres variables que no es van controlar adequadament en els estudis inclosos. Seria interessant que futurs estudis considerin la interacció entre tipus de soroll i altres variables (com la mida de la classe, el nivell socioeconòmic dels estudiants, etc.) per aclarir aquestes troballes.

Aquest estudi té diverses limitacions. En primer lloc, al ser una revisió tan extensa es van incloure múltiples estudis, el que va provocar una alta l'heterogeneïtat, que podria haver influït en els resultats. En segon lloc, la variabilitat en la mesura del soroll i el rendiment acadèmic/cognitiu entre els estudis podria haver introduït biaixos. En tercer lloc, hi ha un potencial biaix de publicació, ja que és més probable que els estudis amb resultats significatius es publiquin, cosa que podria distorsionar les troballes generals.

A més, hi va haver desafiaments en la categorització dels grups d'edat, ja que els intervals d'edat definits en els estudis a vegades se solapaven, tot i que es van organitzar de la manera més rigorosa possible. Finalment, tot i que un metaanàlisi pretén generalitzar els resultats a una població més àmplia, la diversitat dels contextos educatius i les poblacions estudiades podria limitar l'aplicabilitat.

Els resultats subratllen la importància de crear entorns d'aprenentatge que minimitzin el nivell de soroll i promoguin condicions acústiques òptimes, especialment a les aules de primària. Les evidències poden servir com a base per a futures investigacions i per a la implementació de mesures pràctiques que beneficiïn tant els estudiants com els educadors.

## 5.6 CONCLUSIONS INTEGRADES

El present estudi va tenir com a objectiu analitzar com determinats factors ambientals, temperatura, humitat, qualitat de l'aire, il·luminació i soroll, influeixen en l'aprenentatge

i el benestar emocional dels estudiants, així com en l'estrès dels docents dins de les aules. Per abordar aquest objectiu, es van formular dues preguntes clau: Quin és l'impacte d'aquestes condicions en l'aprenentatge dels estudiants de primària i secundària? i Com influeixen en les emocions dels estudiants i en l'estrès dels docents?

### 5.6.1 Impacte en l'aprenentatge

En aquesta secció es van investigar els efectes de la temperatura de color de la llum en la comprensió lectora i la resolució de problemes matemàtics en estudiants de sisè de primària, així com els efectes del soroll en l'aprenentatge dels estudiants de primària i secundària mitjançant un metaanàlisi. Els resultats obtinguts mostren que la temperatura de color correlacionada té un impacte significatiu en la comprensió lectora dels estudiants de sisè de primària. Específicament, la llum freda (5000K) al matí millora la comprensió, mentre que la llum càlida (3000K) a la tarda és menys efectiva. No obstant això, no es van observar diferències significatives en la competència matemàtica sota els diferents escenaris de llum. Respecte l'efecte del soroll, es va revelar un efecte negatiu moderat (-0.46) en l'aprenentatge, a través de mesures de rendiment acadèmic i cognitiu, especialment en estudiants de 6 a 12 anys. Tot plegat, suggereix que, tant la il·luminació com el soroll, són factors ambientals crítics que s'han de considerar i gestionar amb cura per optimitzar els espais d'aprenentatge.

### 5.6.2 Impacte en les emocions i l'estrès

A més dels efectes sobre l'aprenentatge, els factors ambientals també tenen una influència considerable en les emocions dels estudiants i l'estrès dels docents. L'estudi va revelar que la temperatura i la humitat augmenten significativament la intensitat de la ràbia, explicant un 6,3% de la seva variabilitat. En contrast, la temperatura tendeix a reduir la tristesa, però la humitat provoca un lleuger increment d'aquesta emoció, explicant un 3,4% de la seva variabilitat.

Els models predictius van mostrar que factors ambientals com les partícules en suspensió (PM) i el diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) tenen un impacte considerable en la manifestació d'emocions com l'emoció neutra, la por, la tristesa, la sorpresa i la felicitat, amb un grau d'explicació del 62% per a l'emoció neutra fins al 36% per a la felicitat, indicant una variabilitat significativa en funció de l'emoció.

Les emocions de ràbia i tristesa són les més influenciades per múltiples factors ambientals, però amb efectes diferents segons les condicions específiques. Tant la ràbia com la tristesa són sensibles a la temperatura i la humitat, i la tristesa es veu afectada per la qualitat de l'aire. La por, per la seva banda, sembla estar més relacionada amb el CO<sub>2</sub> a l'aire, sense una influència clara de la temperatura o la humitat.

A més, l'estudi pilot sobre l'estrès dels docents, tot i que no està directament relacionat amb les emocions dels estudiants, respon a la segona pregunta de recerca, aportant informació sobre com els factors ambientals i les activitats diàries poden influir en l'estrès. Aquestes conclusions complementen els resultats observats en els estudiants, suggerint que tant alumnes com docents responen de manera significativa a les variacions en la temperatura i altres factors ambientals. Aquests resultats subratllen la complexitat i la interrelació dels factors ambientals, suggerint que un enfocament integrat podria proporcionar una comprensió més completa i una millora efectiva de l'entorn d'aprenentatge.

Cal dir que l'estudi de les emocions bàsiques com a variables, proporciona informació sobre els estats afectius però no es pot assumir que les emocions siguin sinònim de benestar emocional. Segons James (1884) i Damasio (2010), les emocions són reaccions físiques de curta durada. No obstant, Seligman (2011) sosté que les emocions positives contribueixen directament al benestar. Així doncs, aquest estudi és rellevant perquè, tot i no mesurar el benestar per si mateix, explora la relació entre les emocions i els factors ambientals, la qual cosa pot millorar l'entorn educatiu i emocional.

En conclusió, aquesta tesi, ha demostrat que els diferents factors ambientals dins de l'aula tenen un impacte significatiu en les emocions i en el rendiment dels estudiants i docents. Tot i que cada factor ha estat estudiat de manera individual per comprendre els seus efectes específics, els resultats indiquen que aquests estan profundament interconnectats, influint mútuament i afectant, de manera indirecta, els processos pedagògics.

Aquest treball avança en la conceptualització d'espais d'aprenentatge més intel·ligents i adaptatius, on la dimensió ambiental s'estudia i es gestiona amb el rigor que correspon, en paral·lel amb els processos pedagògics, i amb el suport de la tecnologia avançada pròpia de la quarta revolució industrial. Reconeixent l'aula com un entorn dinàmic i connectat, es subratlla la importància d'una gestió coordinada dels factors ambientals, considerant com aquests interactuen i afecten l'experiència educativa d'estudiants i docents.

Això posa de relleu la necessitat d'estudiar aquests factors de manera integral, cosa que ens apropa a la idea de l'aula com un sistema complex, un enfocament que permet analitzar i comprendre millor les interaccions entre les diverses dimensions i elements presents als espais d'aprenentatge.

## 5.7 RECOMANACIONS

Aquest capítol presenta recomanacions derivades dels resultats, de les limitacions i de les conclusions de la tesi, les quals s'han estructurat en tres categories principals: metodològiques, teòriques i pràctiques. Tot i que algunes podrien encaixar en més d'una categoria, l'objectiu ha estat oferir una organització que faciliti la seva comprensió i aplicació.

### 5.7.1 Recomanacions metodològiques

Es recomana realitzar futurs estudis amb mostres més grans i diverses, que incloguin diferents nivells educatius, contextos geogràfics i socioeconòmics. Això permetrà obtenir resultats més generalitzables i comprendre millor com els factors ambientals influeixen en l'aprenentatge, les emocions i l'estrès en diferents entorns educatius.

És fonamental implementar un major control de les variables contextuals i confusores en futurs estudis. Això inclou considerar, principalment, els altres factors ambientals de manera conjunta. A més, en el cas dels docents, la càrrega laboral, l'estat de salut, i altres factors externs que puguin influir en els resultats, per millorar la validesa interna.

Es recomana l'ús de models estadístics més complexos, i també de tècniques de ciència de dades per processar i analitzar *big data*. Aquestes millores permetran captar de manera més precisa i fiable la interacció entre diferents factors ambientals i el seu impacte en l'experiència educativa. A més, una aproximació mixta que combini metodologies qualitatives i quantitatives enriqueix l'anàlisi dels resultats, permetent explorar les percepcions dels estudiants i docents sobre les emocions i l'ambient. Aquest enfocament ajudaria a captar aspectes que no són accessibles amb els instruments emprats en aquest estudi.

Per últim, el marc teòric-metodològic de sistemes complexos pot guiar futures investigacions, per exemple, explorant noves metodologies d'estudi que captin millor la complexitat de l'entorn educatiu. Aquest enfocament més holístic permetrà considerar la interdependència de variables que es van identificar en els presents estudis empírics, proporcionant un marc més robust per a l'anàlisi i la interpretació.

### 5.7.2 Recomanacions teòriques

Es recomana promoure la col·laboració entre investigadors de diverses disciplines, com la psicologia, l'educació, les ciències ambientals, la tecnologia i l'enginyeria acústica. Aquesta col·laboració és essencial per desenvolupar estudis més integrals que puguin oferir una visió completa de la interacció entre les variables ambientals i el benestar i rendiment en entorns educatius.

Es suggereix que els resultats obtinguts en estudis sobre les condicions ambientals en l'educació es publiquin en revistes de divulgació científica i es presentin en jornades educatives i seminaris professionals. Aquesta difusió més accessible contribuirà a sensibilitzar la comunitat educativa, a implicar els professionals en la implementació de bones pràctiques i a fomentar una comprensió més àmplia de la importància dels factors ambientals en els espais d'aprenentatge.

És fonamental desenvolupar i ampliar el marc teòric existent sobre la relació entre els factors ambientals i les emocions, considerant interaccions no lineals i el seu impacte en el comportament i l'aprenentatge dels estudiants. A més, es recomana que futures investigacions explorin noves variables ambientals i moderadores, incidint especialment en factors contaminants de l'entorn.

Es suggereix consolidar la conceptualització de l'aula intel·ligent com a sistema complex per tal de proporcionar un marc teòric robust que capti millor la interacció i la interdependència entre les dimensions pedagògiques, tecnològiques i ambientals dins l'espai d'aprenentatge.

### 5.7.3 Recomanacions pràctiques

Es recomana que les institucions educatives implementin tecnologies avançades, alhora que assequibles econòmicament, com sistemes IdC utilitzats en aquest estudi, pel monitoratge continu de les condicions ambientals (temperatura, humitat, qualitat de l'aire, soroll, il·luminació). Aquestes tecnologies permeten ajustar de manera precisa



l'entorn físic per millorar el benestar i el rendiment tant d'estudiants com de docents. A més, és fonamental mantenir aquests sistemes calibrats i realitzar avaluacions contínues per assegurar que estiguin funcionant acuradament.

Tot i els avantatges potencials de la tecnologia de reconeixement emocional, no és viable el seu ús en entorns educatius de la Unió Europea, a partir de la nova Llei d'Intel·ligència Artificial del Parlament Europeu (2024), que classifica aquesta tecnologia com a risc inacceptable en àmbits com el treball o les escoles. No obstant, sí es poden explorar tecnologies de monitoratge menys intrusiu, com algunes de les que hem fet servir a l'estudi, com ara sensors ambientals i dispositius portables, que permetin fomentar el benestar de l'alumnat i del personal docent.

Es proposa la formació i sensibilització de la comunitat educativa, especialment dels docents, sobre la influència de les condicions ambientals. Aquesta formació ha de proporcionar eines pràctiques que els docents puguin aplicar en el seu dia a dia per optimitzar l'entorn de les seves aules.

Es recomana que les institucions educatives adoptin polítiques i realitzin ajustos en el disseny de les aules per minimitzar el soroll, millorar la qualitat de l'aire, i optimitzar la il·luminació segons les activitats acadèmiques. Aquestes millores poden incloure la incorporació de materials acústics, sistemes de climatització eficients, i tecnologies d'il·luminació dinàmica, a més de considerar solucions naturals.

Amb aquesta secció, es conclou aquest treball, que ha explorat la dimensió ambiental dels espais d'aprenentatge en el camí cap a les aules intel·ligents. Aquest estudi no només contribueix a entendre l'impacte de determinades condicions ambientals en l'esfera emocional i el rendiment, sinó que també aporta coneixement per a la millora i implementació d'espais d'aprenentatge més saludables i adaptats a les necessitats d'estudiants i docents.

## 6 REFERÈNCIES

Akal, D. (2019). Noise induced workplaces and noise related occupational risks. *Environment and Ecology Research*, 7(4), 259-263. <https://doi.org/10.13189/eer.2019.070406>

Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805-812. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>

Amasuomo, E., & Baird, J. (2016). The concept of waste and waste management. *Journal of Management and Sustainability*, 6(4), 88. <https://doi.org/10.5539/jms.v6n4p88>

American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000165-000>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ASHRAE Technical Committee 9.7. (2023). *Design guidance for education facilities: Prioritization for advanced indoor air quality*. ASHRAE. <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/free%20resources/design-guidance-for-education-facilities.pdf>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2021). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Peachtree Corners, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2019). *Ventilation of health care facilities: Standard 170* (4th ed.).

An, S., Ji, L., Marks, M., & Zhang, L. (2017). Two sides of emotion: Exploring positivity and negativity in six basic emotions across cultures. *Frontiers in Psychology*, 8, 610. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00610>

ANPE - Sindicato Independiente. (2019). *Informe sobre la situación laboral de los docentes en España*. Available at: [https://documentos.anpe.es/defensor/Informe\\_Defensor\\_2019-2020.pdf](https://documentos.anpe.es/defensor/Informe_Defensor_2019-2020.pdf)

Aparicio-Ruiz, P., Barbadilla-Martín, E., Guadix, J., et al. (2021). A field study on adaptive thermal comfort in Spanish primary classrooms during summer season. *Building and Environment*, 203, 108089. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108089>

Baek, K., Park, C., & Sakong, J. (2023). The impact of aircraft noise on the cognitive function of elementary school students in Korea. *Noise & Health*, 25, 83-91. [https://doi.org/10.4103/nah.nah\\_71\\_22](https://doi.org/10.4103/nah.nah_71_22)

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>

Batista, E., Huera-Huarte, F. J., Martínez-Ballesté, A., Rosell-Llompart, J., & Solanas, A. (2023). *El projecte ACTUA: Investigant la transmissibilitat dels virus respiratoris a les aules*. Self-published by the authors.

Bautista, G., Rubio-Hurtado, M. J., & SánchezMartí, A. (2022). Towards smart learning spaces in Catalan schools: Teachers' perceptions of change. *Learning Environments Research*, 25(1), 199–215. <https://doi.org/10.1007/s10984-021-09357-y>

Bhang, Y., Yoon, H., Sung, Y., Yoo, H., Sim, H., Lee, S., Lee, J., & Lee, J. (2018). Comparing attention and cognitive function in school children across noise conditions: A quasi-experimental study. *Psychiatry Investigation*, 15(6), 620-627. <https://doi.org/10.30773/pi.2018.01.15>

Bidassey-Manilal, S., Wright, C., Engelbrecht, J., et al. (2016). Students' perceived heat-health symptoms increased with warmer classroom temperatures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(6), 566. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060566>

Biondi, D., Martini, A., & Lima Neto, E. M. (2014). An introduction to the thermo-environmental comfort of Santa Gemma Galgani State School, Curitiba, Paraná, Brazil (Portuguese). *Floresta*, 45(2), 409. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i2.16796>

Böckerman, P., Bryson, A., Viinikainen, J., Hakulinen, C., Hintsanen, M., Pehkonen, J., et al. (2017). The biometric antecedents to happiness. *PLOS ONE*, 12(9), e0184887. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184887>

Bodie, G. D. (2010). A racing heart, rattling knees, and ruminative thoughts: Defining, explaining, and treating public speaking anxiety. *Communication Education*, 59(1), 70-105. <https://doi.org/10.1080/03634520903443849>

Bogdanovica, S., Zemitis, J., & Bogdanovics, R. (2020). The effect of CO<sub>2</sub> concentration on children's well-being during the process of learning. *Energies*, 13(22), 5995. <https://doi.org/10.3390/en13225995>

Boix-Vilella, S., Saiz-Clar, E., León-Zarceño, E., et al. (2021). Influence of air temperature on school teachers' mood and the perception of students' behavior. *Sustainability*, 13(17), 9707. <https://doi.org/10.3390/su13179707>

Bono Cabré, R. (2012). *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*. <http://hdl.handle.net/2445/30783>

Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press.

Brink, H. W., Loomans, M. G. L. C., Mobach, M. P., & Kort, H. S. M. (2021). Classrooms' indoor environmental conditions affecting the academic achievement of students and teachers in higher education: A systematic literature review. *Indoor Air*, 31(2), 405-425. <https://doi.org/10.1111/ina.12725>

Burunkaya, M., & Duraklar, K. (2022). Design and implementation of an IoT-based smart classroom incubator. *Applied Sciences*, 12(4), 2233. <https://doi.org/10.3390/app12042233>

Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11(6), 453-464. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2007.07.009>

Cakmak, S., Dales, R., & Blanco, C. (2016). Does emotional health influence susceptibility to the physiologic effects of air pollution on adults. *Sustainable Development and Planning*, 11(4), 537-545. <https://doi.org/10.2495/SDP-V11-N4-537-545>

Carton, E. (2023). Assessing the effect of a classroom IEQ on student satisfaction, engagement and performance. E3S Web of Conferences, 396, Article 01052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339601052>

Catalina, T., Ghita, S. A., Popescu, L. L., & Popescu, R. (2022). Survey and measurements of indoor environmental quality in urban/rural schools located in Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10219. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610219>

Caviola, S., Visentin, C., Borella, E., Mammarella, I. C., & Prodi, N. (2021). Out of the noise: Effects of sound environment on maths performance in middle-school students. *Journal of Environmental Psychology*, 73, 101552. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101552>

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>

Chatzidiakou, L., Mumovic, D., & Summerfield, A. J. (2012). What do we know about indoor air quality in school classrooms? A critical review of the literature. *Intelligent Buildings International*, 4(4), 228–259. <https://doi.org/10.1080/17508975.2012.725530>

Chen, S., Guo, C., & Huang, X. (2018). Air pollution, student health, and school absences: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 465-497. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.10.002>

Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using augmented reality in education from 2011 to 2016. In E. Popescu et al. (Eds.), *Innovations in Smart Learning* (pp. 13–18). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_2)

Chere, B., & Kirkham, N. (2021). The negative impact of noise on adolescents' executive function: An online study in the context of home-learning during a pandemic. *Frontiers in Psychology*, 12, 715301. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.715301>

Choi, K., & Suk, H.-J. (2016). Dynamic lighting system for the learning environment: Performance of elementary students. *Optics Express*, 24(10), A907. <https://doi.org/10.1364/oe.24.00a907>

Choi, S., Guerin, D. A., Kim, H., et al. (2014). Indoor environmental quality of classrooms and student outcomes: A path analysis approach. *Journal of Environmental Psychology*.

Clark, C., Head, J., Haines, M., van Kamp, I., van Kempen, E., & Stansfeld, S. A. (2021). A meta-analysis of the association of aircraft noise at school on children's reading comprehension and psychological health for use in health impact assessment. *Journal of Environmental Psychology*, 76, 101646. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101646>

Clements-Croome, D. J. (2012). Measurements of CO<sub>2</sub> levels in a classroom and its effect on the performance. *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 269-275.

Cohen, J., McCabe, E. M., Michelli, N. M., et al. (2009). School climate: Research, policy, practice, and teacher education. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 111(1), 180-213. <https://doi.org/10.1177/016146810911100108>

Colasanti, A., Esquivel, G., Schruers, K., & Griez, E. (2012). On the psychotropic effects of carbon dioxide. *Current Pharmaceutical Design*. <https://doi.org/10.2174/138161212803530745>

Coll, C., Miras, M., Onrubia, J., & Solé, I. (1998). *Psicología de la educación*. Barcelona: Edhasa.

Comissió per al Llibre d'Estil de les Tesis Doctorals de la URV. (2008). *Llibre d'estil de les tesis doctorals de la URV*. Universitat Rovira i Virgili. [https://www.urv.cat/media/upload/arxiu/doctorats\\_masters/EPD/llibre\\_estil\\_cat.pdf](https://www.urv.cat/media/upload/arxiu/doctorats_masters/EPD/llibre_estil_cat.pdf)

Connolly, D., Dockrell, J., Shield, B., Conetta, R., Mydlarz, A., & 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. <https://doi.org/10.1121/1.5087126>

Consell Europeu. (2024, 22 d'abril). *Qualitat de l'aire*. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/air-quality/>

Crivelli, C. (2016). Reading emotions from faces in two indigenous societies. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(7), 830-843.

Cui, W., Cao, G., Park, J. H., et al. (2013). Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation, and performance. *Building and Environment*, 68, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.012>

Damasio, A. (2010). *El error de Descartes: La emoción, la razón y el cerebro humano*. Editorial Crítica.

Deci, E. & Ryan, R. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01)

Dockrell, J. E., & Shield, B. M. (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))

Dolenšek, J., Kos, T., Stožer, A., & Špernjak, A. (2022). Teachers' perception of the use on a low-cost pulse rate sensor for biology education. *Advances in Physiology Education*. <https://doi.org/10.1152/advan.00088.2021>

Dorizas, P. V., Assimakopoulos, M., & 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(5), 4503. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9>

Duarte da Cruz, S., Silvério, A., Aceituno Da Costa, L., Mortari Moret, A., Pereira Lauris, J. R., & Tangerino de Souza Jacob, R. (2016). Evaluating the effectiveness of dynamic soundfield system in the classroom. *Noise and Health*, 18(81), 42-49. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.174386>

Duarte, J. D. (2003). Ambientes de aprendizaje: Una aproximación conceptual. *Estudios Pedagógicos*, 29, 97-113.

Earthman, G. I. (2002). School facility conditions and student academic achievement. Available online: <https://escholarship.org/uc/item/5sw56439> (accessed on 4 March 2023).

Eichholtz, P., Kok, N., & Sun, X. (2024). The effect of post-COVID-19 ventilation measures on indoor air quality in primary schools. *PNAS Nexus*, 3(1), Article pgad429. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad429>

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1976). Measuring facial movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, 1(1), 56-75.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial Action Coding System (FACS)*. APA PsycTests. <https://doi.org/10.1037/t27734-000>

European Committee for Standardization (CEN). (2011). *EN 12464-1: Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places*. <https://www.diba.cat/documents/7294824/11610426/E05UNE-12464.1+Norma+europea+para+la+iluminaci%C3%B3n+de+interiores.pdf/7dd66ee0-095f-4c9d-a287-52af544d16b8>

European Committee for Standardization (CEN). (2019). *EN 16798-1:2019 - Energy performance of buildings — Ventilation for buildings — Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics — Module M1-6*. <https://www.cen.eu>

European Committee for Standardization. (2008). *European Standard EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Available online: <https://www.en-standard.eu> (accessed on 4 March 2023).

Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2015). *Learning, memory and forgetting*. In *Cognitive Psychology: A Student's Handbook* (7a ed., pp. 57). Psychology Press.

Fretes, G., Llorba, C., & Palau, R. (2023). Influence of teaching activities, environmental conditions and class schedules on teacher stress measured with a smartwatch: A pilot study. *Journal of Technology and Science Education*, 13, 775-787. <https://doi.org/10.3926/jotse.2043>

Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46(4), 922-937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>



Fujii, H., Fukuda, S., Narumi, D., et al. (2015). Fatigue and sleep under large summer temperature differences. *Environmental Research*, 138, 17-21. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.02.006>

Galy, E., Cariou, M., & Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 269-275.

García, R. (1994). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. En E. Leff (Ed.), *Ciencias sociales y formación ambiental* (pp. 85-124). Ediciones Gedisa.

García, R. (2000). *El conocimiento en construcción: De las formulaciones de Jean Piaget a la Teoría de los Sistemas Complejos*. Gedisa.

García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa.

Generalitat de Catalunya. (2024). *Setmana Sense Soroll 2024*. [https://mediambient.gencat.cat/ca/05\\_ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/setmana-sense-soroll/](https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/setmana-sense-soroll/)

Gifford, R. (2014). Environmental psychology matters. *Annual Review of Psychology*, 65(1), 541-579. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115048>

Goetz, T., Zirngibl, A., Pekrun, R., et al. (2003). Emotions, learning and achievement from an educational-psychological perspective.

Goines, L., & Hagler, L. (2007). Noise pollution: A modern plague. *Southern Medical Journal*, 100(3), 287-294. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e3180318be5>

Golasi, I., Salata, F., Vollaro, E. D. L., & Peña-García, A. (2019). Influence of lighting colour temperature on indoor thermal perception: A strategy to save energy from the HVAC installations. *Energy and Buildings*, 185, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.026>

González-Hidalgo, G., Sánchez-Flores, H., & López-Castellanos, G. (2011). Stress test at 44 °C and 80% of humidity and usefulness of ice suit. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 49, 487-492.

Griffin, A. M., Poissant, S. F., & Freyman, R. L. (2020). Auditory comprehension in school-aged children with normal hearing and with unilateral hearing loss. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 51(1), 29-41. [https://doi.org/10.1044/2019\\_LSHSS-OCHL-19-0020](https://doi.org/10.1044/2019_LSHSS-OCHL-19-0020)

Gupta, R., O'Brien, J., Howard, A., et al. (2018). *Improving productivity in the workplace: Lessons learnt and insights from the Whole Life Performance Plus Project*. Oxford Brookes University.

Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F., Berglund, B., & Head, J. (2001). A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition. *International Journal of Epidemiology*, *30*, 839-845. <https://doi.org/10.1093/ije/30.4.839>

Hansen, E. K., Nielsen, S. M. L., Georgieva, D., & Schledermann, K. M. (2018). The impact of dynamic lighting in classrooms: A review on methods. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering (LNICST)*, *229*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76908-0\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76908-0_46)

Hanson, N. R. (1958). *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge University Press.

Hoyuelos, A. (2005a). Estrategias constructivas espaciales en la escuela. En I. Cabanellas y C. Eslava (Coords.), *Territorios de la infancia. Diálogos entre la arquitectura y la pedagogía* (pp. 175-180). Barcelona: Editorial Graó.

Huang, L. S., Su, J. Y., & Pao, T. L. (2019). A context aware smart classroom architecture for smart campuses. *Applied Sciences*, *9*(9), 1837.

Huang, X., Zhang, M., Hui, M. K., & Wyer, R. S. (2014). Warmth and conformity: The effects of ambient temperature on product preferences and financial decisions. *Journal of Consumer Psychology*, *24*(2), 241-250. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2013.09.009>

Huebner, G. M., Shipworth, D. T., Gauthier, S., Witzel, C., Raynham, P., & Chan, W. (2016). Saving energy with light? Experimental studies assessing the impact of colour temperature on thermal comfort. *Energy Research & Social Science*, *15*, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.02.008>

Hutto, D. D., Robertson, I., & Kirchhoff, M. D. (2018). A new, better BET: Rescuing and revising basic emotion theory. *Frontiers in Psychology*, *9*, Article 1217. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01217>

Hviid, C. A., Pedersen, C., & Dabelsteen, K. H. (2020). A field study of the individual and combined effect of ventilation rate and lighting conditions on pupils'

performance. *Building and Environment*, 171.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106608>

Jahedi, S., & Méndez, F. (2014). On the advantages and disadvantages of subjective measures. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 98, 97-114.  
<https://doi.org/10.1016/j.jebo.2013.12.016>

James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9(34), 188-205.  
<https://doi.org/10.1093/mind/os-IX.34.188>

JASP (2024). *JASP* (Version 0.19.0) [Computer software]. <https://jasp-stats.org/>

Kamaruzzaman, K., & Tazilan, M. B. S. A. (2013). Thermal comfort assessment of a classroom in tropical climate conditions. In *Recent Advances in Energy, Environment and Development* (pp. 87-91). Cambridge, MA, USA.

Kanál, A. K., & Kovácsházy, T. (2020). Assessment of indoor air quality of educational facilities using an IoT solution for a healthy learning environment. In *Proceedings of the International Instrumentation and Measurement Technology Conference*.

Kaur, A., Bhatia, M., & Stea, G. (2022). A survey of smart classroom literature. *Education Sciences*, 12(2), 86. <https://doi.org/10.3390/educsci12020086>

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, J., & de Dear, R. (2017). Thermal comfort expectations and adaptive behavioural characteristics of primary and secondary school students. *Building and Environment*, 127, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.031>

Knez, I., & Kers, C. (2000). Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. *Environment and Behavior*, 32(6), 817-831.  
<https://doi.org/10.1177/0013916500326005>

Kodama, E. C., Zhao, N., & Paradiso, J. A. (2021). LightCloud: Future of dynamic lighting in the shared space. In K. Arai, S. Kapoor, & R. Bhatia (Eds.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2020, Volume 3* (pp. 1008-1017). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63128-5\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63128-5_72)

Koper, R. (2014). Conditions for effective smart learning environments. *Smart Learning Environments*, 1(5). <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0005-4>

Kulebanova, S., Prodanova, J., Dedinec, A., Sandev, T., Wu, D., & Kocarev, L. (2024). Media sentiment on air pollution: Seasonal trends in relation to PM<sub>10</sub> levels. *Sustainability*, 16(15), 6513. <https://doi.org/10.3390/su16156513>

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer Publishing Company.

Lee, J., & Shute, V. J. (2010). Personal and social-contextual factors in K-12 academic performance: An integrative perspective on student learning. *Educational Psychologist*, 45(3), 185–202. <https://doi.org/10.1080/00461520.2010.493471>

Leist, L., Breuer, C., Yadav, M., Fremerey, S., Fels, J., Raake, A., Lachmann, T., Schlittmeier, S. J., & Klatter, M. (2022). Differential effects of task-irrelevant monaural and binaural classroom scenarios on children's and adults' speech perception, listening comprehension, and visual-verbal short-term memory. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 15998. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315998>

Lekan-Kehinde, M., & Asojo, A. (2021). Impact of lighting on children's learning environment: A literature review. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 253, 371–380. <https://doi.org/10.2495/SC210311>

Leme, A., & Maia, I. (2015). Evaluation of fatigue at work in teachers using modern resources in the classroom. *Procedia Manufacturing*, 3, 4852–4859. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.601>

Li, Y., Guan, D., Yu, Y., Westland, S., Wang, D., Meng, J., Wang, X., He, K., & Tao, S. (2019). A psychophysical measurement on subjective well-being and air pollution. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13459-w>

Liang, J. M., Su, W. C., Chen, Y. L., Wu, S. L., & Chen, J. J. (2019). Smart interactive education system based on wearable devices. *Sensors*, 19(15), 3260. <https://doi.org/10.3390/s19153260>

Liang, P., Li, J., & Li, Z. et al. (2024). Effect of low-frequency noise exposure on cognitive function: A systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 24, 125. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-17593-5>

Liu, C., Sun, L., Jing, X., Zhang, Y., Meng, X., Jia, C., & Gao, W. (2022). How correlated color temperature (CCT) affects undergraduates: A psychological and

physiological evaluation. *Journal of Building Engineering*, 45, 103510. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103510>

Ljung, R., Sorqvist, P., & Hygge, S. (2009). Effects of road traffic noise and irrelevant speech on children's reading and mathematical performance. *Noise and Health*, 11(44), 194-198. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.56212>

Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica. (2002). *Portal Jurídic de Catalunya*. <https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/1/2002/06/28/16>

Llurba, C., Fretes, G., & Palau, R. (2022). Pilot study of real-time emotional recognition technology for secondary school students. *Interaction Design and Architecture(s)*, 52, 61–80. <https://doi.org/10.55612/s-5002-052-004>

Llurba, C., Fretes, G., & Palau, R. (2024). Classroom emotion monitoring based on image processing. *Sustainability*, 16(9), 916. <https://doi.org/10.3390/su16020916>

Lui, G. Y., Loughnane, D., Polley, C., Jayarathna, T., & Breen, P. (2022). The Apple Watch for monitoring mental health-related physiological symptoms: Literature review. *JMIR Mental Health*, 9(9), e37354. <https://doi.org/10.2196/37354>

Lui, M., & Slotta, J. D. (2014). Immersive simulations for smart classrooms: Exploring evolutionary concepts in secondary science. *Technology, Pedagogy and Education*.

Madaniyazi, L., Zhou, Y., Li, S., Williams, G., Jaakkola, J. J. K., Liang, X., et al. (2016). Outdoor temperature, heart rate and blood pressure in Chinese adults: Effect modification by individual characteristics. *Scientific Reports*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep21003>

Marchand, G. C., Nardi, N. M., Reynolds, D., & Pamoukov, S. (2014). The impact of the classroom built environment on student perceptions and learning. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.06.009>

Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). *MBI: Maslach Burnout Inventory. Manual*. University of California, Consulting Psychologists Press. <https://doi.org/10.1037/t05190-000>

Maslach, C., & Jackson, S. E. (1982). Burnout in health professions: A social psychological analysis.

McCreery, R. W., & Stelmachowicz, P. G. (2013). The effects of limited bandwidth and noise on verbal processing time and word recall in normal-hearing children. *Ear and Hearing*, *34*(5), 585-591.

<https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31828576e2>

Mircea, M., Stoica, M., & Ghilic-Micu, B. (2021). Investigating the impact of the internet of things in higher education environment. *IEEE Access*, *9*, 33396–33409.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058580>

Mishra, K. A., & Ramgopal, M. (2014). Thermal comfort in undergraduate laboratories - A field study in Kharagpur, India. *Building and Environment*, *71*, 223-232.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.006>

Moeller, K., Grote, V., Keller, K., Lorenz, D., Moser, M., & Khanh, T. Q. (2011). LED office lighting to promote performance and well-being. In *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, 6779, 79-90. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21716-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21716-6_8)

Mogas, J., & Palau, R. (2021). From the redesign of learning spaces to smart classrooms. In A. J. Calvillo (Ed.), *Informe Especial Odite sobre tendencias educativas: Educación en tiempos de pandemia 2020* (pp. 96-101). Observatorio de Investigación Tecnológica y Educativa (OdITE).

Mogas, J., Márquez, M., & Palau, R. (2020). Environmental conditions in intelligent classrooms: Conceptualization and major research needs. In E. López, D. Cobos, L. Molina, & A. Jaén (Eds.), *Claves para la innovación pedagógica ante los nuevos retos: Respuestas en la vanguardia de la práctica educativa* (pp. 3164–3172). Octaedro.

Mogas-Recalde, J. (2021). Resum de la tesi doctoral «Smart Classrooms i l'adveniment de la Quarta Revolució Industrial: Anàlisi dels factors clau per al disseny d'aules intel·ligents». *UTE Teaching & Technology (Universitas Tarraconensis)*, *1*(3), 61.

Mogas-Recalde, J., & Palau, R. (2021). Classroom lighting and its effect on student learning and performance: Towards smarter conditions. In Ó. Mealha, M. Rehm, & T. Rebedea (Eds.), *Ludic, Co-design and Tools Supporting Smart Learning Ecosystems and Smart Education* (pp. 1–15). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5_1)

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>

Moreno-Moreno, P., & Palau, R. (2023). Guía de diseño de Smart Classrooms basada en condiciones ambientales. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 14, 138-158. <https://doi.org/10.6018/riite.556001>

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). <https://doi.org/10.1177/2158244012445585>

Muñoz, C. A. (2018). Passive design of school classrooms for thermal comfort from a climate change perspective. *Arquitecturas del Sur*, 36(54), 70–83. <https://doi.org/10.22320/07196466.2018.36.054.06>

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). <http://epaa.asu.edu/ojs/article/view/1002>

Ng, M., Gerstorf, D., Conroy, D. E., Pincus, A. L., & Ram, N. (2024). Affective sensitivity to air pollution (ASAP): Person-specific associations between daily air pollution and affective states. *PLOS ONE*, 19(8), e0307430. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307430>

Nieto-Vallejo, A. E., Camacho, J. E., Cuervo-Pulido, R., & Hernández-Mihajlovic, E. (2021). Dynamic lighting system to increase the attention of design students in the classroom. *Revista Facultad de Ingeniería*, 30(55), e12233. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.1223>

Noelke, C., McGovern, M., Corsi, D. J., et al. (2016). Increasing ambient temperature reduces emotional well-being. *Environmental Research*, 151, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.045>

Nogareda Cuixart, S. (2000). *NTP 574: Estrés en el colectivo docente: metodología para su evaluación*. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). [https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_574.pdf/29683e3e-f38d-4c1f-9132-80aa178f8f7c](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_574.pdf/29683e3e-f38d-4c1f-9132-80aa178f8f7c)

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Organización Internacional de Normalización. (2005). *ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de confort térmico*. ISO.

Page, M. J., McKenzie, M. J., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. A., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. E., Akl, E. A., Brennan, P. E., Chou, R., Kleijnen, J. E. A., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

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.

Pang, L., Zhang, J., Cao, X., Wang, X., Liang, J., Zhang, L., & Guo, L. (2020). The effects of carbon dioxide exposure concentrations on human vigilance and sentiment in an enclosed workplace environment. *Indoor Air: International Journal of Indoor Environment and Health*.

Parsons, K. (2014). *Human thermal environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. CRC Press.

Parlament Europeu (2024). 2024/1689 Proposta de Reglament del Parlament Europeu i del Consell pel que fa a les normes harmonitzades en matèria d'intel·ligència artificial (IA). *EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>

Passchier-Vermeer, W., & Passchier, W. F. (2000). Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*, *108*(Suppl 1), 123–131. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108s1123>

Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic emotions and student engagement. In S. L. Christensen, A. L. Reschley, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp. 259–282). Springer.

Prinz, J. (2004). *Gut Reactions: A Perceptual Theory of Emotion*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0195159647.001.0001>



Ragazzi, M., Rada, E. C., Zanoni, S., Passamani, G., & Dalla Valle, L. (2017). Particulate matter and carbon dioxide monitoring in indoor places. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(6), 1032-1042. <https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N6-1032-1042>

Rance, G., Dowell, R. C., & Tomlin, D. (2023). The effect of classroom environment on literacy development. *NPJ Science of Learning*, 8, 9. <https://doi.org/10.1038/s41539-023-00157-y>

Rautkylä, E., Puolakka, M., Tetri, E., & Halonen, L. (2010). Effects of correlated colour temperature and timing of light exposure on daytime alertness in lecture environments. *Journal of Light and Visual Environment*, 34(2), 59–68. <https://doi.org/10.2150/jlve.34.59>

Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, núm. 71, 24 de marzo de 2021, pp. 33748-33793. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/03/23/178>

Rees, N. (2017). *Danger in the Air: How air pollution may be affecting the brain development of young children around the world*. Division of Data, Research and Policy, UNICEF. Available at: [https://www.unicef.org/sites/default/files/press-releases/glo-media-Danger\\_in\\_the\\_Air.pdf](https://www.unicef.org/sites/default/files/press-releases/glo-media-Danger_in_the_Air.pdf)

Reial decret 178/2021, de 23 de març, pel qual es modifica el Reial decret 1027/2007, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis. *Butlletí Oficial de l'Estat*, núm. 71, pp. 33748-33793. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/03/23/178>

Ritheesh, P., Kumar, N. K., & Singh, K. (2023). Smart classroom: Real-time monitoring of classroom through IoT. In *ICSCCC 2023 - 3rd International Conference on Secure Cyber Computing and Communications* (pp. 202-206).

Rodríguez, F., & Valldeoriola, D. (2014). *Métodos de investigación* (Mòdul 1, pp. 1-82). Universitat Oberta de Catalunya. [https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/77608/2/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n\\_M%C3%B3dulo%201.pdf](https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/77608/2/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n_M%C3%B3dulo%201.pdf)

Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>

Salovey, P., Rothman, A. J., Detweiler, J. B., & Steward, W. T. (2000). Emotional states and physical health. *American Psychologist*, 55(1), 110–121. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.110>

Sanders, G., & Suls, J. (Eds.). (1982). *Social psychology of health and illness*. Erlbaum.

Sano, A., & Picard, R. W. (2013). Stress recognition using wearable sensors and mobile phones. In *Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 671-676). Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.1109/ACII.2013.117>

Schledermann, K., Pihlajaniemi, H., Sen, S., & Hansen, E. K. (2019). Dynamic lighting in classrooms: A new interactive tool for teaching. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering (LNICST)*, 265, 411–422. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06134-0\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06134-0_41)

Seifert, A. (2018). Use of mobile health data and willingness of older adults to share this data with researchers. *Innovation in Aging*, 2(Suppl 1), 680. <https://doi.org/10.1093/geroni/igy023.2531>

Seligman, M. E. P. (2011). *Flourish: A visionary new understanding of happiness and well-being*. Free Press.

Shan, S., Ju, X., Wei, Y., & Wang, Z. (2021). Effects of PM<sub>2.5</sub> on people's emotion: A case study of Weibo (Chinese Twitter) in Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5422. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105422>

Shaughnessy, R. J., Haverinen-Shaughnessy, U., Nevalainen, A., & Moschandreas, D. (2006). A preliminary study on the association between classroom ventilation rates and student performance. *Indoor Air*, 16(6), 465-468. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00440.x>

Shield, B., & Dockrell, J. E. (2008). The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 133-144. <https://doi.org/10.1121/1.2812596>

Sidorin, D. I. (2015). Dynamics of carbon dioxide concentrations in the air and its effect on the cognitive ability of school students. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*.

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>

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>

Steptoe, A., & Wardle, J. (2005). Positive affect and biological function in everyday life. *Neurobiology of Aging*, 26(1), 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.08.016>

Sun, B., Zhang, Q., & Cao, S. (2020). Development and implementation of a self-optimizable smart lighting system based on learning context in classroom. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041217>

Szalma, J. L., & Hancock, P. A. (2011). Noise effects on human performance: A meta-analytic synthesis. *Psychological Bulletin*, 137(4), 682-707. <https://doi.org/10.1037/a0023987>

Szyszkowicz, M., Zemek, R., Colman, I., Gardner, W., Kousha, T., & Smith-Doiron, M. (2020). Air pollution and emergency department visits for mental disorders among youth. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>

Thompson, R., Smith, R. B., Bou Karim, Y., Shen, C., Drummond, K., Teng, C., & Toledano, M. B. (2022). Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence. *Environment International*, 158, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106933>

Thomson, S., & Hillman, K. (2020). The teaching and learning international survey 2018. *Australian report volume 2: Teachers and school leaders as valued professionals*. <https://research.acer.edu.au/talis/7>

Travers, C. (2017). Current knowledge on the nature, prevalence, sources and potential impact of teacher stress. In T. M. McIntyre, S. E. McIntyre, & D. J. Francis (Eds.), *Educator stress: An occupational health perspective* (pp. 23-54). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53053-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53053-6_2)

Unciti, O., & Palau, R. (2023). Teacher decision making tool: Development of a prototype to facilitate teacher decision making in the classroom. *Journal of Technology and Science Education*, 13(3), 740. <https://doi.org/10.3926/jotse.1801>

Unión de Docentes de la Enseñanza (UDE). (2018). *Encuesta sobre la situación laboral de los docentes en España*. Available at: <https://www.ude.es/wp-content/uploads/2018/10/Informe-encuesta-UDE-2018.pdf>

Universitat Rovira i Virgili (URV). (2022, 7 de setembre). *Les aules i els laboratoris docents incorporen mesuradors de la qualitat de l'aire i alerten quan és baixa*. Diari Digital URV. <https://diaridigital.urv.cat/les-aules-i-els-laboratoris-docents-incorporen-mesuradors-de-co2/>

Universitat Rovira i Virgili (URV). (2023). Projecte ACTUA. <https://actua-urv.cat>

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>

Valente, D. L., Plevinsky, H. M., Franco, J. M., Heinrichs-Graham, E. C., & Lewis, D. E. (2012). Experimental investigation of the effects of the acoustical conditions in a simulated classroom on speech recognition and learning in children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 232-246. <https://doi.org/10.1121/1.3662059>

Vargas-Rubilar, N., & Oros, L. B. (2021). Stress and burnout in teachers during times of pandemic. *Frontiers in Psychology*, 12, 756007. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.756007>

Vasile, V., Catalina, T., Dima, A., & Ion, M. (2024). Pollution levels in indoor school environment: Case studies. *Atmosphere*, 15(4), 399. <https://doi.org/10.3390/atmos15040399>

Vettori, G., Di Leonardo, L., Secchi, S., Astolfi, A., & Bigozzi, L. (2022). Primary school children's verbal working memory performances in classrooms with different acoustic conditions. *Cognitive Development*, 64, 101256. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2022.101256>

Victorsteep. (2024). [Classroom, school, chairs image. Free for use]. Pixabay. <https://pixabay.com/photos/classroom-school-chairs-blackboards-8330653/>

Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J. M., & Dijk, D. J. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance, and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 34(4), 297–306.

Visentin, P., Pellegatti, M., Garraffa, A., Di Domenico, A., & Prodi, N. (2023). Be quiet! Effects of competing speakers and individual characteristics on listening comprehension for primary school students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4822. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064822>

Vogl, E., Pekrun, R., Murayama, K., & Loderer, K. (2020). Surprised-curious-confused: Epistemic emotions and knowledge exploration. *Emotion*, 20(4), 625-641. <https://doi.org/10.1037/emo0000578>

Wang, D., Jiang, J., Liu, Y., et al. (2017). Student responses to classroom thermal environments in rural primary and secondary schools in winter. *Building and Environment*, 115, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.006>

Wang, H., Liu, G., Hu, S., & Liu, C. (2018). Experimental investigation about thermal effect of colour on thermal sensation and comfort. *Energy and Buildings*, 173, 710-718. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.008>

Wang, M. T., & Degol, J. L. (2015). School climate: A review of the construct, measurement, and impact on student outcomes. *Educational Psychology Review*, 28(2), 315–352. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9319-1>

Wargocki, P., Porras-Salazar, J. A., & Contreras-Espinoza, S. (2019). The relationship between classroom temperature and children's performance in school. *Building and Environment*, 157, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.046>

Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 94-104. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94>

Wessolowski, N., Koenig, H., Schulte-Markwort, M., & Barkmann, C. (2014). The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.05.001>

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.

Xarxa Vives d'Universitats. Grup de Treball de Qualitat Lingüística. (2019). *Criteris multilingües per a la redacció de textos igualitaris*. Xarxa Vives d'Universitats. [https://www.llengues.urv.cat/media/upload/domain\\_81/arxius/criteris-textos-igualitaris.pdf?t=1547116568](https://www.llengues.urv.cat/media/upload/domain_81/arxius/criteris-textos-igualitaris.pdf?t=1547116568)

Xie, H., Kang, J., & Tompsett, R. (2011). The impacts of environmental noise on the academic achievements of secondary school students in Greater London. *Applied Acoustics*, 72, 551-555. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.10.013>

Yamanaka, Y., Motoshima, H., & Uchida, K. (2019). Hypothalamic-pituitary-adrenal axis differentially responds to morning and evening psychological stress in healthy subjects. *Neuropsychopharmacology Reports*, 39(1), 41-47. <https://doi.org/10.1002/npr2.12042>

Yan, W. J., Li, S., Que, C., Pei, J., & Deng, W. (2021). RAF-AU database: In-the-wild facial expressions with subjective emotion judgement and objective AU annotations. In H. Ishikawa, C. L. Liu, T. Pajdla, & J. Shi (Eds.), *Computer Vision – ACCV 2020. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 12627, pp. 52–68). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69544-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69544-6_5)

Younan, D., Li, L., Tuvblad, C., et al. (2018). Long-term ambient temperature and externalizing behaviors in adolescents. *American Journal of Epidemiology*, 187(9), 1931–1941. <https://doi.org/10.1093/aje/kwy104>

Zemitis, J., Bogdanovics, R., & Bogdanovica, S. (2021). The study of CO<sub>2</sub> concentration in a classroom during the COVID-19 safety measures.

Zhang, B., & Navejar, R. (2018). Effects of ambient noise on the measurement of mathematics achievement for urban high school students. *Urban Education, 53*(1), 10. <https://doi.org/10.1177/0042085915613555>

Zhang, L., & Ma, H. (2022). The effects of environmental noise on children's cognitive performance and annoyance. *Applied Acoustics, 198*, 108995. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108995>

Zhao, W., Liao, X., Li, Q., Jiang, W., & Ding, W. (2022). The relationship between teacher job stress and burnout: A moderated mediation model. *Frontiers in Psychology, 12*, 784243. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.784243>

Zullig, K. J., Koopman, T. M., Patton, J. M., & Ubbes, V. A. (2010). School climate: Historical review, instrument development, and school assessment. *Journal of Psychoeducational Assessment, 28*(2), 139–152. <https://doi.org/10.1177/0734282909344205>





# 7 APÈNDIX

S'ha creat una carpeta en línia per facilitar l'accés a materials complementaris de manera permanent:

[https://drive.google.com/drive/folders/1sG\\_VvfnS4xPhopsq9TtTpoE5CaQ3L1Xt?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1sG_VvfnS4xPhopsq9TtTpoE5CaQ3L1Xt?usp=sharing)

A més, també es comparteix la matriu de dades de meta-anàlisi a continuació.

## Taula 1

*Resum dels resultats dels estudis inclosos en el meta-anàlisi*

| Authors               | Noise          | Conditions                | Age   | Level      | Function        | N   | d     | SE_d  | Observations  | Country |
|-----------------------|----------------|---------------------------|-------|------------|-----------------|-----|-------|-------|---|---------|
| Baek et.al (2023) (I) | Aircraft noise | Control vs. High Exposure | 10–11 | Elementary | Reasoning score | 989 | -0.17 | 0.032 | Small differences in reasoning score between high exposure and control groups | Korea   |

|                          |  |  |       |            |                  |     |       |       |  |       |
|--------------------------|--|--|-------|------------|------------------|-----|-------|-------|--|-------|
| Baek et.al (2023) (II)   |  | Control vs. Medium Exposure  | 10–11 | Elementary | Reasoning score  | 989 | -0.01 | 0.032 | Small differences in reasoning score between medium exposure and control groups  | Korea |
| Baek et.al (2023) (III)  |  | Control vs. High Exposure  | 10–11 | Elementary | Vocabulary score | 989 | -0.18 | 0.032 | Small difference in vocabulary score between high exposure and control groups  | Korea |
| Baek et.al (2023) (IX)   |  | Control vs. High Exposure  | 10–11 | Elementary | IQ               | 989 | -0.19 | 0.032 | Small difference in IQ between high exposure and control groups  | Korea |
| Baek et.al (2023) (V)    |  | Control vs. High Exposure  | 10–11 | Elementary | Numeracy score   | 989 | -0.15 | 0.032 | Small difference in numeracy score between high exposure and control groups  | Korea |
| Baek et.al (2023) (VII)  |  | Control vs. High Exposure  | 10–11 | Elementary | Perception score | 989 | -3.01 | 0.032 | Extremely large effect size indicating significant difference in perception score between high exposure and control groups | Korea |
| Baek et.al (2023) (VIII) |  | Control vs. Medium Exposure  | 10–11 | Elementary | Perception score | 989 | 0.03  | 0.032 | No significant difference in perception score between medium exposure and control groups                                   | Korea |
| Baek et.al (2023) (X)    |  | Control vs. Medium Exposure  | 10–11 | Elementary | IQ               | 989 | 0.006 | 0.032 | No significant difference in IQ between medium exposure and control groups   | Korea |
| Bhang et al. (2018) (I)  | Environmental noise: road traffic and aircraft noise | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise) | 10–12 | Elementary | Arithmetic       | 268 | -0.35 | 0.061 | p=0.006  | Korea |

|                           |   |       |            |   |     |        |       |         |       |
|---------------------------|---|-------|------------|---|-----|--------|-------|---------|-------|
| Bhang et al. (2018) (II)  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Vocabulary                                    | 268 | -0.38  | 0.061 | p=0.002 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (III) | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Block design                                  | 268 | -0.12  | 0.061 | p=0.346 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (IV)  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Picture arrangement                           | 268 | -0.44  | 0.061 | p=0.001 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (IX)  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB                                      | 10-12 | Elementary | Response time-SD (Visual Selective Attention) | 268 | -0.108 | 0.061 | p=0.381 | Korea |

|                            |   |       |            |   |     |        |       |         |       |
|----------------------------|---|-------|------------|---|-----|--------|-------|---------|-------|
|                            | (road traffic and aircraft noise)   |       |            |   |     |        |       |         |       |
| Bhang et al. (2018) (V)    | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Full-scale IQ                                 | 268 | -0.47  | 0.061 | <0.001  | Korea |
| Bhang et al. (2018) (VI)   | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Commission error (Visual Selective Attention) | 268 | 0.062  | 0.061 | p=0.617 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (VII)  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Omission error (Visual Selective Attention)   | 268 | -0.109 | 0.061 | p=0.375 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (VIII) | Background noise: 43.5–46.1 dB  | 10-12 | Elementary | Response time (sec) (Visual                   | 268 | -0.104 | 0.061 | p=0.400 | Korea |

|                           |  |  |       |            |   |     |       |       |         |       |
|---------------------------|--|--|-------|------------|---|-----|-------|-------|---------|-------|
|                           |  | Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise)                                   |       |            | Selective Attention)                    |     |       |       |         |       |
| Bhang et al. (2018) (X)   |  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Commission error (Divided Attention)    | 268 | -0.13 | 0.061 | p=0.279 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (XI)  |  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Omission error (Divided Attention)      | 268 | -0.26 | 0.061 | p=0.034 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (XII) |  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Response time (sec) (Divided Attention) | 268 | -0.25 | 0.061 | p=0.047 | Korea |

|                               |   |       |            |   |     |       |       |         |       |
|-------------------------------|---|-------|------------|---|-----|-------|-------|---------|-------|
| Bhang et al.<br>(2018) (XIII) | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Response time-SD (Divided Attention)              | 268 | -0.03 | 0.061 | p=0.794 | Korea |
| Bhang et al.<br>(2018) (XIV)  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Forward memory span (Spatial Working Memory)      | 268 | -0.25 | 0.061 | p=0.045 | Korea |
| Bhang et al.<br>(2018) (XIX)  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Color score (Stroop Effect)                       | 268 | -0.04 | 0.061 | p=0.779 | Korea |
| Bhang et al.<br>(2018) (XV)   | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB                                      | 10-12 | Elementary | Forward correct response (Spatial Working Memory) | 268 | -0.29 | 0.061 | p=0.020 | Korea |

|                             |  |   |       |            |  |     |       |       |         |       |
|-----------------------------|--|---|-------|------------|--|-----|-------|-------|---------|-------|
|                             |  | (road traffic and aircraft noise)   |       |            |  |     |       |       |         |       |
| Bhang et al. (2018) (XVI)   |  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Backward memory span (Spatial Working Memory)      | 268 | -0.15 | 0.061 | p=0.229 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (XVII)  |  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Backward correct response (Spatial Working Memory) | 268 | -0.17 | 0.061 | p=0.176 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (XVIII) |  | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB<br>(road traffic and aircraft noise) | 10-12 | Elementary | Word score (Stroop Effect)                         | 268 | -0.24 | 0.061 | p=0.056 | Korea |
| Bhang et al. (2018) (XX)    |  | Background noise: 43.5–46.1 dB  | 10-12 | Elementary | Color-word score (Stroop Effect)                   | 268 | -0.01 | 0.061 | p=0.921 | Korea |

|                           |                            |  |                        |            |                                    |             |        |       |   |                      |
|---------------------------|----------------------------|--|------------------------|------------|------------------------------------|-------------|--------|-------|---|----------------------|
|                           |                            | Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise)                                   |                        |            |                                    |             |        |       |   |                      |
| Bhang et al. (2018) (XXI) |                            | Background noise: 43.5–46.1 dB<br>Additional noise: 60.8–62.8 dB (road traffic and aircraft noise) | 10-12                  | Elementary | Interference score (Stroop Effect) | 268         | 0.02   | 0.061 | p=0.851   | Korea                |
| Brill & Wang (2021) (I)   |                            | LAeqN (M= 49.3 dBA).   | Grades 3, 5, 8, and 11 | Mixed      | Math achievement scores            | 220 schools | -0.171 | 0.135 | Higher LAeqN levels correlate to lower math scores; regression coefficient for LAeqN = -0.87, SE = 0.35, p < 0.05 | USA (Iowa, Nebraska) |
| Brill & Wang (2021) (II)  | Classroom background noise | LAeqN (M= 49.3 dBA).   | Grades 3, 5, 8, and 11 | Mixed      | Reading achievement scores         | 220 schools | -0.055 | 0.135 | Small negative impact of LAeqN on reading scores, effect size is marginal   | USA (Iowa, Nebraska) |
| Caviola et al. (2023) (I) | Classroom noise            | Silent condition: 41.9 dB(A)<br>Traffic noise Condition: 60.4 dB(A)<br>Classroom                   | 11-13                  | Elementary | Calculation performance            | 182         | -0.19  | 0.075 | Silence Condition vs Classroom noise (Easier Problems)  | Italy                |



|                              |                     | noise Condition: 60.3 dB(A)        |       |           |                               |     |       |       |  |    |
|------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------|-----------|-------------------------------|-----|-------|-------|--|----|
| Chere & Kirkham (2021) (I)   | Environmental noise | Environmental noise vs white noise | 11-14 | Secondary | Cognitive flexibility (WCST)  | 129 | -0.60 | 0.089 | More errors in environmental noise           | UK |
| Chere & Kirkham (2021) (II)  |                     | Environmental noise vs white noise | 11-14 | Secondary | General executive control     | 129 | -0.54 | 0.086 | More errors in environmental noise           | UK |
| Chere & Kirkham (2021) (III) |                     | Environmental noise vs white noise | 11-14 | Secondary | Selective attention (Flanker) | 129 | -0.62 | 0.091 | More errors in environmental noise           | UK |
| Chere & Kirkham (2021) (IV)  |                     | Environmental noise vs white noise | 15-18 | Secondary | Cognitive flexibility (WCST)  | 129 | -0.21 | 0.093 | Fewer errors in environmental noise          | UK |
| Chere & Kirkham (2021) (V)   |                     | Environmental noise vs white noise | 15-18 | Secondary | General executive control     | 129 | -0.28 | 0.096 | Fewer errors in environmental noise          | UK |
| Chere & Kirkham (2021) (VI)  |                     | Environmental noise vs white noise | 15-18 | Secondary | Selective attention (Flanker) | 129 | -0.26 | 0.095 | Fewer errors in environmental noise          | UK |
| Connolly et al. (2019) (I)   | Environmental noise | 50 dB LAeq vs. 70 dB LAeq          | 11-16 | Secondary | Reading Comprehension         | 976 | -0.29 | 0.032 | Main effect of noise level                   | UK |
| Connolly et al. (2019) (II)  |                     | 50 dB LAeq vs. 70 dB LAeq          | 11-13 | Secondary | Reading Comprehension         | 564 | -0.20 | 0.043 | Noise and age interaction, d for 11-13 years | UK |
| Connolly et al. (2019) (III) |                     | 50 dB LAeq vs. 70 dB LAeq          | 14-16 | Secondary | Reading Comprehension         | 412 | -0.20 | 0.049 | Noise and age interaction, d for 14-16 years | UK |

|                                    |   |  |       |            |   |     |       |       |  |              |
|------------------------------------|---|--|-------|------------|---|-----|-------|-------|--|--------------|
| Dockrell & Shield (2012) (I)       | Sound-field systems   | Classroom (RT: 0.38s - 0.9s)               | 06-12 | Elementary | Listening comprehension                       | 186 | -0.15 | 0.073 | Small improvement                                      | England (UK) |
| Dockrell & Shield (2012) (II)      |   | Classroom (RT: 0.38s - 0.9s)               | 06-12 | Elementary | Nonverbal processing                          | 186 | -0.57 | 0.073 | Moderate improvement                                   | England (UK) |
| Dockrell & Shield (2012) (III)     |   | Classroom (RT: 0.38s - 0.9s)               | 06-12 | Elementary | Reading                                       | 186 | -0.37 | 0.073 | Small improvement                                      | England (UK) |
| Dockrell & Shield (2012) (IV)      |   | Classroom (RT: 0.38s - 0.9s)               | 06-12 | Elementary | Spelling                                      | 186 | -0.50 | 0.073 | Moderate improvement                                   | England (UK) |
| Dockrell & Shield (2012) (V)       |   | Classroom (RT: 0.38s - 0.9s)               | 06-12 | Elementary | Numeracy                                      | 186 | -0.36 | 0.073 | Small improvement                                      | England (UK) |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (I)   | Classroom noise level: 55-85 dB(A), RT: 0.8 s. SNR without FM: Front: 3.8 dBA, Middle: 0.5 dBA, Bottom: -0.6 dBA; | First Evaluation: Control vs. Experimental | 8     | Elementary | Writing (name and dictation)                  | 20  | -0.26 | 0.229 | Small effect favoring the experimental group initially | Brazil       |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (II)  |   | First Evaluation: Control vs. Experimental | 8     | Elementary | Writing (name and dictation)                  | 20  | 0.13  | 0.229 | Slight favor towards control group, no significant.    | Brazil       |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (III) |   | First Evaluation: Control vs. Experimental | 8     | Elementary | Arithmetic (problem-solving and calculations) | 20  | -0.40 | 0.229 | Moderate effect favoring experimental group.           | Brazil       |

|                                     |  |   |   |            |   |    |       |       |  |        |
|-------------------------------------|--|---|---|------------|---|----|-------|-------|--|--------|
| Duarte da Cruz et al. (2016) (IV)   | SNR with FM:<br>Front: 9.8 dBA,<br>Middle: 5.5 dBA,<br>Bottom: 2.3 dBA | First Evaluation: Control vs. Experimental  | 8 | Elementary | Arithmetic (problem-solving and calculations) | 20 | -0.65 | 0.229 | Increased moderate effect favoring experimental group. | Brazil |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (IX)   |  | First Evaluation: Control vs. Experimental  | 8 | Elementary | Oral Reading                                  | 20 | -0.28 | 0.229 | Small effect favoring experimental group.              | Brazil |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (V)    |  | First Evaluation: Control vs. Experimental  | 8 | Elementary | Reading                                       | 20 | -0.17 | 0.229 | Small effect favoring experimental group.              | Brazil |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (VI)   |  | Second Evaluation: Control vs. Experimental | 8 | Elementary | Reading                                       | 20 | 0.08  | 0.229 | No significant difference.                             | Brazil |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (VII)  |  | First Evaluation: Control vs. Experimental  | 8 | Elementary | Silent Reading                                | 20 | -0.64 | 0.229 | Moderate effect favoring experimental group.           | Brazil |
| Duarte da Cruz et al. (2016) (VIII) |  | Second Evaluation: Control vs. Experimental | 8 | Elementary | Silent Reading                                | 20 | -0.72 | 0.229 | Increased moderate effect favoring experimental group. | Brazil |

|                                  |                           |  |       |            |                         |     |       |       |  |         |
|----------------------------------|---------------------------|--|-------|------------|-------------------------|-----|-------|-------|--|---------|
| Duarte da Cruz et al. (2016) (X) |                           | Second Evaluation: Control vs. Experimental            | 8     | Elementary | Oral Reading            | 20  | -0.30 | 0.229 | Small effect favoring experimental group.                                  | Brazil  |
| Griffin et al. (2019) (I)        | Class-room noise          | Quiet: 55 dBA, +6 dB SNR: Signal 6 dB above            | 7-12  | Elementary | Auditory Comprehension  | 35  | -1.58 | 0.264 | Better performance in +6 dB SNR condition compared to Quiet (92.2 vs 74.8) | USA     |
| Haines et al. (2001) (I)         | Aircraft noise            | High noise (Leq > 66 dBA) vs. Low noise (Leq < 57 dBA) | 08-11 | Elementary | Reading comprehension   | 275 | -0.26 | 0.063 | Chronic exposure has a small negative effect on reading comprehension      | UK      |
| Haines et al. (2001) (II)        |                           | High noise (Leq > 66 dBA) vs. Low noise (Leq < 57 dBA) | 08-11 | Elementary | Sustained attention     | 275 | -0.24 | 0.063 | Chronic exposure has a small negative effect on sustained attention        | UK      |
| Leist et al. (2022) (II)         | Classroom noise, Binaural | Silence vs. Binaural (LAeq = 63 dB, SNR - 3dB)         | 6-8   | Elementary | Speech Perception       | 37  | -2.63 | 0.218 | Large difference   | Germany |
| Leist et al. (2022) (III)        | Classroom noise, Monaural | Silence vs. Monaural (Laeq= 60 Db, SNR=-3)             | 6-8   | Elementary | Listening Comprehension | 37  | -1.65 | 0.218 | Moderate difference  | Germany |

|                           |                           |  |       |            |                         |    |       |       |   |         |
|---------------------------|---------------------------|--|-------|------------|-------------------------|----|-------|-------|---|---------|
| Leist et al. (2022) (IV)  | Classroom noise, Binaural | Silence vs. Binaural (LAeq = 63 dB, SNR - 3dB)   | 6-8   | Elementary | Listening Comprehension | 37 | -1.77 | 0.204 | Moderate difference   | Germany |
| Leist et al. (2022) (VI)  | Classroom noise, Monaural | Silence vs. Monaural (Laeq= 60 Db, SNR=-3)   | 8-9   | Elementary | Listening Comprehension | 19 | -0.86 | 0.200 | Moderate difference   | Germany |
| Leist et al. (2022) (VII) | Classroom noise, Binaural | Silence vs. Binaural (LAeq = 63 dB, SNR - 3dB)   | 8-9   | Elementary | Listening Comprehension | 19 | -0.91 | 0.200 | Moderate difference   | Germany |
| Ljung et al. (2009) (I)   | Road traffic noise        | Leq = 66 dBA, Background noise ~62 dBA, Peaks up to 78 dBA, Dominant frequency range: 100-300 Hz | 12-13 | Secondary  | Reading comprehension   | 50 | -0.16 | 0.142 | Small effect, traffic noise slightly impairs reading comprehension      | Sweden  |
| Ljung et al. (2009) (II)  | Irrelevant speech         | Leq = 66 dBA, Background babble ~62 dBA, Dominant frequency                                      | 12-13 | Secondary  | Reading comprehension   | 66 | 0.17  | 0.123 | Small effect, irrelevant speech slightly improves reading comprehension | Sweden  |

|                           |                    |  |       |           |                   |    |       |       |  |        |
|---------------------------|--------------------|--|-------|-----------|-------------------|----|-------|-------|--|--------|
|                           |                    | range: 500-1500 Hz   |       |           |                   |    |       |       |  |        |
| Ljung et al. (2009) (III) | Road traffic noise | Leq = 66 dBA, Background noise ~62 dBA, Peaks up to 78 dBA, Dominant frequency range: 100-300 Hz | 12-13 | Secondary | Reading speed     | 50 | -0.56 | 0.144 | Moderate effect, traffic noise impairs reading speed     | Sweden |
| Ljung et al. (2009) (IV)  | Irrelevant speech  | Leq = 66 dBA, Background babble ~62 dBA, Dominant frequency range: 500-1500 Hz                   | 12-13 | Secondary | Reading speed     | 66 | -0.23 | 0.124 | Small effect, irrelevant speech impairs reading speed    | Sweden |
| Ljung et al. (2009) (V)   | Road traffic noise | Leq = 66 dBA, Background noise ~62 dBA, Peaks up to 78 dBA, Dominant frequency range: 100-300 Hz | 12-13 | Secondary | Basic mathematics | 50 | -0.50 | 0.143 | Moderate effect, traffic noise impairs basic mathematics | Sweden |

|                                     |                    |  |       |            |                             |    |       |       |   |        |
|-------------------------------------|--------------------|--|-------|------------|-----------------------------|----|-------|-------|---|--------|
| Ljung et al. (2009) (VI)            | Irrelevant speech  | Leq = 66 dBA, Background babble ~62 dBA, Dominant frequency range: 500-1500 Hz                   | 12-13 | Secondary  | Basic mathematics           | 66 | 0.05  | 0.123 | Negligible effect, irrelevant speech has minimal impact on basic mathematics      | Sweden |
| Ljung et al. (2009) (VII)           | Road traffic noise | Leq = 66 dBA, Background noise ~62 dBA, Peaks up to 78 dBA, Dominant frequency range: 100-300 Hz | 12-13 | Secondary  | Mathematical reasoning      | 50 | 0.04  | 0.143 | Negligible effect, traffic noise has minimal impact on mathematical reasoning     | Sweden |
| Ljung et al. (2009) (VIII)          | Irrelevant speech  | Leq = 66 dBA, Background babble ~62 dBA, Dominant frequency range: 500-1500 Hz                   | 12-13 | Secondary  | Mathematical reasoning      | 66 | 0.08  | 0.123 | Negligible effect, irrelevant speech has minimal impact on mathematical reasoning | Sweden |
| McCreery & Stelmachowicz (2013) (I) | Classroom noise    | Full bandwidth, LP 5.6, LP 3.2   | 06-12 | Elementary | Nonword Repetition Accuracy | 17 | -2.98 | 0.266 | Significant reduction in accuracy with reduced bandwidth. .                       | USA    |

|                                       |                              |  |       |            |                             |     |       |       |  |           |
|---------------------------------------|------------------------------|--|-------|------------|-----------------------------|-----|-------|-------|--|-----------|
| McCreery & Stelmachowicz (2013) (II)  |                              | 9 dB, 3 dB   | 06-12 | Elementary | Nonword Repetition Accuracy | 17  | -2.40 | 0.266 | Higher accuracy at 9 dB SNR compared to 3 dB SNR.  | USA       |
| McCreery & Stelmachowicz (2013) (III) |                              | Full bandwidth, LP 5.6, LP 3.2   | 06-12 | Elementary | Verbal Processing Time      | 17  | -0.56 | 0.266 | Increased processing time with reduced bandwidth.  | USA       |
| McCreery & Stelmachowicz (2013) (IV)  |                              | 9 dB, 3 dB   | 06-12 | Elementary | Verbal Processing Time      | 17  | -0.56 | 0.266 | Faster processing time at 9 dB SNR compared to 3 dB SNR.                                     | USA       |
| McCreery & Stelmachowicz (2013) (V)   |                              | 9 dB vs 3 dB, Full bandwidth, LP 5.6, LP 3.2                                 | 06-12 | Elementary | Word Recall Accuracy        | 17  | -0.80 | 0.266 | Higher recall accuracy in full bandwidth condition compared to low-pass filtered conditions. | USA       |
| Rance et al., (2023)                  | Classroom noise              | Enclosed: mean = 56.7, SD = 5.2 dB LAeq; Open: mean = 62.1, SD = 4.2 dB LAeq | 07-11 | Elementary | Reading fluency             | 146 | -0.34 | 0.083 | Effect of noise is more noticeable in open classrooms.                                       | Australia |
| Shield & Dockrell (2008) (I)          | Environmental noise (Area A) | LAeq   | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (FSM)           | 142 | -0.34 | 0.084 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                             | UK        |
| Shield & Dockrell (2008) (II)         |                              | LAeq   | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (EAL)           | 142 | -0.54 | 0.088 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English        | UK        |



|                                 |       |       |            |                   |     |       |       |   |    |
|---------------------------------|-------|-------|------------|-------------------|-----|-------|-------|---|----|
| Shield & Dockrell (2008) (III)  | LAmax | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (FSM) | 142 | -0.30 | 0.083 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (IV)   | LAmax | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (EAL) | 142 | -0.54 | 0.088 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (IX)   | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 English (FSM) | 142 | -0.34 | 0.084 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (V)    | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (FSM)   | 142 | -0.47 | 0.086 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (VI)   | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (EAL)   | 142 | -0.58 | 0.089 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (VII)  | LAmax | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (FSM)   | 142 | -0.30 | 0.083 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (VIII) | LAmax | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (EAL)   | 142 | -0.45 | 0.085 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (X)    | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 English (EAL) | 142 | -0.56 | 0.089 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XI)   | LAmax | 07-11 | Elementary | KS2 English (FSM) | 142 | -0.52 | 0.088 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XII)  | LAmax | 07-11 | Elementary | KS2 English (EAL) | 142 | -0.81 | 0.098 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |

|                                  |                              |       |            |             |                   |       |       |                        |   |    |
|----------------------------------|------------------------------|-------|------------|-------------|-------------------|-------|-------|------------------------|---|----|
| Shield & Dockrell (2008) (XIII)  | Classroom noise              | LAeq  | 07-11      | Elementary  | KS2 Maths (FSM)   | 142   | -0.47 | 0.086                  | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XIV)   |                              | LAeq  | 07-11      | Elementary  | KS2 Maths (EAL)   | 142   | -0.67 | 0.093                  | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XIX)   |                              | LAmx  | 07-11      | Elementary  | KS2 Science (FSM) | 142   | -0.72 | 0.096                  | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XL)    |                              | LAeq  | 07-11      | Elementary  | KS1 Reading       | 142   | 0.02  | 0.083                  | General average result  | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XLI)   |                              | LAeq  | 07-11      | Elementary  | KS1 Maths         | 142   | -0.34 | 0.084                  | General average result  | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XLII)  |                              | LAeq  | 07-11      | Elementary  | KS2 English       | 142   | -0.98 | 0.107                  | General average result  | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XLIII) |                              | LAeq  | 07-11      | Elementary  | KS2 Maths         | 142   | -0.08 | 0.083                  | General average result  | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XLIV)  | LAeq                         | 07-11 | Elementary | KS2 Science | 142               | -0.77 | 0.097 | General average result | UK  |    |
| Shield & Dockrell (2008) (XV)    | Environmental noise (Area A) | LAmx  | 07-11      | Elementary  | KS2 Maths (FSM)   | 142   | -0.77 | 0.097                  | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |

|                                  |                              |       |       |            |                   |     |       |       |   |    |
|----------------------------------|------------------------------|-------|-------|------------|-------------------|-----|-------|-------|---|----|
| Shield & Dockrell (2008) (XVI)   | Environmental noise (Area A) | LAmaz | 07-11 | Elementary | KS2 Maths (EAL)   | 142 | -0.96 | 0.105 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XVII)  | Environmental noise (Area A) | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 Science (FSM) | 142 | -0.52 | 0.088 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XVIII) | Environmental noise (Area A) | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 Science (EAL) | 142 | -0.67 | 0.093 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XX)    | Environmental noise (Area A) | LAmaz | 07-11 | Elementary | KS2 Science (EAL) | 142 | -0.90 | 0.103 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXI)   |                              | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (FSM) | 142 | -0.75 | 0.096 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXII)  |                              | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (EAL) | 142 | -0.87 | 0.102 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXIII) |                              | LAmaz | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (FSM) | 142 | -0.75 | 0.096 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXIV)  |                              | LAmaz | 07-11 | Elementary | KS1 Reading (EAL) | 142 | -0.87 | 0.102 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |

|                                   |  |       |       |            |                   |     |       |       |   |    |
|-----------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|-----|-------|-------|---|----|
| Shield & Dockrell (2008) (XXIX)   | Environm<br>ental<br>(Area B<br>or more<br>60 dBA) | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 English (FSM) | 142 | -0.72 | 0.096 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXVI)   |  | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (EAL)   | 142 | -0.16 | 0.083 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXVII)  |  | LAmix | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (FSM)   | 142 | -0.04 | 0.083 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXVIII) |  | LAmix | 07-11 | Elementary | KS1 Maths (EAL)   | 142 | -0.08 | 0.083 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXX)    |  | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 English (EAL) | 142 | -0.79 | 0.099 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXI)   |  | LAmix | 07-11 | Elementary | KS2 English (FSM) | 142 | -1.01 | 0.108 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXII)  |  | LAmix | 07-11 | Elementary | KS2 English (EAL) | 142 | -1.01 | 0.108 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English | UK |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXIII) |  | LAeq  | 07-11 | Elementary | KS2 Maths (FSM)   | 142 | -0.18 | 0.083 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage                      | UK |

|                                    |                              |  |       |            |                      |     |       |       |  |     |
|------------------------------------|------------------------------|--|-------|------------|----------------------|-----|-------|-------|--|-----|
| Shield & Dockrell (2008) (XXXIV)   |                              | LAeq                                       | 07-11 | Elementary | KS2 Maths (EAL)      | 142 | -0.36 | 0.084 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English                    | UK  |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXIX)   |                              | LAmix                                      | 07-11 | Elementary | KS2 Science (FSM)    | 142 | -0.75 | 0.096 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage   | UK  |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXV)    |                              | LAmix                                      | 07-11 | Elementary | KS2 Maths (FSM)      | 142 | -0.62 | 0.091 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage   | UK  |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXVI)   |                              | LAmix                                      | 07-11 | Elementary | KS2 Maths (EAL)      | 142 | -0.67 | 0.093 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English                    | UK  |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXVII)  |                              | LAeq                                       | 07-11 | Elementary | KS2 Science (FSM)    | 142 | -0.32 | 0.084 | Free School Meals (FSM): Indicator of socioeconomic disadvantage   | UK  |
| Shield & Dockrell (2008) (XXXVIII) |                              | LAeq                                       | 07-11 | Elementary | KS2 Science (EAL)    | 142 | -0.47 | 0.086 | English as an Additional Language (EAL): Students whose first language is not English                    | UK  |
| Valente et al. (2011) (I)          | Class-room noise (simulated) | Discussion Condition: SNR +10 dB; RT 0.6 s | 8     | Elementary | Sentence recognition | 10  | -1.61 | 0.593 | Significant effect of noise on performance in children, higher SNR improves performance (98.67 vs 91.87) | USA |
| Valente et al. (2011) (II)         |                              | Discussion Condition:                      | 8     | Elementary | Sentence recognition | 10  | -1.61 | 0.593 | Significant effect of noise on performance in children, lower  | USA |

|                             |                             |   |       |            |                       |    |        |       |   |       |
|-----------------------------|-----------------------------|---|-------|------------|-----------------------|----|--------|-------|---|-------|
|                             |                             | SNR +7 dB;<br>RT 1.5 s                            |       |            |                       |    |        |       | performance in higher RT condition  |       |
| Valente et al. (2011) (III) |                             | Discussion Condition: SNR +10 dB; RT 0.6 s        | 11    | Elementary | Sentence recognition  | 10 | -1.66  | 0.612 | Significant effect of noise on performance in children, higher SNR improves performance (100.00 vs 97.87) | USA   |
| Valente et al. (2011) (IV)  |                             | Discussion Condition: SNR +7 dB; RT 1.5 s         | 11    | Elementary | Sentence recognition  | 10 | -1.66  | 0.612 | Significant effect of noise on performance in children, lower performance in higher RT condition          | USA   |
| Valente et al. (2011) (V)   |                             | Good conditions: 60 dB(A), 50 dB(A) (SNR = 10 dB) | 08-12 | Elementary | Comprehension         | 50 | -2.0   | 0.286 | High effect of good acoustic conditions on comprehension, better performance in quieter conditions        | USA   |
| Vettori et al. (2022) (I)   | Classroom background babble | Long RT vs. Short RT                              | 7-8   | Elementary | Verbal working memory | 25 | -0.65  | 0.220 | Moderate effect, consistent with $r = -0.33$  | Italy |
| Vettori et al. (2022) (II)  |                             | Long RT vs. Short RT                              | 7-8   | Elementary | Recalled words        | 25 | -0.628 | 0.218 | Moderate effect, better results under adequate acoustic conditions  | Italy |
| Vettori et al. (2022) (III) |                             | Long RT vs. Short RT                              | 7-8   | Elementary | Omitted words         | 25 | -0.629 | 0.218 | Moderate effect, fewer words omitted under adequate acoustic conditions                                   | Italy |
| Vettori et al. (2022) (IV)  |                             | Long RT vs. Short RT                              | 7-8   | Elementary | Intrusions            | 25 | -0.277 | 0.204 | Moderate decrease in intrusions under adequate acoustic conditions  | Italy |
| Vettori et al. (2022) (V)   |                             | Long RT vs. Short RT                              | 7-8   | Elementary | Inversions            | 25 | -0.109 | 0.200 | Small effect, fewer inversions under adequate acoustic conditions   | Italy |

|                              |                     |                      |       |            |                                       |            |        |       |   |                     |
|------------------------------|---------------------|----------------------|-------|------------|---------------------------------------|------------|--------|-------|---|---------------------|
| Vettori et al. (2022) (VI)   |                     | Long RT vs. Short RT | 7-8   | Elementary | Inventions                            | 25         | -0.098 | 0.200 | Small effect, fewer inventions under adequate acoustic conditions                                 | Italy               |
| Vettori et al. (2022) (VII)  |                     | Long RT vs. Short RT | 7-8   | Elementary | Evaluations                           | 25         | -0.036 | 0.200 | Very small effect, practically insignificant difference in the number of evaluations              | Italy               |
| Vettori et al. (2022) (VIII) |                     | Long RT vs. Short RT | 7-8   | Elementary | Omitted evaluations                   | 25         | -0.174 | 0.201 | Small effect, slight increase in omitted evaluations under adequate acoustic conditions           | Italy               |
| Visentin et al.(2023) (I)    |                     | 2S vs Quiet          | 10-13 | Elementary | Sentence Comprehension: Accuracy      | 71         | -0.43  | 0.122 | Children with high selective attention  | Italy               |
| Visentin et al.(2023) (II)   |                     | 2S vs 4S             | 10-13 | Elementary | Sentence Comprehension: Accuracy      | 71         | -0.32  | 0.119 | Children with high selective attention  | Italy               |
| Visentin et al.(2023) (IX)   |                     | 2S vs Quiet          | 10-13 | Elementary | Sentence Comprehension: Response Time | 71         | -0.68  | 0.146 | Children with high selective attention  | Italy               |
| Visentin et al.(2023) (VII)  |                     | Quiet vs 4S          | 10-13 | Elementary | Sentence Comprehension: Response Time | 71         | -0.48  | 0.127 | Children with low selective attention   | Italy               |
| Visentin et al.(2023) (VIII) |                     | 2S vs 4S             | 10-13 | Elementary | Sentence Comprehension: Response Time | 71         | -0.70  | 0.148 | Children with low selective attention   | Italy               |
| Xie et al. (2011) (I)        | Environmental noise | Laeq                 | 14-16 | Secondary  | Key Stage 4 score                     | 96 schools | -0.11  | 0.102 | Pearson correlation of 0.056 indicates a very weak positive relationship. LAeq (37.5 to 60.8 dBA) | Greater London (UK) |
| Xie et al. (2011) (II)       |                     | Lamax                | 14-16 | Secondary  | Key Stage 4 score                     | 96 schools | -0.13  | 0.102 | Spearman correlation of 0.064 indicates a weak positive relationship. LAmx (37.5 to 72.5 dBA)     | Greater London (UK) |

|                         |  |   |       |            |                   |            |        |       |   |                     |
|-------------------------|--|---|-------|------------|-------------------|------------|--------|-------|---|---------------------|
| Xie et al. (2011) (IV)  |  | LAeq  | 14-16 | Secondary  | CVA score         | 96 schools | -0.058 | 0.102 | Spearman correlation of -0.029 indicates a very weak negative relationship. | Greater London (UK) |
| Xie et al. (2011) (V)   |  | LAmx  | 14-16 | Secondary  | CVA score         | 96 schools | -0.297 | 0.102 | Spearman correlation of 0.147 indicates a weak positive relationship.       | Greater London (UK) |
| Zhang & Ma (2022) (I)   | Road traffic noise, low-frequency noise, white noise | Attention task: 3 min exposure to noise levels ranging from 35 dB(A) to 65 dB(A).         | 7-9   | Elementary | Attention task    | 30         | -0.135 | 0.191 | Effect of noise level: Small effect of noise level on attention             | China               |
| Zhang & Ma (2022) (II)  |  | Attention task: 3 min exposure to noise levels ranging from 35 dB(A) to 65 dB(A).         | 7-9   | Elementary | Attention task    | 30         | -0.045 | 0.187 | Very small effect of noise type on attention                                | China               |
| Zhang & Ma (2022) (III) |  | Short-term memory task: 2 min exposure to noise levels ranging from 35 dB(A) to 65 dB(A). | 7-9   | Elementary | Short-term memory | 30         | -0.063 | 0.188 | Very small effect of noise level on short-term memory                       | China               |



|                             |                     |   |       |            |                     |     |        |       |   |       |
|-----------------------------|---------------------|---|-------|------------|---------------------|-----|--------|-------|---|-------|
| Zhang & Ma (2022) (V)       |                     | Calculation task: 5 min exposure to noise levels ranging from 35 dB(A) to 65 dB(A). | 7-11  | Elementary | Calculation task    | 93  | -0.114 | 0.104 | Small effect of noise type on calculation | China |
| Zhang & Ma (2022) (VI)      |                     | Reading task: 5 min exposure to noise levels ranging from 35 dB(A) to 65 dB(A).     | 7-12  | Elementary | Reading task        | 95  | -0.095 | 0.102 | Small effect of noise level on reading    | China |
| Zhang & Ma (2022) (VII)     |                     | Reading task: 5 min exposure to noise levels ranging from 35 dB(A) to 65 dB(A).     | 7-12  | Elementary | Reading task        | 95  | -0.095 | 0.102 | Small effect of noise type on reading     | China |
| Zhang & Navejar (2015) (I)  | Environmental noise | 63.70 dB(A) (SD = 5.33). Urban school   | 14-18 | Secondary  | GPA vs MAP Score    | 122 | -0.72  | 0.103 | Moderate negative correlation             | USA   |
| Zhang & Navejar (2015) (II) |                     | 63.70 dB(A) (SD = 5.33).  | 14-18 | Secondary  | Coping Noise vs MAP | 122 | -0.65  | 0.103 | Higher noise annoyance, lower MAP score   | USA   |

|                              |  |  |       |           |                     |     |       |       |                             |     |
|------------------------------|--|--|-------|-----------|---------------------|-----|-------|-------|-----------------------------|-----|
|                              |  | Urban school                             |       |           |                     |     |       |       |                             |     |
| Zhang & Navejar (2015) (III) |  | 63.70 dB(A) (SD = 5.33).<br>Urban school | 14-18 | Secondary | Coping Noise vs GPA | 122 | -0.10 | 0.091 | No significant relationship | USA |

*Nota.* Elaboració pròpia.