

# Evaluación comparada de la atención y la memoria a corto plazo en escenas lumínicas con contraste de Em y de IRC en aulas de educación primaria

Sara Isabel Ortega Donoso <sup>1</sup> | Guillermo Bautista Pérez <sup>2</sup> | Adrià Muros Alcojor <sup>3</sup>

Recibido: 07-12-2023 | Versión final: 13-09-2023

## Resumen

La manera habitual de establecer jerarquías de manera visual en los espacios es creando una diferencia de nivel de iluminación entre áreas de distinto interés. Sin embargo, esto favorece el aumento de movimientos de la pupila que pueden derivar en fatiga visual y consecuentemente en pérdida de atención y problemas de salud. Este experimento evalúa la eficacia de establecer una jerarquía usando la diferencia de Índice de Reproducción Cromática (IRC) entre un área de interés y su entorno próximo como llamada de atención. El experimento consiste en el desarrollo de tareas específicas en áreas iluminadas con distinto valor de IRC, pero idéntico valor de iluminancia (Em) manteniendo una uniformidad alta para evitar la fatiga producida por contraste. Se evalúa el desempeño de cuatro grupos de estudiantes (87) de entre 8 y 11 años, así como el tiempo y el número de iteraciones necesarias para desarrollar correctamente la tarea propuesta. Esta tarea consiste en la resolución de un puzle de nueve piezas entre las cuales varían cuatro parámetros: posición, color, relleno y forma. Los resultados muestran mejoras significativas en los parámetros analizados de fallos y color a la hora de resolver un puzle, así como una mejora de tiempo de 7 segundos en la resolución de la tarea en escena de estudio. Una vez demostrada la efectividad de la diferencia de IRC como herramienta visual para mejorar la atención se deberá investigar la mejora al largo plazo de la fatiga comparada con métodos tradicionales de diferencia de iluminancia.

**Palabras clave:** iluminación; reproducción cromática; aprendizaje; fatiga visual; edificio educativo

## Citación

Ortega Donoso, Sara I. *et al.* (2024). Evaluación comparada de la atención y la memoria a corto plazo en escenas lumínicas con contraste de Em y de IRC en aulas de educación primaria. *ACE: Architecture, City and Environment*, 19(56), 12440. <https://doi.org/10.5821/ace.19.56.12440>

# Comparative Evaluation of Attention and Short-term Memory Under Lighting Scenes of Illuminance and CRI Contrast in Primary Education Classrooms

## Abstract

The usual way of establishing visual hierarchies in spaces is by creating a difference in the lighting level between areas of different interest. However, this favours the increase of pupil movements that can lead to visual fatigue and consequently to loss of attention and health problems. This experiment evaluates the effectiveness of establishing a classification using the difference in Colour Rendering Index (CRI) between an area of interest and its immediate surroundings as a call for attention. The experiment consists of the development of specific tasks in areas illuminated with different CRI values, but identical illuminance (Em) values, maintaining a high uniformity to avoid fatigue caused by contrast. The performance of four groups of students (87) between 8 and 11 years old is evaluated, as well as the time and number of iterations necessary to correctly develop the proposed task. This task consists of solving a nine-piece puzzle with four variables: location, colour, fill and form. The results show significant improvements in the analysed parameters of errors and colour when solving a puzzle, as well as a time improvement of 7 seconds in the resolution of the task in the study scene. Once the effectiveness of CRI difference as a visual tool to improve attention has been demonstrated, the long-term improvement in fatigue compared to traditional illumination difference methods should be investigated.

**Keywords:** lighting; colour rendering; learning; visual fatigue; educational building

<sup>1</sup> Dra. arquitecta, UPC (ORCID: [0000-0001-9136-3779](https://orcid.org/0000-0001-9136-3779)), <sup>2</sup> Doctor en Pedagogía, UOC (ORCID: [0000-0003-4312-7020](https://orcid.org/0000-0003-4312-7020), Scopus Author ID: [56428847700](https://orcid.org/56428847700)), <sup>3</sup> Dr. Arquitecto, UPC (ORCID: [0000-0002-0167-2904](https://orcid.org/0000-0002-0167-2904)). Correo de contacto: [sara.isabelortega@upc.edu](mailto:sara.isabelortega@upc.edu)

## 1. Introducción

La iluminación en los espacios es uno de los elementos más influyentes tanto en el bienestar de las personas como en el desempeño de tareas dentro de estos espacios (Konstantzos, Sadeghi, Kim, Xiong, & Tzempelikos, 2020).

Esto es especialmente relevante en colegios, donde los principales usuarios son niños y la función principal es el aprendizaje. La iluminación ha sido objeto de estudio por parte de arquitectos y pedagogos a lo largo de los últimos siglos, haciendo hincapié en la necesidad de distintas entradas de luz adaptadas a los distintos usos a lo largo del tiempo (Hertzberger, 2008).

La luz, natural y artificial, es uno de los elementos que más influyen también en el aprendizaje, junto al uso del color, la flexibilidad de uso y la conexión con espacios naturales cercanos. Y así, podemos diseñar la cantidad y calidad de luz natural en el aula y la posibilidad de controlar el nivel de iluminación sin deslumbramientos como parte de la adaptación de la iluminación al medio natural, con sus variaciones a lo largo del día de temperatura de color e intensidad (Barret, Zhang, Moffat, & Kobbacy, 2013).

Junto a la aproximación a la iluminación desde una perspectiva espacial y de aprendizaje está la perspectiva de la fisiología de la percepción.

La iluminación de los espacios de aula ha sido estudiada desde la ergonomía visual desde hace años. Son muchos los estudios que se ocupan de los distintos parámetros de la luz para evitar o retrasar el desarrollo de enfermedades visuales y más recientemente deterioros cognitivos.

La fatiga visual es uno de los problemas más frecuentes dentro de espacios donde se han de desempeñar tareas de atención de varias horas de duración y también es uno de los más estudiados (Dang, Liu, & Chang, 2023; Stone, Clarke, & Slater, 1980; Wilkins, Huang, & Cao, 2004) además del contraste excesivo, otros fenómenos como parpadeos y deslumbramientos incrementan esta fatiga y sensación de malestar (Winterbottom & Wilkins, 2009)

Sin embargo, más allá de evitar problemas de salud ocasionados por una iluminación inapropiada se puede hacer un uso de la iluminación artificial orientada a mejorar el desempeño de tareas sin desatender la ergonomía visual.

En esta línea están los estudios centrados en la incidencia de la temperatura de color correlacionada (CCT) y el nivel de iluminación medio ( $E_m$ ) que analizan y comparan ambos con la sensación de bienestar y con el desempeño de tareas (Alkozei, Smith, Dayley, & Bajaj, 2017; Zeng, Sun, Yu, & Lin, 2022).

Se sabe que altos niveles de iluminación no tienen especial influencia en el desarrollo de tareas cerebrales como la memoria operativa durante las horas diurnas (Huiberts, Smolders, & de Kort, 2015) ni previenen el cansancio o el nivel de alerta en tareas mantenidas más allá de las 2 horas (Borragán, Deliens, Peigneux, & Leproult, 2018) (Smolders, de Kort, & Cluitmans, 2012).

Los parámetros de CCT y  $E_m$  también se han analizado para ver su incidencia en los ciclos circadianos y con esto en el rendimiento escolar (Figueiro, 2013; Keis, Helbig, Streb, & Hille, 2014), logrando mejores desempeños en tareas desarrolladas bajo luz enriquecida en azules en alumnos de secundaria durante las horas diurnas evitando situaciones de temperaturas de color frías e intensidades altas, al afectar al ciclo sueño vigilia y tener repercusiones negativas en el proceso de memoria a largo plazo.

Dentro del aula, la atención se puede conseguir mediante la diferencia visual o bien desde la significación del contenido. En arquitectura, tradicionalmente se ha utilizado el contraste de nivel de iluminación para llamar la atención sobre un área de especial interés.

Sin embargo, a pesar de que el contraste de iluminancia es una herramienta que funciona bien para llamar la atención, en situaciones de espacios cerrados y de largas exposiciones puede generar fatiga (Weston, 1953; Stone, Clarke, & Slater, 1980).

Dentro de las métricas de la luz, las medidas de luminancia se relacionan estrechamente con la percepción humana del brillo. Así, es probable que las métricas basadas en la luminancia se correlacionen más estrechamente con las calificaciones subjetivas de aceptación y preferencia que las medidas basadas en la iluminancia (Van Den Wymelenberga & Inanici, 2014) y se usa frecuentemente como parámetro perceptual comparado (Kruisselbrink, Dangol, & van Loenen, 2020). En este estudio se ha decidido utilizar la iluminancia como parámetro normativo explícito en la normativa para la iluminación artificial de espacios interiores.

La normativa europea UNE 12464.1 (CTN-UNE72-ANFALUM, 2022) aconseja evitar luminancias demasiado elevadas que puedan producir deslumbramiento, y demasiado bajas para evitar crear ambientes monótonos y poco estimulantes, aunque no define valores concretos. En espacios educativos establece valores de  $E_m$  de 500 lux en el plano de trabajo (300 lux en el caso de aulas de educación infantil) y de 700 lux en el plano de pizarra con una uniformidad de 0,60 y un IRC de 80, así como variaciones en la temperatura de color o la necesidad de aumentar el nivel de iluminación según unas exigencias concretas de uso, tampoco indaga en los sistemas de control ni el uso de otros parámetros lumínicos como el IRC que pueden establecer distinciones dentro del aula.

En este experimento se propone conseguir la atención por diferencia de IRC en lugar de por contraste de nivel de iluminación con una uniformidad de 0.90 con el objetivo de poder minimizar la fatiga y promover igualmente ambientes estimulantes.

## 2. Metodología

### 2.1 Descripción

El objetivo del estudio es evaluar la eficacia de la diferencia de IRC como método de llamada de atención exógena. Para esto se distinguen dos zonas en las que los participantes deben resolver un puzle separando las subtareas de atención (zona A) y de llamada al recuerdo (zona B). Cada tarea se realiza en diferentes condiciones de iluminación con el objeto de favorecer la distinción entre ambas.

Se comparan los resultados obtenidos en el desempeño de la tarea en dos escenas lumínicas diferentes: Escena 1, escena normativa en la que la llamada de atención se realiza mediante la diferencia de iluminancia entre áreas y Escena 2, escena de estudio en la que la llamada de atención se lleva a cabo mediante la diferencia de Índice de Reproducción Cromática (IRC) entre áreas.

Los parámetros establecidos para la escena 1 son: una iluminancia media ( $E_m$ ) de 300 a 500 lux según el tipo de tarea a realizar y de 700 lux en plano de trabajo vertical (pizarra) con uniformidad ( $u_0$ ) de 0,6 en el plano horizontal de trabajo.

Los parámetros establecidos para la escena 2 son: una iluminancia media de 400 lux sin variación entre la pizarra y el plano horizontal de trabajo con una uniformidad media de 0,85. Se han tomado medidas en una retícula de 0,5 x 0,5 m dentro de la zona experimental para asegurar esta uniformidad en la escena 2. Se establece una diferencia de Índice de Reproducción Cromática (IRC) entre la zona A y la zona B dentro de los márgenes comerciales existentes.

Se puede ver un resumen de los parámetros establecidos para las zonas y escenas planteadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen parámetros por escena

	Em (lux) ZONA A	Em (lux) ZONA B	IRC ZONA A	IRC ZONA B
Escena 1	400	700	83	83
Escena 2	400	400	83	98

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Centros

Esta investigación se ha realizado en dos centros escolares del área metropolitana de Barcelona: la escuela Roser Capdevila de Sant Joan de Espí y la escuela Lola Anglada de Esplugues de Llobregat, ambas participan en el proyecto de investigación *Smart Classrooms* (Bautista & Borges, 2013) que analiza la relación del aprendizaje de los alumnos en el entorno del aula.

Las aulas “Smart” de estos centros son aulas adaptadas en las que se favorece la flexibilidad de ubicación y uso del mobiliario y la autonomía del alumno.

Ambas aulas tienen características físicas similares descritas en la Tabla 12, y se han usado bloqueadores de luz en las zonas en las que la luz intrusa podría alterar los resultados.

Tabla 2. Características físicas de las aulas Smart de los centros estudiados

Centro	Protección solar total	Luz intrusa	Dim. X (m)	Dim. Y (m)	Dim. Z (m)	Gr.Refl. suelo (GRs)	Gr.Refl. paredes (GRp)	Gr.Refl. techo (GRt)
Roser Capdevila	sí	no	9,15	6,15	2,80	0,3	0,6	0,8
Lola Anglada	no	sí	8,64	6,54	2,80	0,3	0,6	0,8

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos en sitio.

## 2.3 Participantes

Se busca que los participantes tengan habilidades suficientes para el desarrollo de una tarea lógica y atencional. Para esto, atendemos a los estadios de psicología evolutiva de Ostherieth (1960), Piaget (1975) y Ramplein (1980). Así nos enmarcaríamos en un rango de edad de 8 a 11 años que equivaldrían al periodo 4º de Ostherieth en el que el niño ya ha extinguido la espontaneidad motora, al periodo concreto de Piaget en el que el niño aplica el pensamiento lógico y a la fase de niñez media y niñez-tardía de Ramplein en la que el niño domina la comprensión analítica.

Con este criterio se seleccionaron los alumnos de las dos clases de 4º curso de la escuela Roser Capdevila y las clases de 3º y 4º de la escuela Lola Anglada. La muestra total de participantes es de 87 (50 niños, y 37 niñas, de edades entre 8 y 11 años; (M=9,21 años, SD=1,17 años).

Se puede ver el desglose por centro, curso y sexo en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de participantes por centro escolar

Centro	N.º niños	N.º niñas	N.º Total de participantes
Roser Capdevila 4º A	10	9	19
Roser Capdevila 4º B	9	9	18
Lola Anglada 4º	16	9	25
Lola Anglada 3º	15	10	25
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>87</b>

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos en sitio.

A pesar de que las escuelas pertenecen a dos términos municipales distintos, estos se ubican a 600 m de distancia, suponiendo un mismo contexto socioeconómico para todos los participantes.

Ningún participante manifestó problemas de visión de color previa a la realización del experimento.

## 2.4 Materiales

### Elementos de iluminación y control

Pizarra iluminada: Se ha fabricado una pizarra portátil metálica con recubrimiento blanco mate con un grado de reflexión de 0,8. Esta pizarra cuenta con una doble iluminación: una directa para la iluminación de su superficie y otra indirecta y orientable para la iluminación del entorno del aula. Descritas por escena en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de iluminación experimental según zona y escena

Escena	Centro	Zona	Iluminación existente	Iluminación directa	Iluminación Indirecta	Iluminación soporte	Accesorios
1	Roser Capdevila	A	(3)	(1)	(1)	-	NO
	Roser Capdevila	B	(3)	(1)	(1)	-	NO
	Lola Anglada	A	(4)	(1)	(1)	-	Bloqueador opaco para luz intrusa
	Lola Anglada	B	(4)	(1)	(1)	-	Bloqueador opaco para luz intrusa
2	Roser Capdevila	A	(3)	(2)	(1)	(5)	NO
	Roser Capdevila	B	(3)	(2)	(1)	(5)	NO
	Lola Anglada	A	(4)	(2)	(1)	(5)	Bloqueador opaco para luz intrusa
	Lola Anglada	B	(4)	(2)	(1)	(5)	Bloqueador opaco para luz intrusa

- (1) Tira LED VarioLED™ Flex SOL HD25 (Led linear) de 2m en perfil con difusor alto con controlador PWM-DMX 4x2A DMX Full-Colour Dimmable LED Driver (Eldoled) y Fuente de alimentación 240W/24V. Controlador DMX controlado de manera remota vía OSC.
- (2) Tira LED LD25 IRC80 de 4m en perfil con difusor alto con controlador PWM-DMX 4x2A DMX Full-Colour Dimmable Driver (Eldoled) y Fuente de alimentación 240W/24V. Controlador DMX controlado de manera remota vía OSC.
- (3) Maset Soho57. 2086 lum, IRC80, suspendida 50cm. (12 unidades). Regulación DALI-2 desde pulsador por zonas.
- (4) TTX400-Philips, TLD827, 58W, en superficie. (8 unidades). Sin regulación.
- (5) Kelvin LED Flos, IRC90, 2700-3200K, 360 lum sobre mesa (2 unidades). Regulación por fase en tres pasos manual.

Fuente: Elaboración propia.

La iluminación de la pizarra se controla mediante protocolo DMX. El sistema de control se ubica en la zona trasera de la pizarra y se utiliza para ajustar los niveles experimentales en cada una de las escenas.

Luminaria de sobremesa: adicionalmente se completa la iluminación entre la zona A y la zona B con una luminaria de sobremesa con IRC 90, 2700 K y regulable que hacen la transición entre una y otra zona. Se ilustra el set del experimento en la Figura 1.

Figura 1. Set del experimento



Fuente: Elaboración propia.

#### *Dispositivos de medida*

Previa a la realización de la prueba en cada una de las escenas se aseguraron los niveles de iluminación en las zonas de trabajo y de transición.

Para el registro de los resultados se han realizado una toma de datos manual en la que se registraba tiempo y número de veces que el participante vuelve a mirar la carta-puzle y un registro fotográfico para registrar los resultados de los puzles resueltos por cada participante. Adicionalmente se grabó la sesión como registro de seguridad.

#### *Puzle*

Fichas-puzle: Se han producido las piezas de formas, colores y rellenos correspondientes a las cartas-puzle y se han imantado de manera que queden adheridas a la superficie donde se realizará el puzle.

Cartas-puzle: Se ha producido una baraja de cartas-puzle en la que se ha asegurado el equilibrio de variedad entre cartas para evitar diferencias de dificultad en la resolución del puzle; de manera que cada carta contiene el mismo número de variaciones.

## 2.5 *Tareas y evaluación*

La tarea que han de realizar los participantes consiste en la resolución de un puzle sencillo de 9 piezas en las que cada una de las piezas corresponde a distintas formas (cuadrado, triángulo, círculo, rectángulo), colores (rosa, cian, verde, naranja) y rellenos (sólido o contorno) según distintas posiciones relativas.

Se ha elegido la realización de un puzle ya que exige múltiples habilidades cognitivas de atención (reconocimiento de objetos, patrones, orientaciones) y memoria de trabajo (integración visual, rotación mental, mantener la asociación entre la ubicación espacial y los patrones visuales de las piezas de rompecabezas en memoria) (Fissler, y otros, 2018) que son objeto de este estudio.

Para la resolución del puzle cada participante debe mirar su carta-puzle ubicada en la zona A hasta que crea haber memorizado las posiciones y tipos de piezas. Una vez cerrada la etapa de atención el participante se desplaza a la zona B donde está la pizarra metálica y las piezas correspondientes a

las cartas-puzle; en esta nueva ubicación el participante realiza el trabajo de memoria en el que ubica las piezas recordadas de su carta-puzle.

Se permite volver tantas veces como sea necesario a la zona A para empezar el ciclo de nuevo.

Para evaluar la memoria se contabilizarán los fallos en el puzle resuelto distinguiendo entre: fallos de forma, fallos de color, fallos de relleno y fallos de posición.

Para evaluar la atención se midió el número de veces que necesita el participante para reforzar el recuerdo, así como el tiempo necesario para completar el puzle.

## 2.6 Procedimientos

La realización de la tarea se lleva a cabo de dos en dos participantes, uno a cada extremo de la pizarra con una separación intermedia en la que se ubican dos juegos de piezas de puzle ordenadas por forma y color.

La sesión se estructurará según la siguiente manera (Figura 2).

Se inicia con una explicación del proceso (a) en la que se presentan a los participantes las cartas ubicadas en sendas mesas, las zonas de mesa y pizarra y las normas de: no dejar la carta boca arriba, no llevarla a la pizarra y la posibilidad de volver a mirar la carta cuanto tiempo necesiten y el número de veces que sea necesario. Esta explicación tiene una duración de dos minutos.

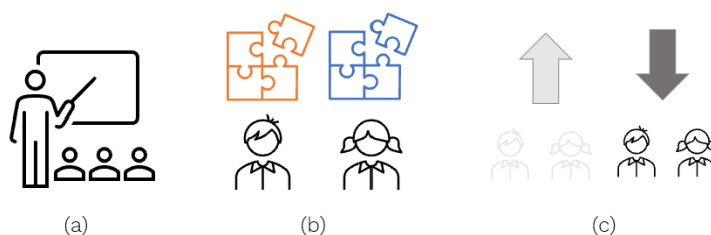
A continuación, se pone en marcha un cronómetro que indica el inicio de la ejecución de la tarea (b) en la que los participantes memorizan su carta-puzle y lo completan según las instrucciones recibidas. Una vez el participante lo considera terminado levanta la mano, se toma nota del tiempo realizado y se espera a que el participante que realiza la tarea simultáneamente termine su puzle o el tiempo se agote. Este proceso tiene una duración máxima de 3 minutos.

Una vez ambos participantes han terminado o el tiempo máximo de 3 minutos ha concluido los participantes vuelven a las aulas de origen (c) y una pareja nueva de participantes entra en el aula. Este proceso dura 2 minutos.

Una vez todos los participantes han realizado la prueba se cambian las luminarias y su programación para adaptarlas a las condiciones de la escena 2 para repetir de nuevo el proceso en las nuevas condiciones de iluminación.

En ambos centros se ha variado el orden de las escenas 1 y 2 para evitar sesgos por conocer la dinámica del proceso.

Figura 2. Esquema de la sesión



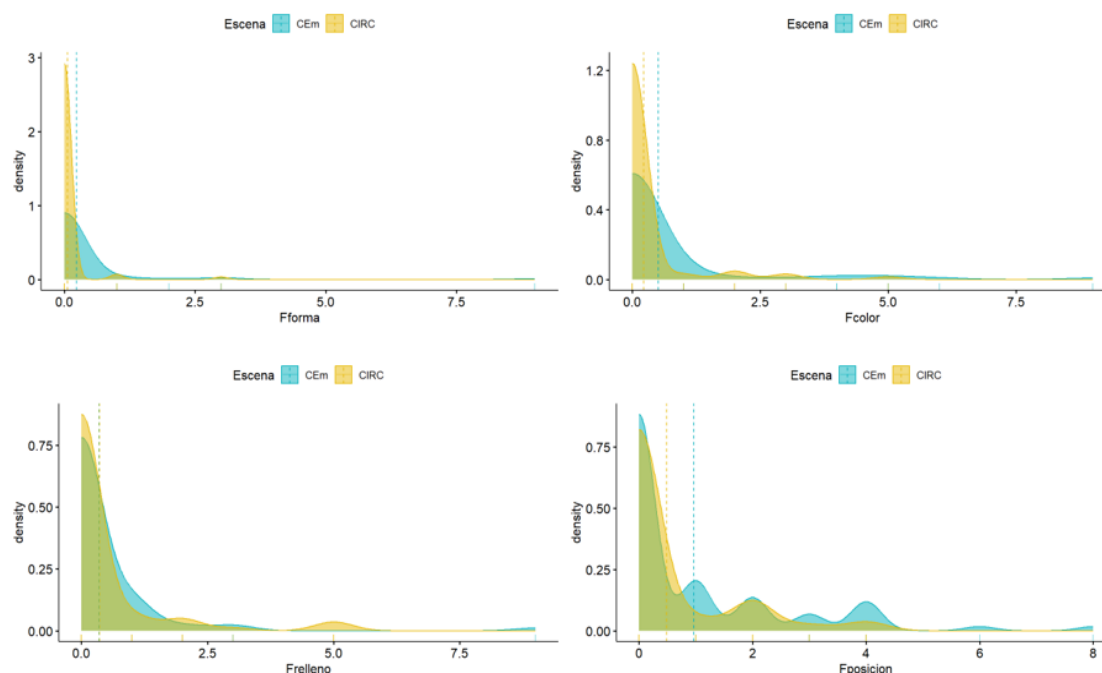
Fuente: Elaboración propia.

## 3. Resultados

### 3.1 Resultados de memoria

Se han analizado los datos de fallo estadísticamente con una prueba t para muestras relacionadas, obteniendo los siguientes resultados (Figura 3).

Figura 3. Distribución de fallos según escena de: forma (arriba izquierda), color (arriba derecha), relleno (abajo izquierda) y posición (abajo derecha)



Fuente: Elaboración propia.

CEm: Contraste por diferencia de iluminancia.

CIRC: Contraste por diferencia de IRC.

- Fallos de forma: se encuentran más fallos de forma en los puzles resueltos en la escena 1 que en la escena 2. La diferencia no es significativa  $p > 0,05$

$$\bar{x}_F = 0,238; \sigma_{x_F} = 1,104; \bar{y}_F = 0,059; \sigma_{y_F} = 0,359; n_1 = 84; n_2 = 84; t(83) = 1,356; p < 0,10$$

- Fallos de color: se encuentran más fallos de forma en los puzles resueltos en la escena 1 que en la escena 2. La diferencia es significativa  $p < 0,05$

$$\bar{x}_C = 0,511; \sigma_{x_C} = 1,532; \bar{y}_C = 0,190; \sigma_{y_C} = 0,735; n_1 = 84; n_2 = 84; t(83) = 1,954; p < 0,05$$

- Fallos de relleno: se encuentran la misma cantidad de fallos de relleno en ambas escenas.

$$\bar{x}_R = 0,357; \sigma_{x_R} = 1,136; \bar{y}_R = 0,059; \sigma_{y_R} = 1,060; n_1 = 84; n_2 = 84; t(83) = 0$$

- Fallos de posición: se encuentran más fallos de forma en los puzles resueltos en la escena 1 que en la escena 2. La diferencia es significativa  $p < 0,05$

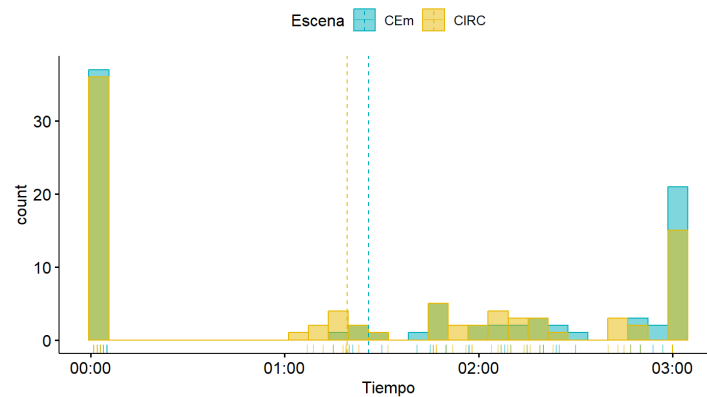
$$\bar{x}_P = 0,976; \sigma_{x_P} = 1,598; \bar{y}_P = 0,476; \sigma_{y_P} = 1,023; n_1 = 84; n_2 = 84; t(83) = 3,743; p < 0,01$$

### 3.2 Resultados de atención

- Tiempo: Del análisis del tiempo necesario para completar el puzle vemos que es necesario de media 7 segundos más en la escena 1 que en la escena 2 (Figura 4).



Figura 4. Distribución de tiempos empleados según escena



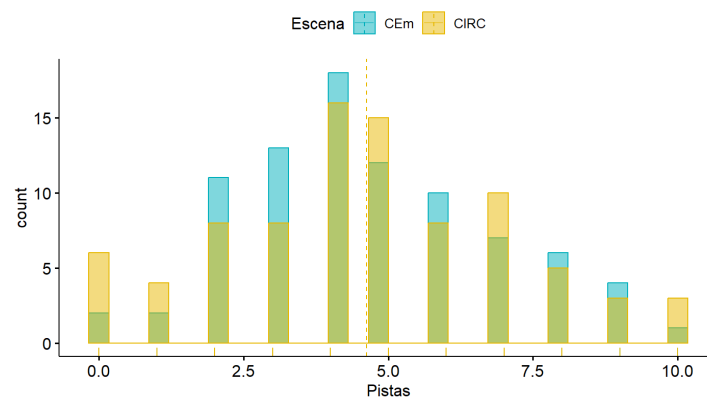
CEm: Contraste por diferencia de iluminancia.

CIRC: Contraste por diferencia de IRC.

Fuente: Elaboración propia.

- Número de refuerzos necesarios: No se observa diferencia significativa entre el número de refuerzos necesarios en ambas escenas (Figura 5).

Figura 5. Distribución de refuerzos necesarios según escena



CEm: Contraste por diferencia de iluminancia.

CIRC: Contraste por diferencia de IRC.

Fuente: Elaboración propia.

## 4. Discusión

En cuanto a métodos, se ha utilizado una metodología experimental en el ecosistema habitual de los participantes adaptándolos a las condiciones de laboratorio que se estaban estudiando. Esta metodología ha permitido por una parte aumentar el número de participantes habituales en este tipo de experimentos y por otra la adaptación a un entorno real de lo que podría ser una futura implantación.

En cuanto a los resultados, estos presentan mejoras en el desempeño de la tarea, especialmente en los parámetros de posición y color ( $p < 0,01$  y  $p < 0,05$  respectivamente).

El mejor resultado obtenido en color era previsible dada la repercusión directa en la reproducción de colores del propio experimento, sin embargo, en el resultado de relleno no observamos diferencia alguna, esto podría deberse a ser muy diferente en la percepción un contorno a un relleno no siendo lo suficientemente discriminatorio este parámetro.

Este estudio ha de completarse con la resolución de otras tareas y aplicados a distintos rangos de edad para comprobar su validez generalizada.

Así mismo se debe analizar la atención sostenida con pruebas de mayor duración para poder comparar la repercusión a nivel fisiológico que el contraste de IRC puede tener en tareas sostenidas por periodos largos.

Los trabajos de (Dang et al., 2023; Huang et al., 2021; Huiberts et al., 2015; Konstantzos et al., 2020; Lasauskaite et al., 2023; Leichtfried et al., 2015; Yang & Jeon, 2020; Zeng et al., 2022) ya estudiaban la incidencia de los parámetros de nivel de iluminación y CCT, viniendo a completarlos con un nuevo parámetro de análisis como es la diferencia de IRC.

## 5. Conclusiones

Con este experimento se buscaba demostrar que el contraste de IRC es una herramienta tan eficaz como la diferencia de iluminancias para crear una llamada de atención sobre una zona de interés concreto. De los resultados obtenidos se puede concluir que el uso del contraste de IRC es una herramienta útil para generar atención que repercute en el desempeño de tareas en las que la memoria de trabajo sea determinante.

Estas conclusiones son el primer paso para determinar si se puede utilizar el contraste de IRC en lugar del contraste de iluminancia para establecer las distintas zonas de atención dentro de espacios de uso continuo sin provocar fatiga visual.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los centros escolares participantes Roser Capdevila y Lola Anglada por su ayuda en todo momento, especialmente a las direcciones y el profesorado de 3º y 4º de primaria. Así como al programa SmartClassrooms del que participan.

## Autoría

Persona Autora 1: conceptualización y diseño de la investigación, análisis formal, investigación, validación de datos, escritura, realización de visualizaciones, revisión edición, consecución de recursos materiales; persona autora 2: contacto con las escuelas analizadas y revisión de la fundamentación pedagógica; persona autora 3: supervisión y revisión.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

## Bibliografía

Alkozei, A., Smith, R., Dayley, N., & Bajaj, S. (2017). Acute exposure to blue wavelength light during memory consolidation improves verbal memory performance. *PLoS ONE*, 12(9), 1-11. [10.1371/journal.pone.0184884](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184884)

Barret, P., Zhang, Y., Moffat, J., & Kobbacy, K. (2013). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 59, 678-689. [10.1016/j.buildenv.2012.09.016](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.016)

Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118-133. [10.1016/j.buildenv.2015.02.013](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013)

- Bautista, G., & Borges, F. (2013). Smart classrooms: Innovation in formal learning spaces to transform learning experiences. *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, 15(3), 18–21.
- Borrágán, G., Deliens, G., Peigneux, P., & Leproult, R. (2018). Bright light exposure does not prevent the deterioration of alertness induced by sustained high cognitive load demands. *Elsevier*, 55, 95-103. [10.1016/j.jenvp.2017.03.008](https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.03.008)
- CTN-UNE72-ANFALUM. (2022). *Luz e iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo interiores*. Madrid: Asociación Española de Normalización.
- Dang, R., Liu, Y., & Chang, S. (2023). The impact patterns of classroom lighting parameters on visual fatigue and a mathematical model. *Building and environment*, 234, 110193. [10.1016/j.buildenv.2023.110193](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110193).
- Figueiro, M. (2013). An overview of the effects of light on human circadian rhythms: Implications for new light sources and lighting systems design. *Journal of Light and Visual Environment*, 37(2\_3), 51-61. [10.2150/jlve.IEJ130000503](https://doi.org/10.2150/jlve.IEJ130000503)
- Fissler, P., Küster, O. C., Laptinskaya, D., Loy, L. S., von Arnim, C. A., & Kolassa, I.-T. (2018). Jigsaw Puzzling Taps Multiple Cognitive Abilities and Is a Potential Protective Factor for Cognitive Aging. *Frontiers in aging neuroscience*, 10, art. 299. [10.3389/fnagi.2018.00299](https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00299).
- Hertzberger, H. (2008). *Space and learning. Lessons in architecture 3*. Rotterdam: 010.
- Huiberts, L., Smolders, K., & de Kort, Y. (2015). Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance. *Behavioural Brain Research*, 294, 234-245. [10.1016/j.bbr.2015.07.045](https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.07.045).
- 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, 86-92. [10.1016/j.tine.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.tine.2014.09.001).
- Konstantzos, I., Sadeghi, S., Kim, M., Xiong, J., & Tzempelikos, A. (2020). The effect of lighting environment on task performance in buildings – A review. *Energy and Buildings*, 226, 110394, 226. [10.1016/j.enbuild.2020.110394](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110394).
- Kruisselbrink, T. W., Dangol, R., & van Loenen, E. J. (2020). A comparative study between two algorithms for luminance-based lighting control. *Energy and Buildings*, 228, 1-10. [10.1016/j.enbuild.2020.110429](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110429).
- Smolders, K., de Kort, Y., & Cluitmans, P. (2012). A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology and Behavior*, 107, 7-16. [10.1016/j.physbeh.2012.04.028](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.04.028).
- Stone, P., Clarke, A., & Slater, A. (1980). The effect of task contrast on visual performance and visual fatigue at a constant illuminance. *Lighting Research & Technology*, 12(3), 144-159. [10.1177/096032718001200305](https://doi.org/10.1177/096032718001200305)
- Van Den Wymelenberga, K., & Inanici, M. (2014). A Critical Investigation of Common Lighting Design. *LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society*, 10(3), 145-164. [10.1080/15502724.2014.881720](https://doi.org/10.1080/15502724.2014.881720)
- Weston, H. (1953). Visual Fatigue: With Special Reference to Lighting. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 18(2\_IEStrans), 39-66. [doi:10.1177/147715355301800201](https://doi.org/10.1177/147715355301800201)
- Wilkins, A., Huang, J., & Cao, Y. (2004). Visual stress theory and its application. *Journal of research in Reading*, 27(2), 152-162. [10.1111/j.1467-9817.2004.00223.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2004.00223.x)
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63-75. [10.1016/j.jenvp.2008.11.007](https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.11.007).
- Zeng, Y., Sun, H., Yu, J., & Lin, B. (2022). Effects of correlated color temperature of office light on subjective perception, mood and task performance. *Building and Environment*, 224, 109508. [10.1016/j.buildenv.2022.109508](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109508).