





Recibido 25/02/2021
Aceptado 24/06/2021

INDICADOR DE RENDIMIENTO LABORAL DEL USUARIO-TRABAJADOR DE OFICINA EN PERÍODO DE VERANO DE CLIMA TEMPLADO CÁLIDO

OFFICE USER WORK PERFORMANCE INDICATOR IN WARM TEMPERATE SUMMER PERIOD

YESICA ALAMINO NARANJO
Doctora en Arquitectura
Investigadora adjunta, Instituto Regional de Planeamiento y
Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
Universidad Nacional de San Juan
San Juan, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-2325-2206>
alaminoyesica@gmail.com

ALCION ALONSO FRANK
Doctora en Arquitectura
Profesora Adjunta -Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat -
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
Universidad Nacional de San Juan
San Juan, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-9227-3449>
arqalcionfrank@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo que aquí se presenta fue desarrollar una herramienta metodológica que evaluara el rendimiento laboral de los espacios de oficina durante el período de verano. La herramienta propuesta se tradujo en un indicador de rendimiento laboral óptimo denominado IRLLO, que combina variables ambientales de influencia térmica, calidad del aire, visual y acústica. Para su desarrollo, se practicaron mediciones integradas y, paralelamente, encuestas a los usuarios-trabajadores de un edificio de oficinas de la Ciudad de San Juan-Argentina. Los resultados revelan los rangos de preferencia de cada variable, reconociendo que en las oficinas de tipología abierta acontece una mayor capacidad adaptativa ambiental que en las de tipología cerrada. Se concluye que el indicador destaca por sentar una base para identificar rendimientos laborales conforme a variables ambientales que deben, en adelante, ser consideradas en fase de diseño.

Palabras clave

calidad ambiental, edificio de oficinas, tipología

ABSTRACT

The purpose of this work was to develop a methodological tool to evaluate office space work performance during the summer period. The proposed tool is an optimal work performance indicator called IRLLO, which combines environmental variables on thermal, air quality, visual and acoustic influence. Integrated measurements were run for its development alongside surveys to users-workers of an office building in the city of San Juan - Argentina. The results reveal the preference ranges of each variable, recognizing that in open plan offices, there is a greater environmental adaptive capacity than in closed plan offices. It is concluded, that the indicator stands out by providing a basis to identify work performance considering environmental variables that should, in the future, be considered in the design phase.

Keywords

environmental quality, office building, typology

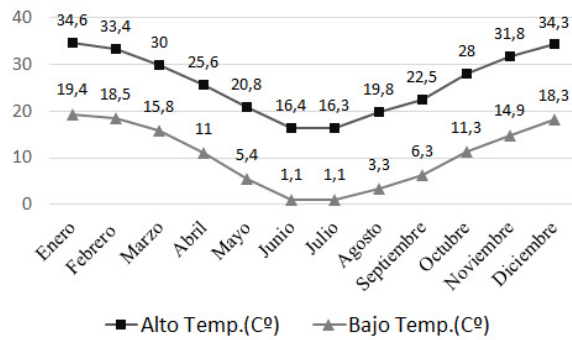


Figura 1. Temperaturas medias máximas y mínimas anuales (Cº)-San Juan, Argentina. Fuente: Elaboración de las autoras en base a datos obtenidos Weather Atlas.

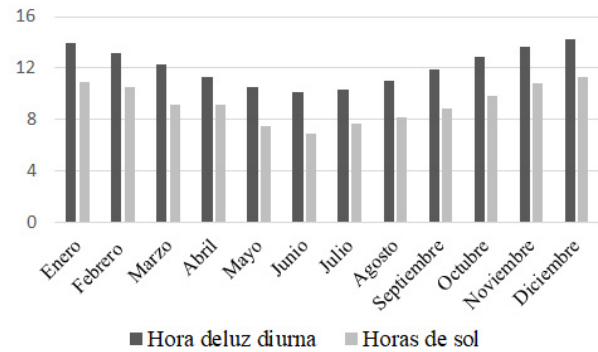


Figura 2. Horas de luz diurna /Horas de sol (anual)-San Juan, Argentina. Fuente: Elaboración de las autoras en base a datos obtenidos Weather Atlas.obtenidos Weather Atlas.

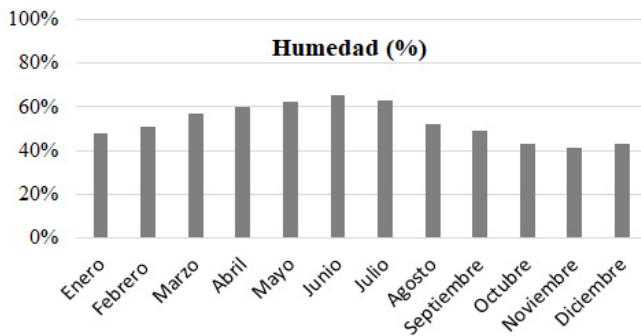


Figura 3. Porcentaje (%) de humedad anual-San Juan, Argentina. Fuente: Elaboración de las autoras en base a datos obtenidos Weather Atlas.

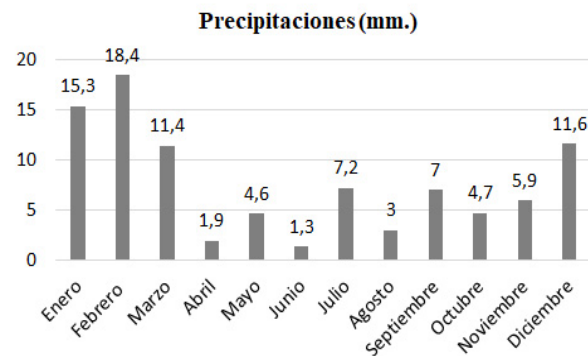


Figura 4. Precipitación media anual(mm)-San Juan, Argentina. Fuente: Elaboración de las autoras en base a datos obtenidos Weather Atlas.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, un quinto de la población habita espacios de trabajo más de 48 horas semanales (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2020). Tales espacios son diversos, dependiendo del tipo de actividad que se desarrolle. En Argentina, el 60% de ellos corresponde al sector oficina (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2010). Estos recintos laborales son concebidos en términos de elementos contenedores de las funciones que desempeñan los usuarios-trabajadores (UT), desestimando la importancia de la calidad ambiental interior (CAI) (Marín Galeano, 2013), que es prioritaria puesto que la configuración espacial modifica los factores ambientales y, consecuentemente, incide en la sensación de confort y rendimiento laboral (RL) del UT (Nag, 2019).

Desde el ámbito científico han surgido avances en la temática que indican las variables ambientales interiores que ejercen mayor influencia sobre la salud y rendimiento (WEI *et al.*, 2020) y que, al mismo tiempo permiten comprender problemas referidos al diseño espacial. Entre ellas destaca la temperatura (Wargocki y Wyon, 2017; Lamb y Kwok, 2016; Maula, Hongisto, Koskela y Haapakangas, 2016), la concentración de CO₂ (Candanedo y Feldheim,

2016; Shriram, Ramamurthy y Ramakrishnan, 2019), el nivel lumínico (Liu, Lin, Huang y Chen, 2017, Yang y Moon, 2019; H. Wu, Y. Wu, Sun y Liu, 2020) y el nivel sonoro interior (Liebl y Jahncke, 2017; Kari, Makkonen y Frank, 2017). Asimismo, existen investigaciones que abordan estas variables de forma holística, buscando encontrar relaciones entre ellas, además de identificar las que ejercen mayor efecto sobre el bienestar de las personas (Haegerstrand y Knutsson, 2019; Lou y Ou, 2019; Shin, Jeong y Park, 2018, Wei *et al.*, 2020). Sin embargo, se desconocen estudios que se aboquen al RL en oficina y a cómo este se ve afectado de forma holística por las mencionadas variables, particularmente, en un clima templado cálido. Por este motivo, es necesario profundizar el conocimiento centrado en estas latitudes, más aún en un período crítico, como es el verano.

La presente investigación tiene como objetivo conocer la relación entre la CAI en oficinas y el RL de los UT, a efectos de determinar rangos de RL óptimo y proceder a su valoración numérica, para lo cual se diseña un Indicador de Rendimiento Laboral Óptimo (IRLO). En este sentido, cabe subrayar que, de la espacialidad arquitectónica, se reconocen dos tipologías claramente definidas como abierta (OA) y cerrada (OC). Las mismas son estudiadas de manera independiente en busca de encontrar posibles similitudes y diferencias.

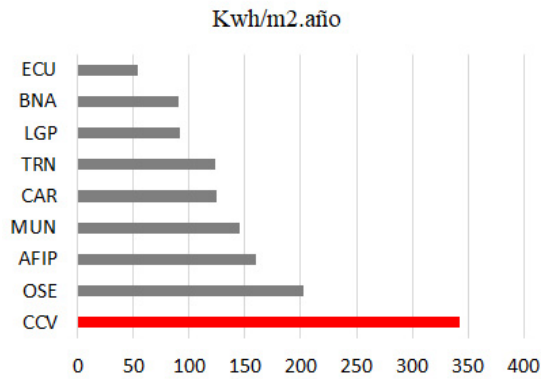


Figura 5. Consumo de energía eléctrica por metro cuadrado de edificios de oficinas emplazados en la ciudad de San Juan, Argentina. Fuente: Ente Provincial Regulador de Energía.

METODOLOGÍA

La investigación arranca a partir de una aproximación experimental, mediante un trabajo de campo en oficinas en una región de clima templado cálido. Se realizan mediciones integradas sobre variables ambientales, indagando sobre la valoración del RL auto reportado, a través de encuestas de elaboración propia.

De los resultados, se obtienen rangos de mayor y menor influencia sobre el RL por cada variable ambiental analizada, donde los mismos son valorados cuantitativamente y expresados gráficamente. Por último, cada uno de los rangos de variabilidad del rendimiento conduce a la construcción del IRLO, objeto del presente estudio.

CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

La ciudad de San Juan (Argentina) se ubica a 630 metros sobre el nivel del mar, latitud 31,6° Sur y longitud 68,5° Oeste. El clima, según normativa IRAM 1163 (1996), corresponde a uno templado-cálido con grandes variaciones de temperatura (Figura 1), transparencia atmosférica (Figura 2) y baja humedad (Figura 3). El régimen de lluvias es continental, con una frecuencia media baja (Figura 4). Según la clasificación de Köppen (Minetti, Carletto y Sierra, 1986), es de tipo desértico frío (BWk), donde los inviernos son muy fríos y los veranos templados o cálidos. Presenta viento frecuente moderado del sector sudeste y viento característico zonda de tipo seco-cálido, calificado como evento severo del oeste por sus ráfagas intensas (Puliafito, Allende, Mulena, Cremades y Lakkis, 2015). Este último se presenta con mayor frecuencia en agosto y septiembre (Perucca y Martos, 2012).

OBJETO DE ESTUDIO

La selección del caso de estudio se fundamenta en el análisis del impacto ambiental derivado de su nivel de consumo en la ciudad de San Juan. Por ello, se analizan los consumos energéticos de la población de edificios y su relación por metro cuadrado de superficie útil (climatizada), destinada a espacios de trabajo (oficinas), considerando aquellos que superan los 3 (tres) pisos.

El edificio Centro Cívico (CCV) (Figuras 6 y 7) presenta el mayor consumo de energía eléctrica, con valores superiores a los 340 kWh/m² año, motivo por el cual fue seleccionado como caso de estudio. A modo de síntesis, la Tabla 1 expone sus características más relevantes.

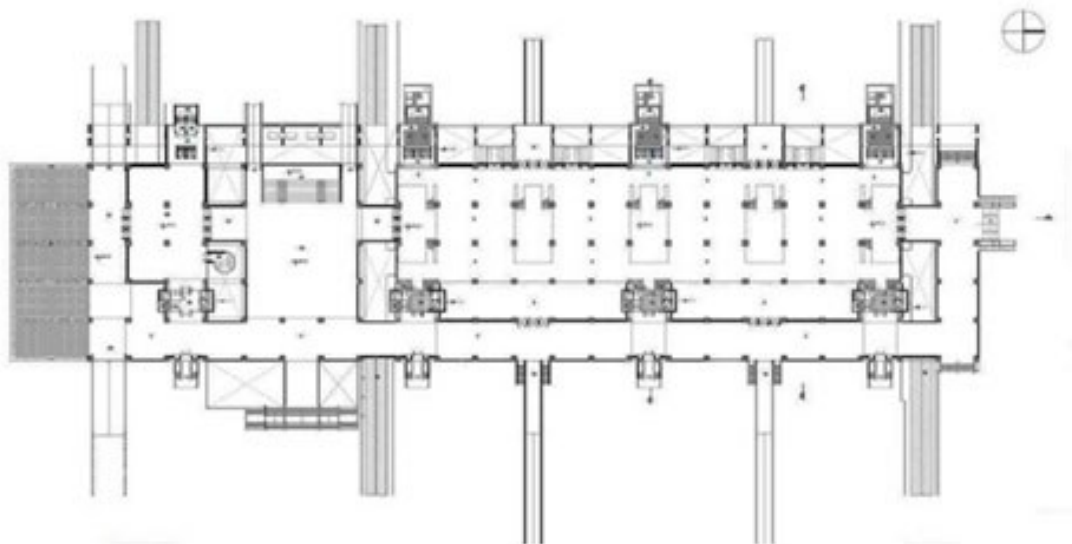


Figura 6. Edificio Centro Cívico-Planta Baja. Fuente: Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano.



Figura 7. Fachada este Edificio Centro Cívico. Fuente: Elaboración de las autoras.

Superficie total	80.873m ²
Orientación	Este-Oeste
Superficie de oficina [%]	59%
Sistema de climatización frío / calor	HVAC (Heating-Ventilation-Air-Conditioning)
Consumo [kWh/m ² .año]	342
Tipo de estructura	Hormigón Armado
Mampostería de cierre	Liviana-Placa mdf
Superficie vidriada por oficina abierta	0%
Superficie vidriada por oficina cerrada	50%
Sistema de iluminación	Circuitos diferenciados por piso (sistema led)

Tabla 1. Caracterización del edificio Centro Cívico Fuente: Elaboración de las autoras.

Caracterización	Oficina cerrada (OC)	Oficina abierta (OA)
Presencia de ventanas	Si	no
Posibilidad de apertura	Si	no
Control de iluminación natural	Si	no
Altura de panel-cerramiento	3,60 m. (100%)	0.80 m - 2.10 m. (25 %)
Factor de ocupación promedio	5,10 m ² /persona	4,50 m ² /persona
Capacidad de personas	2 a 6 personas	3 a 11 personas
Actividad	Trabajo interno	Trabajo interno-Atención al público

Tabla 2. Caracterización tipológica de oficinas. Fuente: Elaboración de las autoras.

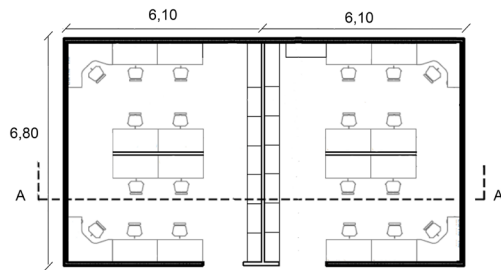


Figura 8. Planta tipo de dos oficinas de tipología arquitectónica abierta (OA). Medidas en metros. Fuente: Elaboración de las autoras.

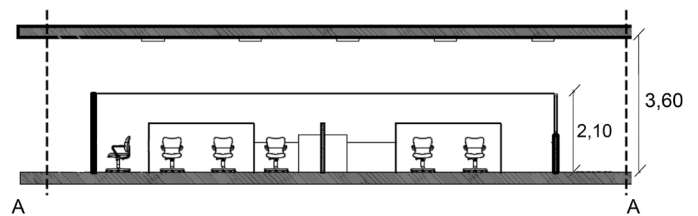


Figura 9. Corte tipo de dos oficinas de tipología arquitectónica abierta (OA). Medidas en metros. Fuente: Elaboración de las autoras.

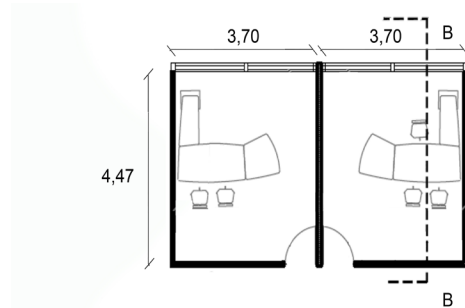


Figura 10. Planta tipo de dos oficinas de tipología arquitectónica cerrada (OC). Medidas en metros. Fuente: Elaboración de las autoras.

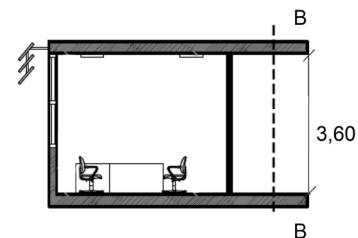


Figura 11. Corte tipo de oficina de tipología arquitectónica cerrada (OC). Medidas en metros. Fuente: Elaboración de las autoras.

CLASIFICACIÓN DE ESPACIOS DE OFICINA

La variabilidad de la CAI exige distinguir elementos y agruparlos según sus características. Es por tal motivo que en este trabajo los espacios de oficina se distinguen como OA (Figuras 8 y 9) y OC (Figuras 10 y 11). Ambas presentan diferencias destacables que llevan a pensar *a priori* en ventajas de las OC sobre las OA (Pan *et al.*, 2018). La Tabla 2 exhibe las características que permiten establecer los principales contrastes.

SISTEMÁTICA DE MEDICIÓN

Para el levantamiento de datos se usa la sistemática del tipo "Spot" (focalizada), basada en las técnicas de De Dear (2004) y Kuchen y Fisch (2009) y adaptada al relevamiento de las cuatro variables ambientales. En ese marco, se diseña una unidad móvil de medición (UMM) (Figura 12) que permite examinar 164 espacios, con 636 encuestados durante el período verano.

La UMM se compone de sensores (Figura 13) capaces de identificar los siguientes factores:

- Confort térmico: sensor HOBO modelo U12-006. Permite medir temperatura (C°) del aire en un rango de -40 a +100°C, con precisión de $\pm 0,5$ °C a 20°C, en condiciones de humedad de 5 a 95 % H.r sin condensar. Para la medición necesita un tiempo de estabilización entre 4 a 5 minutos (en aire estático).






Figura 12. Unidad móvil de medición. Fuente: Elaboración de las autoras.

- Confort térmico: Termómetro Infrarrojo láser Ajavision modelo WH380. Permite medir temperatura radiante media (C°) en un rango de -50°C +380°C. Posee precisión de ± 3 °C.

- Calidad del aire: sensor TELLAIRE modelo 7001. Permite medir niveles de CO₂(ppm) en un rango de 0 a 2500ppm en tiempo real. Posee sensibilidad: ± 1 ppm y precisión: ± 50 ppm de la lectura.



Figura 13. Sensores confort/rendimiento. Fuente: Elaboración de las autoras.

Género <input type="radio"/> F <input type="radio"/> M	Edad: _____	¿Se fuma en su oficina? <input type="radio"/> si <input type="radio"/> no	Horas al día que trabaja _____
---	-------------	--	--------------------------------

Preguntas acerca del ambiente interior de su oficina

1. ¿Cómo percibe la temperatura en este momento? (En una escala de 7 puntos marcar la opción correspondiente)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mucho frío	frío	algo de frío	confortable	algo de calor	calor	mucho calor
2. ¿Siente que su rendimiento se ve afectado negativamente por la temperatura interior en este momento? si no
3. De ser así: ¿En qué grado afecta negativamente a su rendimiento la temperatura en este momento?

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nada (0%)	Bajo (25%)	Medio (50%)	Alto (75%)	Muy alto (100%)
4. ¿Cómo percibe la calidad del aire en este momento? (En una escala de 7 puntos marcar la opción correspondiente)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
muy mala	mala	algo mala	regular	algo buena	buena	muy buena
5. ¿Siente que su rendimiento se ve afectado negativamente por la calidad del aire en este momento? si no
6. De ser así: ¿En qué grado afecta negativamente a su rendimiento la calidad del aire en este momento?

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nada (0%)	Bajo (25%)	Medio (50%)	Alto (75%)	Muy alto (100%)
7. ¿Cómo percibe el nivel de ruido en este momento?

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nada ruidoso	Casi nada ruido.	Poco ruidoso	Medio	Algo ruidoso	Ruidoso	Muy ruidoso
8. ¿Siente que su rendimiento se ve afectado negativamente por el nivel de ruido en su oficina en este momento? si no
9. De ser así: ¿En qué grado afecta negativamente a su rendimiento el nivel de ruido en este momento?

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nada (0%)	Bajo (25%)	Medio (50%)	Alto (75%)	Muy alto (100%)
10. ¿Cómo percibe la iluminación en este momento? (En una escala de 7 puntos marcar la opción correspondiente)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Encandila	Demasiado luminoso	Luminoso	Algo luminoso	poco luminoso	Algo oscuro	Muy oscuro
11. ¿Siente que su rendimiento se ve afectado negativamente por el nivel de iluminación en este momento? si no
12. De ser así: ¿En qué grado lo afecta negativamente el nivel de iluminación de su oficina en este momento?

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nada (0%)	Bajo (25%)	Medio (50%)	Alto (75%)	Muy alto (100%)

Figura 14. Encuesta realizada a UT. Fuente: Elaboración de las autoras.

d. Confort visual: sensor Luxómetro modelo YK-2005LX. Permite medir Niveles de iluminación (lux) en plano de trabajo en un rango de 000/100, 000Lux en tiempo real, sensibilidad espectral que corresponde con las exigencias de la curva CIE (International Commission on Illumination) y precisión de $\pm 4\%+2$ dígitos).

e. Confort acústico: sensor Decibelímetro modelo SL-4023SD. Permite medir niveles sonoros (dB) en rango automático: 30 a 130dB y en rango manual (3 rangos): de 30 a 80dB, 50 a 100dB, 80 a 130dB. Ponderación de tiempo: rápido/lento. Ponderación de frecuencia de A (dBA)/ C (dBC).

La medición llevada a cabo en el presente trabajo se realizó en un rango de 50 a 100dB, con ponderación de tiempo lento y ponderación de frecuencia A.

La medición comienza al posicionar la UMM junto a un espacio de trabajo (escritorio), ocupado por un UT sentado, a una distancia de 0,50 metros entre ellos y una altura de 0,90 metros sobre el nivel de piso.

Encuesta

La encuesta facilita la realización de un diagnóstico del UT que sintetice el efecto de las variables de influencia. Entre las preguntas efectuadas, toman mayor relevancia aquellas que indagan sobre el Voto de Rendimiento (VR) del UT. Las mismas se basan en estudios realizados por Humphreys y Nicol (2007), donde se consulta en qué medida (0%-100%) siente que la CAI afecta negativamente a su RL. La Figura 14 muestra las preguntas de la encuesta referidas a la percepción de la CAI del UT que posibilita la obtención de los datos subjetivos.

IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Se procede a construir rangos de RL como medio para conocer los grados de "vulnerabilidad" del UT según variable de influencia por tipología de oficina. En este apartado se esbozan los pasos para su construcción.

1. Se contabilizan los valores de VR de cada variable ambiental en que el UT auto reporta influencia nula (0%) sobre su rendimiento.
2. Se definen valores máximos y mínimos del Voto de Rendimiento/Térmico (VRt), del Voto de Rendimiento/ Calidad de Aire (VRa), Voto de Rendimiento/ Nivel Iluminación (VRi) y Voto de Rendimiento/Ruido (VRr) que determinan la máxima variabilidad posible de cada parámetro ambiental de influencia.
3. Se definen rangos intermedios en torno a la división entre el valor óptimo (VR=0%) y el valor máximo, y la división entre el valor óptimo (VR=0%) y el valor mínimo.
4. Finalmente, para la obtención de los rangos se definen equivalentes numéricos (EqN) e intervalos de puntuación a fin de establecer la valoración cualitativa de cada rango, desde "excelente" con un EqN igual a 5, hasta "malo" con un EqN igual a 1, para VRt, VRa, VRi y VRr, conforme se indica en Tabla 3.

Valoración cualitativa	Valoración numérica (EqN)	Intervalo de puntuación
Excelente	5	$4,2 < a \leq 5$
Muy Bueno	4	$3,4 < a \leq 4,2$
Bueno	3	$2,6 < a \leq 3,4$
Regular	2	$1,8 < a \leq 2,6$
Malo	1	$1 \leq a \leq 1,8$

Tabla 3. Equivalentes numéricos de rangos de rendimiento.
 Fuente: Elaboración de las autoras.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La relación entre cada rango por variable de estudio y la variabilidad del RL valorado de forma cualitativa y cuantitativa por medio de EqN se muestra en las Tablas 4 a la 7, haciendo distinción entre tipologías de oficina. Además, cada tabla es sintetizada en gráficos compuestos por un eje de abscisas para valores de medición de cada variable ambiental, y un eje de ordenada, para los EqN de la variable de análisis.

La mayor o menor amplitud de los rangos en los gráficos se asocia a la capacidad de adaptación del UT respecto a la variable correspondiente. Se observa que éstos son representados con uno o dos polos de disconformidad, según la variable ambiental analizada. A continuación, se describe cada una de ellas.

Temperatura operativa

A fin de evaluar el RL afectado por la variabilidad térmica, se toman los valores de temperatura operativa, ya que representa la temperatura percibida por una persona en un ambiente interior. Esta constituye el promedio entre la temperatura del aire y la temperatura radiante media, medidas en grados Celsius (°C).

La Tabla 4 muestra la variabilidad del RL en función de los rangos de temperatura operativa por tipología de oficina, a la vez que las Figuras 15 y 16 representan los resultados obtenidos de forma gráfica.

Del análisis llevado a cabo, se destaca que los rangos de RL encontrados en tipología OA poseen mayor amplitud respecto a OC. Ello se observa en mayor medida al analizar el rango "excelente". La variabilidad para este nivel es de 0,8°C en OA, mientras que en OC es de 0,3°C. Esta situación permite afirmar que los UT de OA poseen mayor capacidad de adaptación térmica respecto a los de OC. Seguidamente, se advierte preferencia a trabajar con temperaturas más elevadas en UT de OC, eso se divide en mayor medida al comparar el rango "excelente" de ambas tipologías, siendo la variabilidad para OA entre 24.7 a 23.9 C°, mientras que para OC esta variabilidad aumenta ubicándose en 25.1 a 24.9 C°.

Oficina abierta (OA)									
Valoración cualitativa	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EqN	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Máximos [C°]	<21.5	≤22.3	<23.1	<23.9	<24.7	<25.5	<26.3	<27.1	-
Mínimos [C°]	-	21.5	22.3	23.1	23.9	24.7	25.5	26.3	≥27.1
Oficina cerrada (OC)									
Valoración cualitativa	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EqN	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Máximos [C°]	<22.8	<23.5	<24.2	<24.9	<25.1	<25.8	<26.5	<27.2	-
Mínimos [C°]	-	22.8	23.5	24.2	24.9	25.1	25.8	26.5	≥27.2

Tabla 4. Valoración de rangos de RL (de influencia térmica) durante período de verano en OA y OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

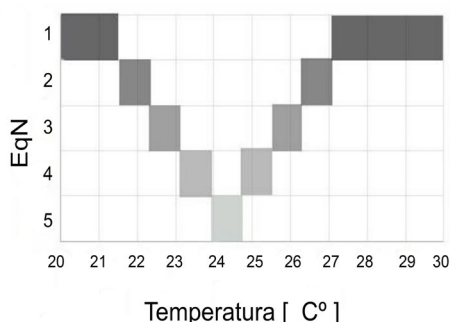


Figura 15. Rangos de variabilidad del RL influenciado por temperatura operativa durante período de verano en OA. Fuente: Elaboración de las autoras.

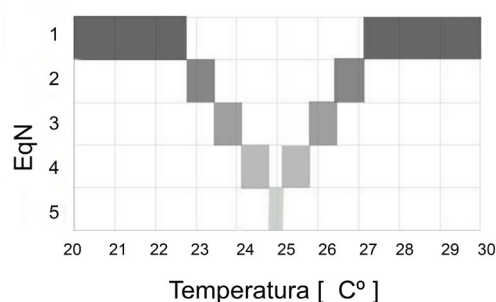


Figura 16. Rangos de variabilidad del RL influenciado por temperatura operativa durante período de verano en OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

Calidad de aire

La calidad del aire es medida en niveles de concentración de dióxido de carbono (CO₂) presentes. Dichos niveles, dependientes de la presencia de personas y del porcentaje de aire renovado, podrían afectar la confortabilidad del UT y con ello su RL. Los niveles de CO₂ se miden en ppm (partes por millón) en cada espacio analizado.

La Tabla 5 expone la variabilidad del RL en función de los rangos de niveles de CO₂ por tipología de oficina; mientras que las Figuras 17 y 18 representan los resultados logrados de forma gráfica.

En el estudio se observa para un EqN igual a 5, una mayor amplitud de los rangos de RL en OA respecto a OC. La amplitud de dicho rango permite identificar a un UT de OA con mayor capacidad de adaptación a valores de hasta 840 ppm (Figura 17), sin ver afectado su rendimiento. Este rango es menor para OC, admitiendo niveles de CO₂ que no superan los 627 ppm (Figura 18).

Nivel de iluminación

El confort lumínico es medido en términos de niveles de iluminancia sobre el plano de trabajo sin considerar la fuente de iluminación (natural o artificial), los cuales son medidos en Lux.

La Tabla 6 expone la variabilidad del RL en función de los rangos de niveles de iluminancia por tipología de oficina sobre plano de trabajo y las Figuras 19 y 20 los resultados logrados de forma gráfica.

De la observación de rangos, se destaca que el nivel excelente (EqN=5) presenta una diferencia lumínica con valores superiores en OC respecto a OA. Esta característica se da con una diferencia promedio de 100lux (Figuras 19 y 20).

El comportamiento de los datos permite determinar que los UT de OA pueden trabajar de forma óptima a menores niveles de lux, sin percibir afectado su rendimiento, es decir, poseen mayor capacidad de adaptación a planos de trabajo más oscuros.

Oficina abierta (OA)					
Valoración cualitativa	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EqN	5	4	3	2	1
Máximos [ppm]	<842	<953	<1064	<1175	-
Mínimos [ppm]	-	842	953	1064	≥1175
Oficina Cerrada (OC)					
Valoración cualitativa	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EqN	5	4	3	2	1
Máximos [ppm]	<627	<700	<771	<843	
Mínimos [ppm]		627	700	771	≥843

Tabla 5. Valoración de rangos de RL (de influencia calidad de aire) durante período de verano en OA y OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

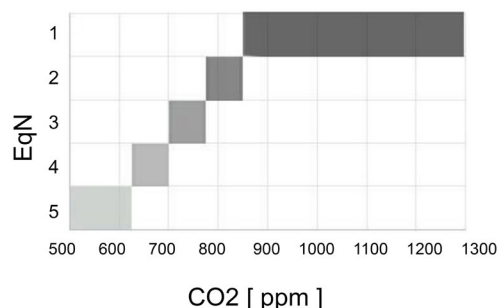
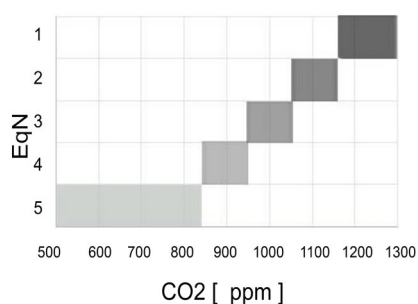


Figura 17. Rangos de variabilidad del RL influenciado por calidad de aire durante período de verano en OA. Fuente: Elaboración de las autoras.

Figura 18. Rangos de variabilidad del RL influenciado por calidad de aire durante período de verano en OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

Oficina abierta (OA)									
Valoración cualitativa	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EqN	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Máximos [Lux]	<210	<238	<325	<413	>500	>588	>675	>763	-
Mínimos [Lux]	-	210	238	325	413	500	588	675	≥763
Oficina cerrada (OC)									
Valoración cualitativa	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EqN	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Máximos [Lux]	<243	<331	<419	<508	<596	<684	<773	<861	.
Mínimos [Lux]		243	331	419	508	596	684	773	≥861

Tabla 6. Valoración de rangos de RL (de influencia lumínica) durante período verano en OA y OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

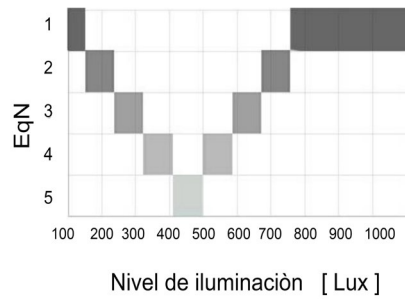


Figura 19. Rangos de variabilidad del RL influenciado por nivel lumínico durante período de verano en OA. Fuente: Elaboración de las autoras.

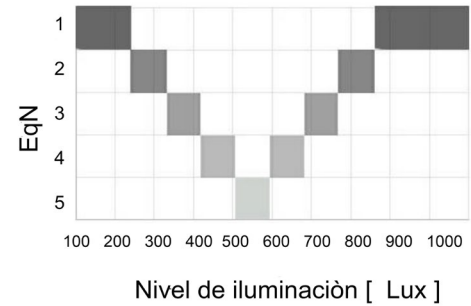


Figura 20. Rangos de variabilidad del RL influenciado por nivel lumínico durante período de verano en OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

Oficina abierta (OA)					
Valoración cualitativa	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EeqN	5	4	3	2	1
Máximos [dBA]	<62	<67	<71	<75	-
Mínimos [dBA]	-	62	67	71	≥75
Oficina cerrada (OC)					
Valoración cualitativa	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
EeqN	5	4	3	2	1
Máximos [dBA]	<57	<61	<65	<68	-
Mínimos [dBA]	-	57	61	65	≥68

Tabla 7. Valoración de rangos de RL (de influencia acústica) durante período verano en OA y OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

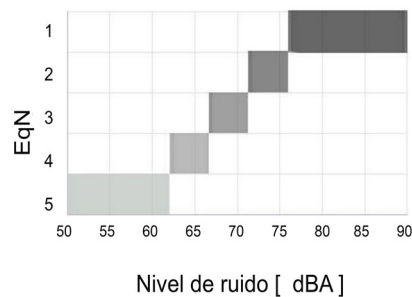


Figura 21. Rangos de variabilidad del RL influenciado por niveles sonoros (dBA) durante PVE en OA. Fuente: Elaboración de las autoras.

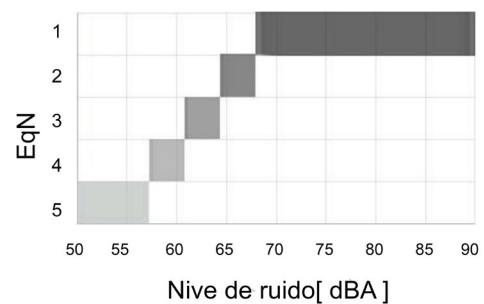


Figura 22. Rangos de variabilidad del RL influenciado por niveles sonoros (dBA) durante PVE en OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

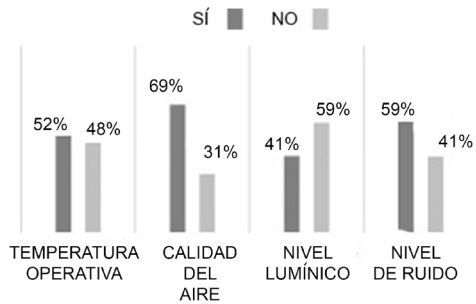


Figura 23. Nivel de influencia de cada variable sobre el RL individual y constantes de proporcionalidad resultantes en tipología OA. Fuente: Elaboración de las autoras.

Nivel de ruido

El confort sonoro es afectado por el nivel de ruido cuando se trata de un sonido que provoque molestias, y se mide en potencia sonora (dBA, decibelio ponderado).

La Tabla 7 muestra la variabilidad del RL en función de los rangos de niveles de ruido por tipología de oficina, mientras que las Figuras 21 y 22 representan los resultados en forma gráfica.

De los valores hallados, se detecta que los rangos en OA presentan mayor amplitud respecto a OC, existiendo una diferencia de casi 5 dBA entre ambas tipologías de oficina, por cuanto se reconoce al UT de OA con mayor capacidad de aceptar niveles de ruido elevados sin ver afectado su rendimiento laboral.

Indicador de rendimiento laboral óptimo

De la respuesta a la pregunta “¿Usted cree que esta variable influye negativamente en su rendimiento?” planteada en la encuesta de este estudio, se considera la suma porcentual de aquellos que contestan SÍ [%] y NO [%]. Ello permite conocer el nivel de influencia de cada variable sobre el RL individual.

En función de los porcentajes obtenidos, se construyen constantes de proporcionalidad, para relacionar el total de las variables en su conjunto y cada una, con su peso en importancia.

Lo expuesto en la Figura 23 conduce a la construcción del IRLO para la OA (ver Ecuación 1).

$$IRLO = 0,23 \cdot Eq_{VRt} + 0,31 \cdot Eq_{VRa} + 0,19 \cdot Eq_{VRi} + 0,27 \cdot Eq_{VRr}$$

Lo expuesto en la Figura 24 conduce a la construcción del IRLO para la OC (ver Ecuación 2).

$$IRLO = 0,33 \cdot Eq_{VRt} + 0,36 \cdot Eq_{VRa} + 0,08 \cdot Eq_{VRi} + 0,23 \cdot Eq_{VRr}$$

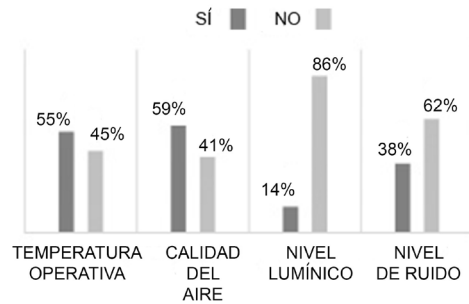


Figura 24. Nivel de influencia de cada variable sobre el RL individual y constantes de proporcionalidad resultantes en tipología OC. Fuente: Elaboración de las autoras.

Como se puede observar, el orden de influencia de las variables cambia para ambas tipologías. No obstante, en ambos casos la concentración de CO₂ se presenta como la de mayor influencia.

El valor obtenido en Ecuación 1 y 2 se traduce cualitativamente, conforme a Tabla 3.

Aplicación-validación IRLO

En el presente apartado se procede a aplicar la herramienta IRLO en dos casos reales de oficina de tipología OA y OC analizada, a fin de validar los resultados (Tabla 8 y 9).

Caso A - OA:

La Tabla 8 muestra los datos obtenidos de mediciones para cada variable ambiental y su valoración (EqN), según las Figuras 15, 17, 19 y 21.

Tipo	Personas	C°	CO ₂	Lux	Dba
OA	4	27	1190	810	74
Valoración		Eq ₋ VRt=2	Eq ₋ VRa=1	Eq ₋ VRi=1	Eq ₋ VRr=2

Tabla 8. Valores ambientales medidos en caso A y su valoración numérica según rangos. Fuente: Elaboración de las autoras.

Como resultado, se obtiene el siguiente valor del IRLO:

$$IRLO = 0,23 \cdot 2 + 0,31 \cdot 1 + 0,19 \cdot 1 + 0,27 \cdot 2 = 1,50 \rightarrow \text{Malo}$$

Caso B - OC:

En correspondencia, la Tabla 9 expone los datos obtenidos de mediciones para cada variable ambiental y su valoración (EqN) según las Figuras 16, 18, 20 y 22.

Tipo	Personas	C°	CO ₂	Lux	DbA
OC	1	24.5	550	495	53
Valoración		Eq _{VRt=4}	Eq _{VRa=5}	Eq _{VRi=5}	Eq _{VRr=4}

Tabla 9. Valores ambientales medidos en caso A y su valoración numérica según rangos. Fuente: Elaboración de las autoras.

Como resultado, se obtiene el siguiente valor del IRLO:

$$IRLO = 0,33 \cdot 4 + 0,36 \cdot 5 + 0,08 \cdot 5 + 0,23 \cdot 4 = 4,44 \rightarrow \text{Excelente}$$

CONCLUSIÓN

Vincular el voto de rendimiento laboral auto reportado con los niveles de cada variable ambiental estudiada permite conocer los valores óptimos y los valores más vulnerables de la temperatura operativa, la calidad del aire, el nivel lumínico y el nivel de ruido, para lograr un buen RL en UT en una zona templada cálida durante el período de verano.

La construcción de rangos valorados a través de los EqN informa el nivel de RL de usuarios por tipología de oficina abierta y cerrada, variando desde 1 (RL malo) a 5 (RL excelente). Así, la valoración de un IRLO igual o cercano a 5, además de indicar las mejores condiciones ambientales para el óptimo rendimiento del UT a favor de la salud, supone un aporte "beneficioso" a las condiciones de comodidad/confort (térmico, visual, acústico y calidad del aire) del UT. Por el contrario, un IRLO igual o próximo a 1 indica al *Buildingmanager* sobre la necesidad de abordar soluciones ambientales a favor del confort y, consecuentemente, del RL en el ambiente laboral.

Respecto a la comparación entre tipologías de oficina, se afirma que el UT desarrolla un mayor nivel de adaptación ambiental en OA, de manera que dichas oficinas resultan un espacio en desventaja por poseer menor factor de ocupación, inexistencia de ventanas, falta de cerramiento total y mayores niveles de ruido.

Por último, se pone en valor que el desarrollo de la herramienta IRLO caracteriza las condiciones de RL en oficinas para regiones de clima templado cálido durante período de verano. En próximas investigaciones se prevé extrapolar estos avances en la temática a los períodos de invierno y transitorio, así como aplicarlos en otros casos de estudio a nivel local.

LISTADO DE ABREVIATURAS

CAI	Calidad Ambiental Interior
CO2	Dióxido de Carbono
EqN	Equivalente Numérico
IRLO	Indicador de Rendimiento Laboral Óptimo
OA	Oficina de Tipología Abierta
OC	Oficina de Tipología Cerrada
RL	Rendimiento Laboral
UMM	Unidad Móvil de Medición
UT	Usuarios-Trabajadores
VR	Voto de Rendimiento
VRa	Voto de Rendimiento de la Calidad de Aire
VRi	Voto de Rendimiento del Nivel de Iluminación
VRr	Voto de Rendimiento del Nivel de Ruido
VRt	Voto de Rendimiento Térmico
Eq _{VRt}	Equivalente Voto de Rendimiento Térmico
Eq _{VRa}	Equivalente Voto de Rendimiento Calidad de Aire
Eq _{VRi}	Equivalente Voto de Rendimiento de Iluminación
Eq _{VRr}	Equivalente Voto de Rendimiento de Ruido

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Candanedo, L. M. y Feldheim, V. (2016). Accurate occupancy detection of an office room from light, temperature, humidity and CO2 measurements using statistical learning models. *Energy and Buildings*, 112, 28-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.071>
- De Dear, R. (2004). Thermal comfort in practice. *Indoor air*, 14(s 7), 32-39.
- Haegerstrand, A. y Knutsson, E. (2019). *The Attractive Workplace: ¿Are the Site Offices Meeting the Employees' Needs?* Recuperado de <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1335603&dsid=-2150>
- Humphreys, M. A. y Nicol, J. F. (2007). Self-assessed productivity and the office environment: monthly surveys in five European countries. *ASHRAE transactions*, 113, 606. Recuperado de <https://www.proquest.com/openview/8cfc5a0731a88d2407b3521e54829ebe/1?pq-origsite=gscholar&cbl=34619>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos, Argentina [INDEC]. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Recuperado de <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoNacional-999-999-Censo-2010>.
- IRAM (1996). 11603: Acondicionamiento térmico de edificios. *Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina.
- Kari, T., Makkonen, M. y Frank, L. (2017). The Effect of Using Noise Cancellation Earplugs in Open-plan Offices of the Work Well-being and Work Performance of Software Professionals. En *MCIS 2017: 11th Mediterranean Conference on Information Systems*. MCIS. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/301373762.pdf>

- Kuchen, E. y Fisch, M. N. (2009). Spot monitoring: thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. *Building and Environment*, 44(4), 839-847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.023>
- Lamb, S. y Kwok, K. C. (2016). A longitudinal investigation of work environment stressors on the performance and wellbeing of office workers. *Applied Ergonomics*, 52, 104-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.010>
- Liebl, A. y Jahncke, H. (2017). Review of research on the effects of noise on cognitive performance 2014-2017. En *12th IC BEN conference on noise as a public health problem, 18-22 June 2017, Zurich, Switzerland*. Recuperado de <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1119275&dsid=-4070>
- Liu, T., Lin, C. C., Huang, K. C. y Chen, Y. C. (2017). Effects of noise type, noise intensity, and illumination intensity on reading performance. *Applied Acoustics*, 120, 70-74. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.019>
- Lou, H. y Ou, D. (2019). A comparative field study of indoor environmental quality in two types of open-plan offices: Open-plan administrative offices and open-plan research offices. *Building and Environment*, 148, 394-404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.022>
- Marín Galeano, A. F. (2013). *La oficina administrativa como diseño espacial acorde a las necesidades del trabajador*. Recuperado de <https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/1616>
- Maula, H., Hongisto, V., Koskela, H. y Haapakangas, A. (2016). The effect of cooling jet on work performance and comfort in warm office environment. *Building and Environment*, 104, 13-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.018>
- Minetti, J. L., Carletto, P. M., y Sierra, A. y Poblete. Y. E. (1986). El régimen de precipitaciones de San Juan y su entorno. *Centro de Investigaciones Regionales de San Juan*. Recuperado en: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=+El+r%C3%A9gimen+de+precipitaciones+de+San+Juan+y+su+entorno&author=Minetti+J.L.&publication_year=1986&pages=19-22
- Nag, P. K. (2019). Spatial and Behavioural Attributes in Office Design. En Nag, P. K., *Office Buildings* (pp. 29-49). Singapur: Springer. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-2577-9_2
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. *Garantizar un tiempo de trabajo decente para el futuro*. Recuperado de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relconf/documents/meetingdocument/wcms_618490.pdf
- Pan, S., Xiong, Y., Han, Y., Zhang, X., Xia, L., Wei, S., ... y Han, M. (2018). A study on influential factors of occupant window-opening behavior in an office building in China. *Building and environment*, 133, 41-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.008>
- Perucca, L. P. y Martos, L. M. (2012). Geomorphology, tectonism and Quaternary landscape evolution of the Central Andes of San Juan (30 S–69 W), Argentina. *Quaternary International*, 253, 80-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.08.009>
- Puliafito, S. E., Allende, D. G., Mulena, C. G., Cremades, P. y Lakkis, S. G. (2015). Evaluation of the WRF model configuration for Zonda wind events in a complex terrain. *Atmospheric Research*, 166, 24-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.06.011>
- Shin, D. S., Jeong, B. Y. y Park, M. H. (2018). Structural equation modeling of office environment quality, sick building syndrome and musculoskeletal complaints on aggregate satisfaction of office workers. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(3), 148-153. DOI: <https://doi.org/10.1002/hfm.20730>
- Shriram, S., Ramamurthy, K. y Ramakrishnan, S. (2019). Effect of occupant-induced indoor CO2 concentration and bioeffluents on human physiology using a spirometric test. *Building and Environment*, 149, 58-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.015>
- Wargocki, P. y Wyon, D. P. (2017). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. *Building and Environment*, 112, 359-366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>
- Weather Atlas Recuperado de: <https://www.weather-atlas.com/> [Diciembre, 2020].
- Wei, W., Wargocki, P., Zirngibl, J., Bendžalová, J. y Mandin, C. (2020). Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy and Buildings*, 209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109683>
- Wu, H., Wu, Y., Sun, X. y Liu, J. (2020). Combined effects of acoustic, thermal, and illumination on human perception and performance: A review. *Building and Environment*, 169, 106593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106593>
- Yang, W. y Moon, H. J. (2019). Combined effects of acoustic, thermal and illumination conditions on the comfort of discrete senses and overall indoor environment. *Building and Environment*, 148, 623-633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.040>