

# Avances en el Desarrollo de créditos de iluminación integrativa para el Etiquetado de Edificios No Residenciales.

## Advances in the Development of Integrative Lighting Credits for Non-Residential Building Labeling.

Presentación: 4 y 5 de octubre de 2022

Doctoranda:

**Verónica J. Ruiz**

INAHE Instituto de Ambiente Hábitat y Energía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro Científico y Tecnológico Mendoza – Argentina.  
vrui@mendoza-conicet.gob.ar

Director:

**Roberto G. Rodriguez**

Codirectora:

**Andrea E. Pattini**

### Resumen

A partir del análisis de distintos sistemas de Etiquetado-Energético Ambiental de Edificios (EEAE), en particular sus créditos específicos de Iluminación, el presente plan de trabajo doctoral busca proponer y validar un método de acreditación de iluminación integrativa, desde la perspectiva antropocéntrica propia de la ergonomía ambiental. Para la búsqueda de un método de validación se utiliza la metodología DELPHI y así lograr un consenso por expertos. Los resultados iniciales permiten conocer la opinión experta respecto de los indicadores a tener en cuenta para realizar una evaluación de la iluminación en espacios interiores no residenciales.

Palabras clave: Indicadores, Iluminación Integradora, Método de Evaluación Ambiental.

### Abstract

From the analysis of different systems of Environmental-Energy Labeling of Buildings (EEAE), in particular its specific lighting credits, the present doctoral work plan seeks to propose and validate an integrative lighting accreditation method, from the anthropocentric perspective of environmental ergonomics. For the search of a validation method, the DELPHI methodology is used to achieve an expert consensus. The initial results allow us to know the expert opinion regarding the indicators to be taken into account to carry out a lighting evaluation in non-residential indoor spaces.

Keywords: Indicadores, Integrative Lighting, Environmental Assessment Method.

### Introducción

La propuesta del presente plan de trabajo surge de las necesidades de avanzar en el conocimiento de los efectos de la iluminación en la salud de los ocupantes de espacios interiores laborales, y de contar con indicadores y métodos de caracterización, evaluación, certificación y/o acreditación de estos efectos.

Actualmente uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad se relaciona con la degradación ambiental, el sobreuso de recursos limitados y el cambio climático (Stern, N. 2006). La respuesta a esto desde la perspectiva del ambiente construido fue la aparición de edificios verdes (Green Buildings), dando solución de este modo al desarrollo

de un entorno construido más sustentable. A partir de la aparición en Inglaterra del Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) durante la década del 1990 se desarrollaron varios métodos de Etiquetado Energético Ambiental de Edificios (EEAE), que por definición no incluyen aspectos ergonómicos. Recién, en 2014 se suma una nueva herramienta llamada WELL, creada con el objetivo de dar respuesta a los espacios desde una mirada más integral que tiene en cuenta el bienestar y la salud de los ocupantes.

WELL v2 tiene diez conceptos (es decir, dimensiones de análisis): aire, agua, alimentos, luz, movimiento, confort térmico, sonido, materiales, mente y comunidad. Cada uno de ellos pretende abordar aspectos específicos relativos a la salud y el bienestar de los miembros de la comunidad. Su última versión ha añadido un nuevo concepto, denominado Innovación, para que los proyectos puedan obtener puntos adicionales por este concepto. Cada concepto WELL consta de características con distintas intenciones de salud (metas). Las características son condiciones previas u optimizaciones. Todas las precondiciones, son obligatorias para la certificación, mientras que las optimizaciones son vías opcionales para que los proyectos cumplan los requisitos de certificación. Los equipos de los proyectos pueden seleccionar qué optimizaciones persiguen y en qué partes se centran dentro de cada optimización.

WELL v2 funciona con un sistema basado en puntos. En el universo WELL, cada concepto tiene una incidencia diferente en el total. A cada uno de los conceptos se le otorga una valoración particular. Todas las optimizaciones se ponderan con valores de puntos, el cual es variable. El valor máximo en puntos de una característica, viene determinado por la suma de sus partes. Una parte se pondera por su potencial de impacto, definido como la medida en que una característica aborda una preocupación específica de salud y bienestar o una oportunidad de promoción de la salud, y el impacto potencial de la intervención. En relación de prioridades e importancias que se da a cada uno de los conceptos vemos que del 100% del puntaje un 18% corresponde a LUZ, teniendo una incidencia similar a AIRE que 18%, AGUA 14% y SONIDO 18%, observando que los cuatro factores que describen la calidad ambiental interior tienen porcentajes semejantes, en total los cuatro suman un 68%, siendo un porcentaje significativo en relación al resto de los conceptos (tabla 1).

Conceptos	Precondiciones	Optimizaciones	Puntaje	%
AIRE	4	10	18	18 %
AGUA	3	6	14	14 %
NUTRICIÓN	2	12	16	16 %
LUZ	2	7	18	18 %
MOVIMIENTO	2	9	21	21 %
CONFORT TÉRMICO	1	8	16	16 %
SONIDO	1	8	18	18 %
MATERIALES	3	9	18	18 %
MENTE	2	9	19	19 %
COMUNIDAD	4	14	39	39 %
INNOVACIÓN	0	6	28	28 %

Tabla 1: WELL v2 conceptos, precondiciones, optimizaciones and puntaje

En sentido con esto y siguiendo la visión de WELL v2, Cedeño-Laurent y colaboradores (2018) afirman que más allá de una reducción del uso de energía y un mayor valor de mercado, la principal fortaleza del EEAE puede ser la consecución de entornos construidos interiores más saludables, permitiendo a la sustentabilidad edilicia alcanzar su potencial completo como una herramienta de transformación de salud pública. Más aun, estos autores postulan que el EEAE es la base crítica de investigación dentro de un nuevo marco de la arquitectura sustentable, basada en el capital humano. Del amplio abanico de factores que aborda el EEAE, esta investigación se ha acotado a los aspectos lumínicos visuales y no visuales. Los objetivos tradicionales de la iluminación arquitectónica incluyen la provisión de luz que: i) sea óptima para el rendimiento visual; ii) sea visualmente confortable; iii) permita la apreciación estética del espacio; y iv) conserve energía (DiLaura, Houser, Mistrick Steffy, 2011).

A estos objetivos tradicionales debemos sumar el seleccionar y/o desarrollar indicadores específicos de iluminación saludable considerando: (v) exposición a luz biológicamente activa, (vi) acceso a iluminación natural y visión al exterior. Esto tiene fundamento, en que, durante las últimas décadas, la evidencia empírica ha demostrado que muchos aspectos de la fisiología humana y el comportamiento son influenciados por la iluminación que impacta en la retina (Wetterberg, 1993; Erren, Reiter & Piekarski, 2003; Refinetti, 2016). En 2002 se produjo el descubrimiento de un nuevo fotorreceptor especializado en la retina, las células ganglionares retinales intrínsecamente fotosensitivas (ipRGCs) cuyo fotopigmento es la melanopsina (Berson, Dunn & Takao, 2002). Estos receptores son el principal input del sistema circadiano e inician el camino no visual de la luz para la sincronización del reloj biológico, ubicado en el

hipotálamo. Según Brainard & Hanifin (2017 pp 830), la confirmación de que la luz regula la fisiología circadiana, neuroendocrina y neuro-comportamental humana y su influencia en la salud y el bienestar, es un avance científico que transformará la iluminación arquitectónica, con un impacto esperado comparable a las tecnologías de iluminación de estado sólido (LED). El aporte original al conocimiento de este proyecto radica en el desarrollo de indicadores de EEAE de los efectos no visuales de la luz en espacios interiores desde una perspectiva ergonómica, obteniéndose un doble beneficio desde la salud y la sustentabilidad.

## Desarrollo

Para la consecución de los objetivos, se planificaron las siguientes cuatro actividades y metodologías:

1- Búsqueda de antecedentes: (i) En relación con los métodos de EEAE en general y en particular los capítulos referidos a iluminación, diferenciando aquellos que otorguen puntuación a aspectos Ergonómicos relacionados con el confort y los efectos visuales y no visuales de la luz; (ii) En relación a las variables dependientes de esta investigación (i.e. confort visual, rendimiento visual y cognitivo, iluminación circadiana).

En una primera etapa se avanzó en el estudio del ecosistema de sistemas de Etiquetado-Energético Ambiental de Edificios (EEAE), para determinar una taxonomía de las mismas, conociendo sus características, puntos en común y diferencias. Los términos NORMA o ESTANDAR / CRETIFICACIÓN / GUÍAS O RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS suelen utilizarse indistintamente, sin embargo el análisis realizado permite dar precisiones en cuanto a su significado, alcance y campos de aplicación (Ruiz y col.).

Se hizo énfasis en el estudio y despiece de distintos Métodos de Etiquetado Energético Ambiental de Edificios (EEAE), Normas, Certificaciones, Acreditaciones, etc. En especial en los puntos que tienen que ver con la iluminación. Algunos ejemplos son:

- LEED (sigla de Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council).

- WELL Building Standard es un sistema de puntuación para edificios que mide su impacto en la salud y el bienestar de las personas.

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es el primer método de evaluación y certificación de la sostenibilidad en la edificación.

- NORMA EN 12464-12002

- EN 17037-2018

- Ley HyST N°19587(1972)

- ELI, este indicador plantea una combinación de componentes objetivos y subjetivos, siendo los cinco criterios propuestos para la evaluación de la calidad de la iluminación.

En este último se trabajó para evaluar la precisión interevaluador como medida preliminar de la confiabilidad del método ELI (Ergonomic Lighting Indicator). Y como medida de precisión se optó por la dispersión de los puntajes ELI, para esto se asigna el mismo caso de estudio a distintos evaluadores, esto es la desviación estándar de las puntuaciones de cada ítem y dimensión. ELI nos permite realizar un abordaje de la iluminación de calidad desde distintos aspectos, tal como lo propone. Se planteó realizar cambios en el método para alcanzar en sus ítems mayor precisión al consultar y además unificar puntos. Así evitar un desarrollo extenso de la evaluación (Ruiz & Rodríguez).

2- En base a los resultados obtenidos en el punto anterior, se toma WELL v2 y se llevó a cabo una evaluación en dos etapas: En primer lugar, un análisis cualitativo basado en los criterios de exclusión de Fowler y Rauch (2006) que organiza, concentra y filtra secuencialmente la información existente sobre los sistemas de clasificación en siete dimensiones: Aplicabilidad, Desarrollo, Usabilidad, Madurez del Sistema, Contenido Técnico, Medibilidad, Verificación, y Comunicabilidad. En segundo lugar, una evaluación cuantitativa siguiendo los criterios de Nguyen & Altman (2011), de cuya metodología de análisis se obtiene un puntaje de 0 a 100, evaluando las siguientes dimensiones: Popularidad e Influencia, Disponibilidad, Metodología, Aplicabilidad, Proceso de Recogida de Datos, Precisión y Verificación, Facilidad de Uso, Desarrollo y Presentación de Resultados.

Más allá de una perspectiva centrada en la energía, los métodos de evaluación ambiental de edificios (EEAE), pueden contribuir a la consecución de entornos interiores construidos más saludables, permitiendo que la sostenibilidad de los edificios alcance todo su potencial como herramienta de transformación de la salud pública. El objetivo de este punto es caracterizar WELL V2 mediante un método de análisis heurístico en dos etapas (es decir, basado en el criterio de expertos): (i) un estudio cualitativo basado en siete dimensiones de análisis y (ii) una evaluación cuantitativa de 0 a 100 de nueve dimensiones de análisis.

3- Propuesta de criterios de etiquetado de iluminación saludable: Se trabajará a partir de la perspectiva de etiquetado del Standard Well v2-2018 y de los resultados obtenidos, (en los 2 puntos anteriores) para los siguientes aspectos: estimulación visual y circadiana, deslumbramiento, iluminación natural, control de la iluminación natural y artificial, acceso a la luz y visión al exterior.

La presente tesis avanza en la búsqueda de indicadores y métodos de caracterización, evaluación, certificación y/o acreditación de iluminación integrativa (i.e. luz adecuada en el momento adecuado para satisfacer las necesidades visuales y no visuales de los ocupantes, asociadas a la luz). Para ello, se formula un estudio Delphi para seleccionar descriptores (i.e. qué medir) e indicadores (i.e. cómo medir) de iluminación integrativa, consistente de tres etapas: (I) consenso de descriptores, (II) consenso de indicadores, (III) ponderación de descriptores e indicadores según contextos de aplicación específicos.

Se ha finalizado la etapa I, donde participaron 32 expertos en luminotecnia, de manera virtual durante el mes de julio de 2022. El objetivo de esta primera etapa es conocer la opinión experta respecto de los indicadores a tener en cuenta para realizar una evaluación de la iluminación en espacios interiores no residenciales. Se hizo un análisis en relación con los métodos de EEAE en general y en particular a normas nacionales e internacionales, legislación, certificaciones e indicadores, especialmente en lo referido a iluminación, prestando especial atención aquellos que otorguen puntuación a aspectos Ergonómicos y a las variables dependientes de esta investigación (i.e. confort visual, rendimiento visual y cognitivo, iluminación circadiana). De este modo se concluyó en la utilización de las cinco dimensiones de análisis, basadas en el Ergonomic Lighting Indicator- ELI (Dehoff, 2009): (i) Desempeño Visual, (ii) Vista, (iii) Confort Visual, (iv) Vitalidad, (v) Control. Cada dimensión tiene una serie de descriptores. En cada una de estas hay una serie de descriptores, los cuales fueron tomados en base al marco teórico elaborado. Una vez aquí cada experto indica, para cada dimensión, el grado de importancia que a su juicio experto, tiene cada descriptor. El consenso se consideró alcanzado si el descriptor fue puntuado como “importante” o “muy importante” por al menos el 75% de los expertos.

En esta etapa se consolidaron descriptores de iluminación integrativa, que serán la base de la etapa II, donde se buscará el consenso experto sobre su operacionalización en la práctica. El objetivo de esta segunda etapa es conocer la opinión experta respecto de la pertinencia a cómo determinar cada uno de los indicadores propuestos para realizar una evaluación de la iluminación en espacios interiores no residenciales. En esta sección se presenta nuevamente en cinco dimensiones de análisis, basadas en el Ergonomic Lighting Indicator- ELI (Dehoff, 2008): (i) Desempeño Visual, (ii) Vista, (iii) Confort Visual, (iv) Vitalidad, (v) Control. Cada dimensión tiene una serie de descriptores, los cuales han resultado preseleccionados. Pasando así, a la segunda ronda del presente estudio. Para cada una de las dimensiones se consultará por las posibilidades de cómo evaluar con cada uno de los descriptores. En una tercera ronda los expertos participarán de una reunión de consenso, donde se debatirá respecto de las etapas o rondas anteriores. En base a estas discusiones, se construirán pautas que serán evaluadas en una encuesta final. Esto permitirá el desarrollo de créditos para un Sistema de Etiquetado Energético-Ambiental de Edificios No Residenciales.

4- Luego de la finalización del punto anterior se avanzará en los estudios de campo: Los criterios de iluminación saludable propuestos en (3) serán implementados en locales no residenciales del Área Metropolitana de Mendoza. En particular, se espera acceder a las bibliotecas públicas construidas por el Gobierno de Mendoza a través del Ministerio de Infraestructura y Energía desde 2012, que resultó en la construcción de 18 edificios idénticos (uno por departamento), que fueron diseñados bajo el criterio de la sustentabilidad energética. Cabe destacar que uno de estos edificios (en el departamento de Lavalle) ya fue abordado por la postulante durante su especialización en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano. Se propone una muestra de cinco edificios de biblioteca en el desarrollo de esta investigación. Se espera contrastar los resultados con locales destinados al mismo uso sin criterios de sustentabilidad energética. Este estudio de caso-control incluirá la caracterización de: (i) Entorno físico y luminoso (Protocolo PC-SRT, Ev, Ec, Eh), Mapeos de luminancia por HDRI, y sus los efectos en los ocupantes de cada entorno luminoso; (ii) Análisis de deslumbramiento (GSV, DGP, UGR), (iii) Percepción de la Calidad Ambiental de la Iluminación interior por medio de instrumentos subjetivos validados.

## Resultados

A partir de los resultados obtenidos en la actividad 1, vemos la existencia de numerosas metodologías de evaluación ambiental y de diversos actores relacionados a la mismas. Se realizó un glosario básico y una taxonomía preliminar como primera instancia para el desarrollo de créditos de iluminación integrativa para sistema EEAE que logre un balance entre requerimientos energéticos y ergonómicos. Con este avance se analizaron distintos sistemas conformando parte del marco teórico para avanzar en la propuesta de un sistema de acreditación, la aplicación del mismo y su posterior validación.

Los resultados del punto 2, donde se aplicaron los criterios de inclusión/exclusión de Fowler & Rauch (2006). Muestra que WELL puede ubicarse en el campo de las herramientas de EEAE en el mismo lugar que otras más establecidas, como LEED, BREEAM, etc. Logrando una evaluación cualitativa de la misma, demostrando que es un método de EEAE que es incluido bajo los criterios de los autores (tabla 2).

<b>Dimensión</b>	<b>Criterios consolidados</b>	<b>Evaluación</b>
Aplicabilidad	(2/2)	Diseñado para espacios interiores, se adapta a diferentes tipos de proyectos.
Desarrollo	(4/6)	El desarrollo está dado por actores, conocimientos científicos y técnicos.
Usabilidad	(3/3)	Se identifican el costo, la facilidad de uso y la asistencia en línea.
Madurez del Sistema	(3/3)	Suficiente información disponible sobre la antigüedad del sistema, el número de edificios y la estabilidad es suficiente.
Contenido Técnico	(3/3)	Sus conceptos son relevantes y completos.
Mesurabilidad & Verificación	(5/5)	Sistema basado en el rendimiento. Cada proyecto es evaluado en campo.
Comunicabilidad	(3/3)	Los resultados son medibles, comparables e identificables en diez módulos.

Tabla 2: Análisis cualitativo de la primera etapa

Y en relación a una valoración de estos créditos siguiendo los criterios de Nguyen & Altman (2011), de cuya metodología permite hacer una evaluación cuantitativa. WELL v2 da una puntuación global de 68, por debajo de las puntuaciones LEED y BREEAM de la literatura, y por encima de CASBEE, HK-BEAM y GREENSTAR. En términos de aplicabilidad, WELL v2 carece de criterios relacionados con el ciclo de vida.

WELL v2 mostró un buen rendimiento comparativo entre los EEAE, lo que lo sitúa como un método propicio para la creación de nuevos y más adecuados sistemas de etiquetado de bienestar y salud, imitando el papel que desempeñó BREEAM a finales del siglo XX (tabla 3).

<b>Categorías</b>	<b>LEED</b>	<b>CASBEE</b>	<b>WELL</b>
Popularidad and Influencia (10 p)	10	6	8
Disponibilidad (10 p)	7	7	7
Metodología (15 p)	10	13	9
Aplicabilidad (20 p)	13	11.5	7
Proceso de recolección de datos (10 p)	7	6	9
Precisión y Verificación (10 p)	7	9	8
Facilidad de Uso (10 p)	10	6	10
Desarrollo (10 p)	8	7	7
Presentación de Resultados (5 p)	3	4	3
<b>Puntuación Final (100)</b>	<b>75</b>	<b>58</b>	<b>68</b>

Tabla 3: resultados cuantitativos de la segunda etapa de WELL v2

En el punto 3, se está avanzando en la búsqueda de indicadores y métodos de caracterización, evaluación, certificación y/o acreditación de iluminación integrativa. Se avanza en el consenso de expertos para dichos indicadores, donde el consenso se consideró alcanzado, si el descriptor fue puntuado como “importante” o “muy importante” por al menos el 75% de los expertos. Para la dimensión Desempeño Visual, de cuatro de seis descriptores superaron el umbral de 75%, alcanzando el mayor consenso el nivel de iluminancia (90%). Respecto a Vista, dos de seis descriptores no alcanzaron el umbral, existiendo acuerdo en la satisfacción de las necesidades de los usuarios como el descriptor más relevante (90%). El 100% de los expertos indicó la importancia del flicker como descriptor de confort visual, por encima incluso del deslumbramiento molesto. En la dimensión Vitalidad, el descriptor más importante fue la estabilización del ciclo circadiano (93%). Finalmente para Control, sólo los aspectos básicos de control de la iluminación tanto natural como artificial (81%) superaron el umbral, en detrimento de la flexibilidad, automatización y diversidad de escenarios luminosos.

## Conclusiones

En lo avanzado hasta el momento vemos la existencia de numerosas metodologías de evaluación ambiental y de diversos actores relacionados a las mismas. Pero no consideran el factor que tiene que ver con el bienestar humano. Por ello se continúa trabajando para el desarrollo de créditos de iluminación integrativa para sistemas de EEAE que logre un balance entre requerimientos energéticos y ergonómicos.

Los resultados muestran que un BEAM no basado solamente en el consumo energético, como lo es WELL, puede ser evaluado utilizando los criterios de inclusión/exclusión de Fowler & Rauch (2006). Y realizar una valoración siguiendo los criterios de Nguyen & Altman (2011). Dando resultados similares a EEAE consolidados. Esto no sólo posiciona a WELL como un EEAE propiamente dicho, sino que puede considerarse un método disparador para la creación de nuevos y más adecuados sistemas de etiquetado de bienestar y salud, correlacionando el papel que jugó BREEAM a finales del siglo XX.

Respecto del proyecto utilizando la metodología DELPHI se sigue avanzando en el mismo, el cual permitirá elaborar por consenso créditos para un Sistema de Etiquetado Energético-Ambiental de Edificios No Residenciales.

## Referencias

Stern, N. (2006). Stern Review: The economics of climate change.

Cedeño-Laurent JG, Williams A, MacNaughton P, Cao X, Eitland E, Spengler J, & Allen J (2018). Building Evidence for Health: Green Buildings, Current Science, and Future Challenges. *Annual review of public health*, 39, 291-308.

DiLaura D, Houser K, Mistrick R & Steffy G (2011). *The lighting Handbook 10th edition: Reference and application*. Illuminating Engineering Society of North America, 120. ISBN#978-0-87995-241-9.

Erren, T. C., Reiter, R. J., & Piekarski, C. (2003). Light, timing of biological rhythms, and chronodisruption in man. *Naturwissenschaften*, 90(11), 485-494.

Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.

Ruiz, V. J., Rodriguez, R. G., & Pattini, A. E. (2020). Ergonomía ambiental e iluminación integrativa: Desarrollo de créditos para un sistema de etiquetado energético-ambiental de edificios no residenciales.

Ruiz, V. J., Rodriguez, R. G., & Pattini, (2019). Determinación de Iluminación de Calidad en Entornos Laborales: Análisis y Propuesta de mejora del Indicador "Ergonomic Lighting Indicator (ELI)".

Fowler, K. M., & Rauch, E. M. (2006). Sustainable building rating systems summary (No. PNNL-15858). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).

Nguyen, B. K., & Altan, H. (2011). Comparative review of five sustainable rating systems. *Procedia Engineering*, 21, 376-386.

De Kort, Y. A. W., IJsselsteijn, W. A., Vogels, I. M. L. C., Aarts, M. P. J., Tenner, A. D., & Smolders, K. C. H. J. (2009). Adjunct proceedings experiencing light 2009: international conference on the effects of light on wellbeing. Technische Universiteit Eindhoven.