POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Sistemas de fachada verdes indirectas. Una propuesta de indicador de desempeño global

Original
Sistemas de fachada verdes indirectas. Una propuesta de indicador de desempeño global / Mecca, U., Piantanida, P., Rebaudengo, M., Vottari, A. - In: BIOMIMESIS, Emprendimiento e Innovación,Conciencia y Tecnología / Bernal Zamudio H., Llanos Rizzo E., Díaz Muñoz G. M., Tamayo Orbegozo U.. - STAMPA. - Bilbao : Uskal Ekintzailetzaren Behatokia - Observatorio Vasco del Emprendimiento, EEB-OVE, 2021. - ISBN 978-84-122389-9-0. - pp. 364-374

Availability:
This version is available at: 11583/2963369 since: 2022-07-06T18:31:05Z

Publisher:
Uskal Ekintzailetzaren Behatokia - Observatorio Vasco del Emprendimiento, EEB-OVE

Published
DOI:

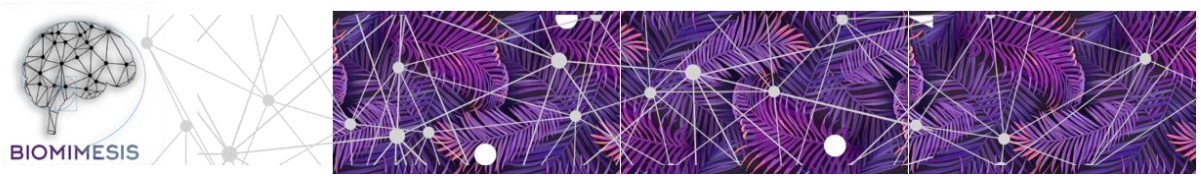
Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

08 September 2026



Sistemas de fachada verdes indirectas. Una propuesta de indicador de desempeño global

Umberto Mecca[107,3]
Paolo Piantanida [1,3]
Manuela Rebaudengo[108,3]
Antonio Vottari *1091,*

Resumen

Todos los estudios recientes sobre edificios ecológicos coinciden en la importancia de su sostenibilidad ambiental. Este objetivo también se confirma a través de las recientes herramientas de evaluación de edificios ecológicos, que otorgan puntos de calificación más altos a los aspectos ambientales de la sostenibilidad. Ciertamente, el aumento del rendimiento de los edificios, gracias al uso eficiente de energía, agua y materiales, o la reducción de desechos y emisiones de CO2, es una forma tangible de reducir el impacto ambiental, pero no podría ser suficiente en áreas urbanas de alta densidad, donde el cambio climático debido al calentamiento global intensifica la contaminación del aire, las temperaturas de la superficie y los efectos de las islas de calor (UHI).

Este artículo destaca las ventajas de las fachadas verdes indirectas en los casos de edificios nuevos y existentes, y propone un indicador de rendimiento global para su evaluación. Si bien los techos verdes son una tecnología establecida en la construcción y evaluación de edificios, las fachadas verdes aún tienen dificultades para desarrollarse. La introducción de un indicador de rendimiento global para las fachadas verdes indirectas podría alentar la adopción de esta tecnología en las acciones de regeneración urbana.

Eventualmente, este indicador podría implementarse en varias herramientas de evaluación de edificios ecológicos y contribuirá a difundir la cultura VGS.

Palabras claves

Edificios verdes, sostenibilidad ambiental, fachadas verdes, indicador de desempeño global, remodelación de fachadas.

[107] Politecnico di Torino - DISEG, Italia
[108] Politecnico di Torino - DIST, Italia
[109] Politecnico di Torino - R3C, Italia

Indirect Green Façade Systems. A Proposal for a Global Performance Indicator

Abstract

All the recent studies about green buildings agree upon the importance of their environmental sustainability. This goal finds confirmation also through the recent green building assessment tools, which give higher rating points to environmental aspects of sustainability. Certainly the increase of buildings performances, is a tangible way to reduce environmental impact. Thanks to an efficient use of energy, water and materials, or to the reduction of waste and CO2 emissions. But, it couldn't be enough in high-density urban areas, where climate change due to global warming intensifies air pollution, surface temperatures and heat island effects (UHI).This paper highlights the advantages of Indirect Green Façades in both the cases of new and existing buildings, and proposes a global performance indicator for their evaluation. While green roofs are an established technology in construction and assessment of buildings, green façades still find difficult to develop. The introduction of a global performance indicator for Indirect Green Façades could encourage the adoption of this technology in urban regeneration actions.

Hopefully, this indicator could be then implemented in several green building assessment tools and will contribute to spread the VGS culture.

Keywords

Green buildings, environmental sustainability, green façades, global performance indicator, façade refurbishment.

1. Introducción

Es particularmente interesante observar que las recientes herramientas de evaluación de edificios ecológicos otorgan puntos de calificación más altos a los aspectos ambientales de la sostenibilidad, como lo demuestra la literatura revisada (Zuo J. & Zhao Z.-Y. 2014: 271-271; Faiz Musa M., *et al*,. 2014:91–96). Resulta importante proporcionar soluciones concretas para mejorar la contribución ambiental de los edificios tanto nuevos como existentes. Un buen punto de partida podría ser un cambio en la forma en que se perciben las fachadas, que son el vínculo visual y conductual entre los edificios y el entorno, ya no es una división tradicional entre interiores y exteriores, sino más bien una interfaz activa y dinámica.

Desde este punto de vista, un "edificio verde" también necesita absolutamente una "fachada verde": este trabajo se centra, principalmente, en un significado "vegetal" del término para encontrar en Vegetación Integrada en Edificios (BIV) (Giordano R., *et al*,. 2017:298-307) y, más específicamente, en Vertical Greenery Systems (VGS) (Giordano R., *et al*,. 2017:298-307; Perez G, *et al*,. 2014:139-165), una forma estratégica de mejorar la sostenibilidad del entorno construido, particularmente útil en áreas densamente pobladas donde la disponibilidad de superficies verticales (fachadas) potencialmente utilizables para el reverdecimiento es mucho más grande qué en los espacios horizontales a nivel de calle (Bellomo A. & Pareti verdi. 2009:15-16). De acuerdo con la clasificación de la literatura de Vertical Greenery Systems (VGS) (Manso M, Castro-Gomes J. 2009:15-16; Perez G, *et al*,. 2014:139-165), este trabajo alienta el desarrollo de sistemas indirectos de fachadas verdes, en lugar de sistemas directos o las paredes “vivas recientes” (LWS). En comparación con estas últimas tipologías de VGS, las fachadas verdes indirectas, que usan estructuras de luz externas hechas de enrejados, mallas, cables o cuerdas cableadas para el desarrollo de plantas trepadoras, presentan ventajas mejoradas que vale la pena mencionar, como la provisión de protección solar y mayor facilidad de mantenimiento.

Si bien los techos verdes son una tecnología establecida en la construcción y evaluación de edificios (Perini K., Rosasco P., 2019:134; Rosato, P.; *et al.*, 2016:5-27), las fachadas verdes tienen un desarrollo más reciente y algunas dificultades para extenderse (Perini, K., Rosasco, P. 2016: 328-337).

Este documento pretende fomentar el desarrollo de sistemas indirectos de fachadas verdes mediante la introducción de un índice de rendimiento global, con el fin de permitir una evaluación comparativa crítica de ellos y una medición objetiva de sus beneficios tanto a nivel constructivo como urbano.

2. Evaluación indirecta de sistemas de fachada verde: Un indicador global de desempeño

La atribución de un valor específico a un índice global requiere su descomposición en sumas / componentes / parámetros y puede llevarse a cabo a través de múltiples técnicas destinadas a evaluar aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. En la mayoría de los casos estos métodos (que pertenecen al método de análisis de criterios múltiples) pueden ser

compensatorios, incluso parcialmente, o no compensatorios, de acuerdo con el principio de que una característica positiva extrema equilibra los penalizadores.

Al grupo compensatorio pertenece el método de suma ponderada. Consiste en la atribución de puntajes parciales a cada parámetro, a partir del cual el puntaje del indicador se obtiene mediante una suma simple. El método, que se impuso ampliamente en muchos campos por su simplicidad, consiste en una función aditiva de utilidad en la que los elementos se asignan conceptualmente a diferentes criterios (parámetros) que los caracterizan y representan. La puntaje final, el índice de rendimiento global (en el caso de las fachadas verdes indirectas) se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula (Von Winterfeldt, D., Fischer, G. W.. 1975:47-85):

$$I_g = \sum_i \quad \alpha_i * A_i \qquad (1)$$

El valor de los coeficientes α_i, después de que se hayan identificado todos los parámetros A_i, tendrá que mejorarse aplicando el AHP, (Proceso de Análisis Jerárquico) Analytic Hierarchical Process de T. Saaty (Saaty T.L., 1990).

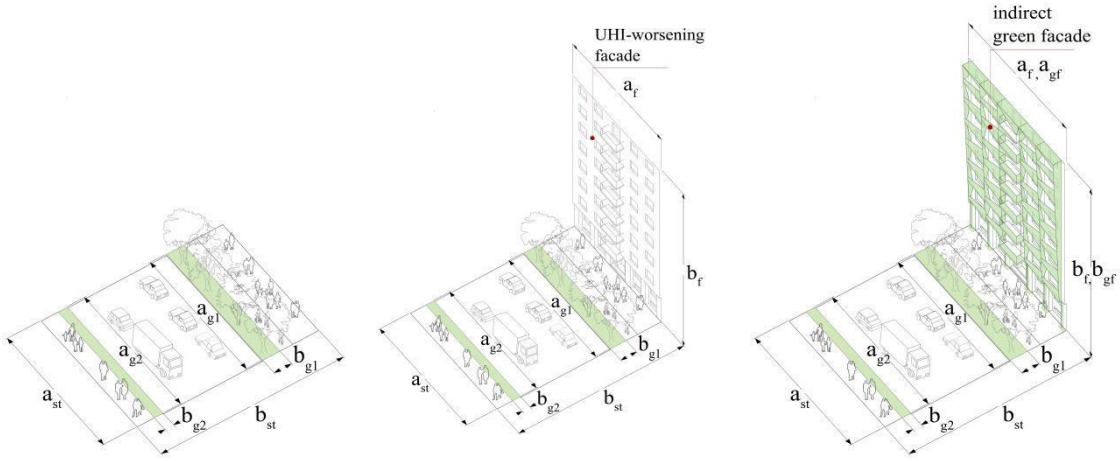
En lo que respecta al enfoque basado en el rendimiento, faltan indicadores para el efecto combinado de las fachadas verdes indirectas hacia el sombreado en el interior y la mitigación de UHI. Por lo tanto, este artículo se centrará en el parámetro denominado de *efecto de enfriamiento natural interno y externo*, A_1 en (1), es la suma de dos subcomponentes, uno para evaluar cómo ha contribuido a refrescar la parte interior (sombreado) y el otro para atenuar la isla de calor urbano. El (UHI) parámetro de mitigación P_{UHI} (efecto externo) y el parámetro de sombra solar P_{sh} (efecto interno). Para definir el peso relativo de los dos parámetros, se realizará un análisis de las partes interesadas al final del proceso.

3. El parámetro (UHI) de mitigación de la isla de calor urbano P_{UHI}

Considerando las ciudades y las áreas densamente pobladas, el calentamiento global por un lado y la sobrepoblación por el otro, han contribuido a que los microclimas sean significativamente más cálidos que las áreas rurales circundantes, con el consiguiente impacto negativo en la demanda de energía, la calidad del aire y la salud humana, especialmente para la población en riesgo (Morabito M, Crisci., *et al*,. 2015) y actividades al aire libre. Este fenómeno se conoce generalmente como el efecto "Urban Heat Island" (UHI) y tiene su origen en un entorno densamente construido con un exceso de superficies pavimentadas e impermeables (calles, estacionamientos, aceras, techos y fachadas de edificios). Dado que la vegetación no solo tiene valores más altos de albedo que la mayoría de los materiales de

construcción comunes, sino que también proporciona sombra y enfriamiento a través de la evapotranspiración, los sistemas de vegetación vertical (VGS) pueden contribuir a reducir el efecto de isla de calor urbano (Price A., *et al*,. 2015).

En la construcción de la escala, el rendimiento de mitigación UHI (P_{UHI}) de un sistema de fachada verde indirecto puede ser evaluado a través de la capacidad de cambiar el equilibrio entre las superficies pavimentadas o impermeables y superficies verdor de refrigeración, medidos sobre una porción del ambiente construido en frente de esa fachada, tal como está redactado en los esquemas de la Fig. 1.



1. solo calle
2. UHI-empeoramiento con la construcción de fachadas
3. UHI-Fachada atenuante: sistema indirecto de fachada verde

Fig. 1. Secciones transversales axonométricas de un entorno construido de acuerdo con tres configuraciones: 1. sin edificio; 2. UHI-empeoramiento por fachada; 3. Optimización con fachada verde indirecta
Elaboración propia

El aumento de las superficies de enfriamiento relacionadas con la realización indirecta de una fachada verde se evalúa como un valor delta Δ_{UHI}:

$$\Delta_{UHI} = \left[\frac{\sum(a_{gi} * b_{gi}) + (a_{gf} * b_{gf})}{(a_{st} * b_{st}) + (a_f * b_f) + (a_{gf} * b_{gf})}\right]_1 - \left[\frac{\sum(a_{gi} * b_{gi}) + (a_{gf} * b_{gf})}{(a_{st} * b_{st}) + (a_f * b_f) + (a_{gf} * b_{gf})}\right]_0 \quad [0 \div 1] \qquad (2)$$

Donde:

$\sum(a_{gi} \times b_{gi})$ superficies de enfriamiento existentes en la parte de la calle

$(a_{st} \times b_{st})$ porción de la calle relacionada con la fachada*

$[\ ]_1$ situación final

$(a_{gf} \times b_{gf})$ porción de fachada con sistema verde indirecto

$(a_f \times b_f)$ porción de fachada sin sistema verde indirecto

$[\ ]_0$ situación inicial

*La parte de la calle relacionada con la fachada considerada nunca debe exceder el área de la fachada misma. En estos casos, la parte de la calle a considerar está representada por la fachada volcada en el suelo.

La fórmula (2) está ilustrada en la Fig. 1 considerando diferentes situaciones: solo calle; fachada que empeora UHI; fachada cubierta total o parcialmente con sistemas de fachada verde indirecta (por ejemplo, en el último caso es posible evaluar los beneficios de aumentar la capa vegetal en el sistema de fachada indirecta). Este parámetro delta resultante (2) debe estar relacionado con el contexto construido (diferentes tipos de suburbios, centro de la ciudad, etc.): debe disminuirse con un coeficiente de reducción cuando la fachada verde se lleva a cabo en áreas rurales o periféricas que están marginalmente o no están afectadas por los efectos de UHI. Dado que existe una relación reconocida entre el efecto UHI y la densidad de población (Oke T.R,. 1973, pp.769-779), el siguiente diagrama (Fig. 2) adapta el coeficiente mencionado anteriormente para vecindarios rurales (escasamente poblados) y periféricos (poblados intermedios). El producto entre el coeficiente de reducción $C_{r,UHI}$ y el Δ_{UHI} genera el parámetro de mitigación de la isla de calor urbano (UHI) P_{UHI} (3).

$$P_{UHI} = C_{r,UHI} * \Delta_{UHI}\ [0 \div 1] \qquad (3)$$

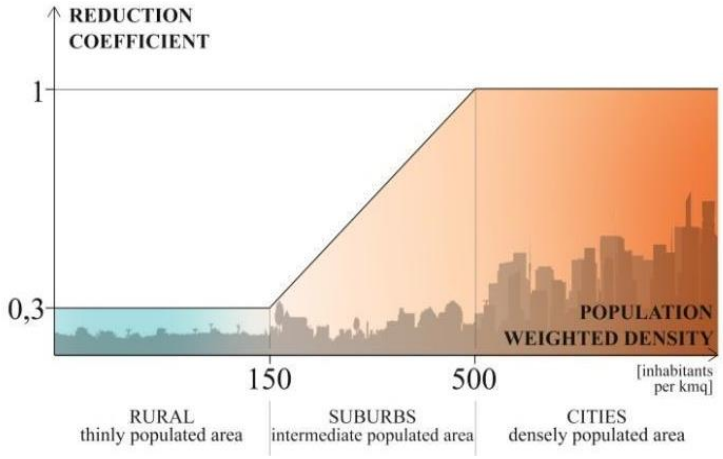


Fig. 2. coeficiente C_r para la reducción Δ_{UHI} (2), en función de la densidad de población Elaboración propia

4. El parámetro de sombreado solar P_{sh}

Además de la absorción de calor a través del enfriamiento por evapotranspiración, una característica común a todos los sistemas de vegetación, las fachadas verdes indirectas también pueden proporcionar sombra gracias al uso de una estructura de soporte externa (Hoi Yan M., *et al*,. 2005:47-54). De acuerdo con la exposición al sol, para cada fachada del edificio es posible encontrar la mejor configuración para controlar la radiación solar directa y sombrear las superficies de las ventanas sin obstruir excesivamente la vista desde adentro. En el siguiente grafico (Tabla 1), se resumen las configuraciones para los puntos cardinales principales considerando la situación del hemisferio norte.

Sur	Este	Oeste	Sudeste/Sudoeste

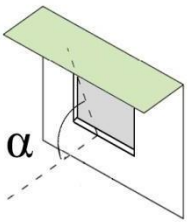
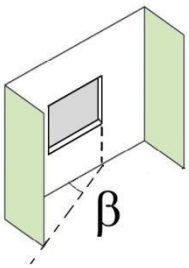
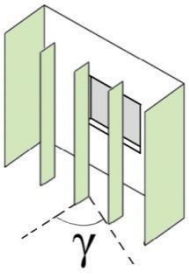
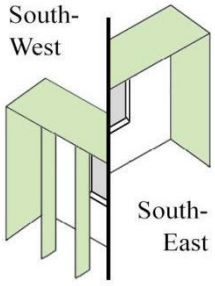
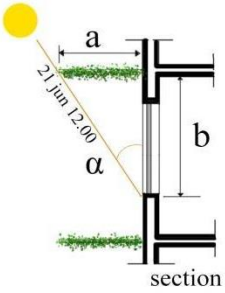
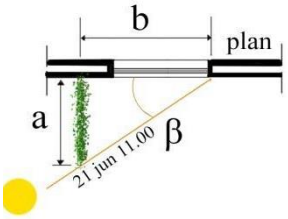
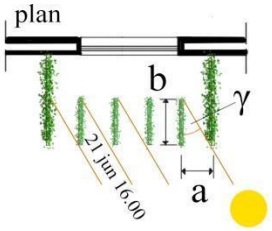
horizontal screen	vertical screens	vertical multi-screens	composite screen (horizontal+ vertical)
			
			ambas configuraciones para pantallas horizontales y verticales necesitan ser satisfechas
$a_{best} = b * tan\ tan\ \alpha$ (4)	$a_{best} = b * tan\ tan\ \beta$ (5)	$a/b_{\ best} = tan\ tan\ \gamma$ (6)	both (4) and (5)/(6) need to be satisfied

Tabla 1. configuración de sombreado solar de una fachada verde indirecta de acuerdo a la orientación. Elaboración propia

Para orientaciones de fachadas sur y este, el parámetro de sombra solar p_{sh} ise es:

$$p_{sh} = \frac{a_{eff}}{a_{best}} \quad [0 \div 1] \quad (7)$$

Donde:

a_{eff} proyección efectivo de la pantalla vegetal horizontal o vertical del sistema indirecto de fachada verde (por evaluar)

a_{best} valor de la protuberancia vegetal horizontal o vertical de la pantalla que satisface la fórmula (4) (horizontal) o (5) (vertical) y garantiza la mejor configuración

Si a_{eff} corresponde a_{best} la fachada verde indirecta cumple plenamente la mejor configuración geométrica y el parámetro de protección solar p_{sh} el valor es 1.

En caso de exposición de la fachada sudoeste, es necesario combinar tanto la protuberancia como el espaciamiento entre ejes de las pantallas vegetales verticales. Por lo tanto, el parámetro de sombra solar p_{sh} se obtiene de la siguiente manera:

$$p_{sh} = \frac{(\frac{a}{b})_{eff}}{(\frac{a}{b})_{best}} \quad [0 \div 1] \quad (8)$$

Para las exposiciones de fachadas norte y noreste / noroeste, no es estrictamente necesario el sombreado solar, pero de todos modos es posible darse cuenta, en estos casos, de una fachada

verde directa o un sistema de pared viva (LWS), como capa de evapotranspiración adicional y tomar ventaja de los beneficios relacionados con el componente vegetal.

El sistema de sombreado verde no debería impedir considerablemente las visuales por lo tanto, se ha establecido un coeficiente de reducción para disminuir el impacto del parámetro de sombreado solar p_{sh}, dependiendo de la reducción en la vista de la ventana causada por pantallas vegetales (podría ser el caso en que las pantallas vegetales excedan la cantidad de la mejor configuración). El coeficiente de reducción se organiza de la siguiente manera:

$$C_{r,sh} = \frac{AREA_{eff}}{AREA_{best}} \quad [0 \div 1] \quad (9)$$

Donde:

$AREA_{eff}$ el área frontal real que está libre de obstrucciones (es decir, el área de la ventana neta de la proyección en el acristalamiento de la obstrucción de las pantallas vegetales frontales)

$AREA_{best}$ lo mismo de arriba, pero para referirse a la mejor configuración teórica

El producto entre el coeficiente de reducción $C_{r,sh}$ y el p_{sh} genera el parámetro efectivo de sombreado solar P_{sh} (9).

$$P_{sh} = C_{r,sh} * p_{sh} \quad [0 \div 1] \quad (10)$$

5. Partes interesadas para definir la prioridad de los componentes A1

Se llevó a cabo una investigación para identificar a las partes interesadas involucradas en la renovación de un edificio conjetural que incluye una nueva fachada verde indirecta; se agruparon según sus niveles de interés e influencia (Fig. 3), con el objetivo de señalar las necesidades y objetivos de los interesados.

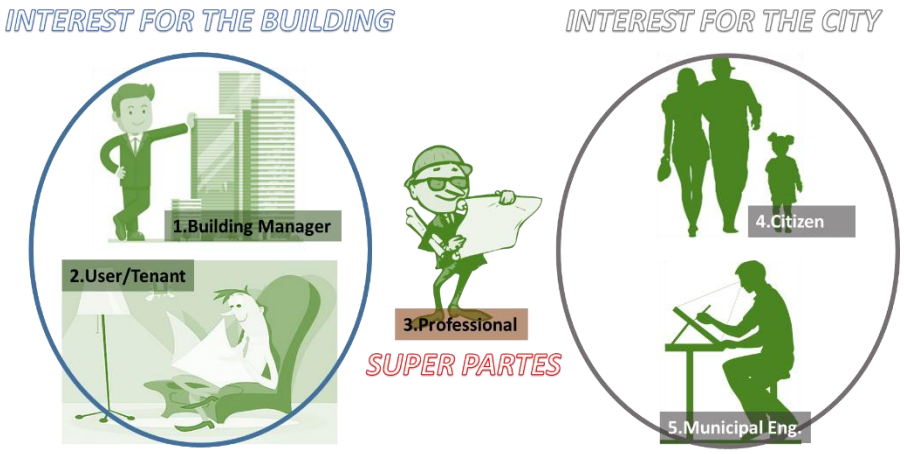


Fig. 3. Grupos de partes interesadas involucradas y su nivel de interés. Elaboración propia

Por ejemplo, los administradores de edificios quieren sistemas que no sean demasiado complejos de administrar (mantenimiento, control, etc.); los usuarios directos / inquilinos desean (principalmente) beneficios para sus hogares; los profesionales, como expertos, deberían ser super partes, pero podrían ser o no "adictos a la innovación"; Los ciudadanos desean mejoras en el uso e impactos positivos para la imagen de la ciudad, así como para el Municipio, a fin de gestionar mejor los espacios públicos.

La evaluación y el análisis de las preferencias de las partes interesadas se investigaron a través de una simple pregunta: «Si una posible intervención de renovación de la fachada pudiera ofrecer una contribución positiva solamente, ¿cuál preferiría entre la mitigación de la isla de calor o la protección solar y por qué?». Los resultados son los que se muestran en la Figura 4.

Es posible utilizar un promedio ponderado para definir los pesos aplicados a los dos parámetros, considerando que en esta simulación se suponía que cada parte interesada tenía la misma importancia. Por lo tanto α_1 y α_2 los coeficientes se establecen respectivamente en 0,55 y 0,45.

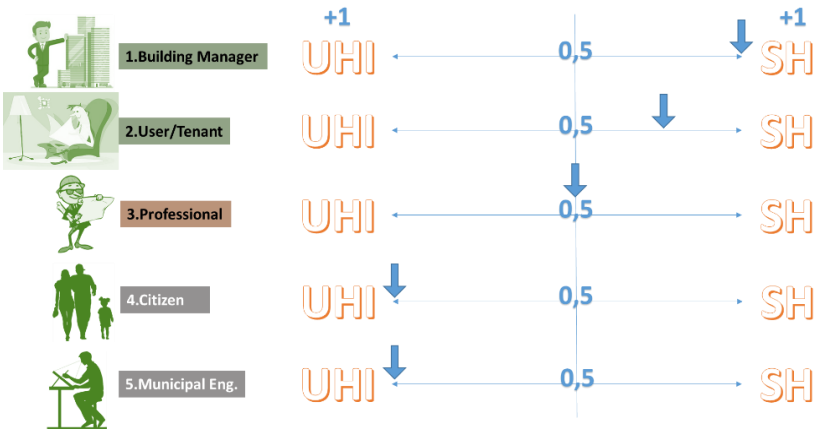


Fig. 4. Preferencias de las partes interesadas al peso relativo de los parámetros (UHI = Isla de calor urbano; SH = Sombreado solar). Elaboración propia

6. Conclusión:

La definición de dos nuevos parámetros dedicados a objetivar las mejoras que una fachada verde indirecta (IGF) dará al ambiente interior y exterior, apuntó al objetivo de implementar dos componentes más A_i (P_{UHI} y P_{SH}) para enriquecer y hacer más sensible el indicador de rendimiento global, haciéndolo más efectivo para caracterizar los sistemas indirectos de fachadas verdes. Entre los resultados del trabajo de investigación, la importancia que cada

parte interesada le dio al desempeño "interno" y al "externo" del IGF llevó al equipo a combinarlos efectivamente en una suma ponderada.

El resultado esbozó un *indicador de rendimiento global* comprometido con la medición basada en hechos de las dos consecuencias principales por la adopción de tecnología IGF. Confiables los dos parámetros, los resultados repetibles, todo el equipo de investigación confía en que pronto se implementarán o, al menos, se considerarán como una opción, en las herramientas de calificación de edificios ecológicos para la evaluación de fachadas ecológicas. Esto respaldará la expansión indirecta de las fachadas verdes, porque facilitará la toma de decisiones hacia la selección de la estrategia de reacondicionamiento de envolventes y la gestión de acuerdos para propietarios, gerentes de edificios, profesionales, ciudadanos y políticos.

7. Referencias

Zuo J., Zhao Z.-Y. (2014). Green building research–current status and future agenda: A review, Renewable and Sustainable. *Energy Reviews*, vol 30, pp. 271–281.

Faiz Musa M., Fadhil Mohammad M., Reeza Yusof M., Mahbub R. (2014). The Green Building Approach towards Achieving Sustainability. *International Colloquium on Science and Technology*, pp. 91–96.

Giordano R., Montacchini E., Tedesco S., Perone A. (2017). Living Wall Systems: a technical standard proposal. *Energy Procedia*, vol 111, pp. 298–307.

Bellomo A., Pareti verdi. (2009). *Nuove tecniche*. 2nd ed. Napoli: Esselibri Simone, pp.15-16.

Manso M, Castro-Gomes J. (2015). Green wall systems: a review of their characteristics. *Renew Sust Energ Rev* 2015; 41: pp. 863 – 871.

Perez G, *et al*,. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 39.pp. 139-165;

Perini K., Rosasco P. (2019). Selection of (Green) Roof Systems: A Sustainability-Based Multi-Criteria Analysis. *Buildings.* 9(5), pp. 134. doi:10.3390/buildings9050134;

Rosato, P., Valcovich, E., Stival, C.A., Berto, R., Cechet, G. (2016).Horizontal extensive green roofs in existing building. Part two—Economic features. *Valori e Valutazioni 2016, IX*, pp. 5–27;

Perini, K., Rosasco, P. (2016). Is greening the building envelope economically sustainable? An analysis to evaluate the advantages of economy of scope of vertical greening systems and green roofs. *Urban For. Urban Green*. 20, pp. 328–337;

Von Winterfeldt, D., Fischer, G. W. (1975). Multi-attribute utility theory: models and assessment procedures. In *Utility, probability, and human decision making*, pp. 47-85, Springer, Dordrecht.

Saaty T.L. (1990). *Decision Making for Leaders – The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, RWS Publishing, Pittsburgh.

Morabito M, Crisci., Gioli B., Gualtieri G., Toscano P., Di Stefano V., Orlandini S., Gensini G. (2015). Urban-Hazard Risk Analysis: Mapping of Heat-Related Risks in the Elderly in Major Italian Citie,. *Plos One,* https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127277.

Price A., Jones E. C., Jefferson F. (2015). Vertical Greenery Systems as a Strategy in Urban Heat Island Mitigation. *Water, Air, and Soil Pollution,* 226: 8 https://doi.org/10.1007/s11270-015- 2464-9.

Oke T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, Vol. 7, pp. 769-779.

Dijkstra L. and Poelman H. (2014). A harmonized definition of cities and rural areas: the new degree of urbanization, Regional Working Paper 01/2014, European Commission, pag. 3.

Hoi Yan M., Ip K., Miller A. (2005). *Thermal shading effect of climbing plants on glazed facades.* World Sustainable Building Conference, Tokyo, pp 47-54.