
JIMENA ALARCÓN CASTRO

DIRECTORA GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
CONCEPCIÓN, CHILE
JIMENAAL@UBIOBIO.CL

RODRIGO GARCÍA-ALVARADO
DEPARTAMENTO DISEÑO Y TEORÍA
DE LA ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
CONCEPCIÓN, CHILE
RGARCIA@UBIOBIO.CL

HELENA AGUILAR
INVESTIGADORA CENTRO DE NANOTECNOLOGÍA Y
MATERIALES INTELIGENTES (CENTI)
PORTO, PORTUGAL
HAGUILAR@CENTI.PT

PAULA SÁNCHEZ-FRIERA
INVESTIGADORA CENTRO TECNOLÓGICO PRODINTEC
GIJÓN, ESPAÑA
PSS@PRODINTEC.COM

Financiamiento: Programa ERA-NET LAC (Latin America, Caribbean and European Union), código ELAC2014/ESE0146, a través de la Comisión Nacional Científica y Tecnológica de Chile, CONICYT

Fecha de recepción: 21/06/2018

Fecha de aceptación: 29/08/2018

Cómo citar: Alarcón Castro, J., García-Alvarado, R., Aguilar, H. y Sánchez-Friera, P. (2018) Diseñar el color de la eficiencia: Concentradores Solares Luminiscentes y aceptación usuaria. RChD: creación y pensamiento, 3(5), 1-10.
DOI: 10.5354/0719-837X.2018.50035

Revista Chilena de Diseño,
rchd: creación y pensamiento
Universidad de Chile
2018, 3(5)
<http://rchd.uchile.cl>

Diseñar el color de la eficiencia: Concentradores Solares Luminiscentes y aceptación usuaria

*Design the efficiency color:
Luminescent Solar Concentrators and user acceptance*

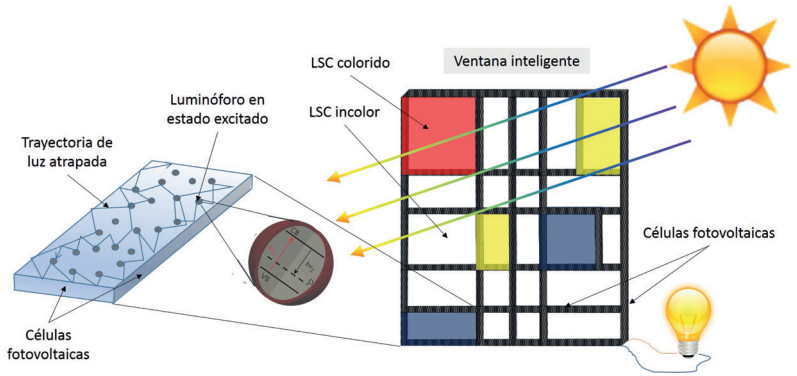
Resumen. Se experimenta con diversos luminóforos semitransparentes e incoloros para que las fachadas de energía pasiva de los edificios urbanos posean energía efectiva capturada, a través de sus vidrios. Se usan tintes inorgánicos con elementos de tierras raras como $\text{Eu}_3 + \text{Nd}_3 + \text{Yb}_3$ + pareja lantánida para desplazar el espectro solar hacia el rango de longitud de onda NIR, que es la región espectral del infrarrojo cercano (NIR) que se extiende desde el extremo de las longitudes más altas del visible (alrededor de 780 nm) hasta los 3000 nm (13000 cm^{-1} hasta 3300 cm^{-1}), combinado con partículas de sílice nanoestructuradas para aumentar los rendimientos cuánticos luminiscentes y el brillo. Un estudio de aceptación usuaria basado en las emociones, pondera el grado de aceptación respecto de la presencia de color en el vidrio. Resultados experimentales demuestran una eficiencia de potencia óptica, mayor con tintes inorgánicos (2,2%), que con lantánidos (1,3%) para muestras de cristales con Concentradores Solares Luminiscentes (CSLS) de $3,5 \times 3,5 \text{ cm}^2$ tintadas y totalmente transparentes, con una transmitancia óptica $\approx 90\%$. Se resuelve la interrogante en cuanto a la presencia de color en el vidrio y su relación con la eficiencia energética.

Palabras clave: color, concentradores solares luminiscentes (CSLS), diseño, energía solar, satisfacción usuaria.

Abstract. Experiments were carried out with different semitransparent and colorless luminophores, so that passive energy facades of urban buildings capture effective energy through their glass. Inorganic dyes are used with rare earth elements such as $\text{Eu}_3 + \text{Nd}_3 + \text{Yb}_3$ + lanthanide pair, to move solar spectrum towards NIR wavelength range, which is the near infrared (NIR) spectral region from the end of the highest visible lengths (around 780 nm) up to 3000 nm (13000 cm^{-1} to 3300 cm^{-1}), combined with nanostructured silica particles to increase the luminescent quantum yields and brightness. User acceptance study based on emotions, considers the acceptance degree regarding presence of color in glass. Experimental results demonstrate optical power efficiency, higher with inorganic dyes (2.2%) than lanthanides (1.3%) for samples of crystals with Luminescent Solar Concentrators (CSLS) of $3.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$ tinted and fully transparent, with optical transmittance $\approx 90\%$. Question about the presence of color in glass and its relationship with energy efficiency is solved.

Keywords: color, design, luminescent solar concentrators (CSLS), solar energy, user satisfaction

Figura 1. Diseño conceptual relativo a tecnología CSLs. El esquema de inserción resalta la amplia posibilidad del vidrio revestido e incoloro que se puede usar como parte del sistema de recolección de energía. Fuente: Archivo del proyecto.



Introducción

Este trabajo describe uno de los logros del proyecto WINNER en relación con el desarrollo de recubrimientos híbridos orgánicos/inorgánicos para sistemas CSLs-PV (del inglés LCSS-PV, *Luminescent Solar Concentrator-Concentrator Photovoltaics*) para su integración en ventanas inteligentes para edificios con energía casi nula (*Near-zero energy buildings*, NZEB). Se ha propuesto el uso de dispersión selectiva inorgánica espectral de luminóforos junto con nanomateriales a base de sílice para realizar dispositivos solares de captación de energía de transmisión altamente visible ($T \approx 90\%$ a 400-700 nm y NIR), con propiedades mejoradas de aislamiento térmico.

Paralelamente a la evolución de las tecnologías de recolección y almacenamiento de energía solar, uno de los desafíos es el diseño de materiales para convertir la luz solar eficiente y rentablemente, sin embargo, la presencia de tintes de color podría influir en la percepción de los usuarios afectando su confort (Gallo et al., 2004). En las fachadas de los edificios se integran elementos tales como: paneles murales, tejas, bloques de muros, balcones y vidrios dobles con celdas insertadas (Strong, 2011). Todos estos recursos se denominan BIPV (*Building-integrated Photovoltaic*) y han sido aplicados en edificios urbanos, consiguiendo en algunas oportunidades aportar el 100% de la demanda energética (Voss y Musall, 2012). Sin embargo, se trata de casos que representan una minoría de las experiencias, puesto que el sector de la construcción se caracteriza por ser una de las industrias con menor índice de tecnificación (Research EU, 2017). En esta medida, contar con productos comerciales con esta tecnología constituye un aporte a la mejora de los estándares de tecnificación del sector (Hardy et al., 2012).

La aplicación de Concentradores Solares Luminiscentes (CSLs) en láminas de vidrio constituyen una posibilidad para desarrollar sistemas integrados en las fachadas de los edificios, con capacidad para recolectar energía (Tsoi, 2012), aportando iluminación natural y energía limpia (Alarcón et al., 2017). Los CSLs fueron descritos por primera vez por Weber y Lambe (1976), como un método para concentrar la luz solar utilizando especies luminiscentes dispersas en una matriz polimérica transparente, que actúa como guía de ondas. La luz solar incidente es absorbida por luminóforos y re-emitada en una longitud de onda diferente. Una fracción de la luz emitida queda atrapada en la guía de ondas y se redirige hacia los bordes del CSL, mediante reflexión interna, y se convierte en energía eléctrica en células fotovoltaicas incrustadas en el perímetro del sistema CSL-PV (Figura 1).

El color y grado de transparencia de los CSLs, están determinados por el tipo y la densidad de los luminóforos y las propiedades del medio polimérico de soporte. La generación de energía fotovoltaica para el autoconsumo y filtración de radiación por Reflexión Infrarroja (IR) basada en CSLs, posee un desempeño favorable al concepto de edificios casi cero energía (NZEB), que plantea una combinación de acciones de eficiencia energética, generación renovable para reducir el consumo y anulación de alimentación externa (EP-CEU, 2010; Kurnitski et al., 2011; Sartori et al., 2010; NIBS, 2015). Debido al impacto positivo que la luz natural tiene en el bienestar de las personas, las ventanas de vidrio son ampliamente utilizadas en los edificios; sin embargo, estos elementos arquitectónicos, son la principal causa de pérdidas de calor durante el invierno y un efecto invernadero durante el verano, lo que aumenta el consumo de energía del edificio en un intento por mantener estándares de confort usuaria. El reflejar la luz infrarroja (exceso de calor solar) y ser transparentes a toda la región visible, potencia su capacidad para minimizar el consumo de energía de los edificios, manteniendo una temperatura interior confortable y una iluminación óptima. También pueden comprender células fotovoltaicas que permiten la conversión de la luz solar recolectada en energía. Aun así, el costo de éstas sigue siendo alto (Debije and Verbunt, 2012).

En la búsqueda de nuevas soluciones, los CSLs otorgan la posibilidad de convertir la luz solar en energía eléctrica con variables visuales que intervienen en la apariencia del vidrio. Los CSLs pueden ser utilizados como elementos de fachada de edificios, siendo el color y el grado de transparencia, factores a estudiar desde el punto de vista de la aceptación de transeuntes y ocupantes del interior del edificio, debido a su incidencia en espacios donde comúnmente el vidrio se percibe incoloro y transparente.

La apariencia visual de los productos juega un papel importante en la respuesta del consumidor (Crilly, et al., 2004), mientras que las propiedades sensoriales de un producto con frecuencia se experimentan simultáneamente, entregando respuestas emocionales. Los estímulos del espacio habitable pueden provocar diversas reacciones psicológicas asociadas a la percepción, siempre consecuente con la vivencia (Mamaghani y Mostowfi, 2016). Por su parte, la visión tiende a dominar la experiencia humana (Fiore y Kimle, 1997), lo que es demostrado por estudios en que los usuarios la sitúan con la más alta ponderación como medio sensorial que define emociones emanadas del entorno (Hendrik y Schifferstein, 2008). En este sentido, los productos orientados a conformar un espacio habitable, deben ser evaluados para generar una interacción que facilite una experiencia de calidad (Özcan y van Egmond, 2009; Schifferstein y Hekkert, 2011). El rol de las emociones en las interacciones entre humanos y productos, así como las potencialidades del diseño en el ámbito que define una experiencia positiva, se han discutido ampliamente en la literatura relativa a diseño (Rognoli y Levi, 2005; Desmet y Hekkert, 2007, Fenko et al., 2008; Rognoli, 2010; Desmet y Sääksjärvi, 2016; Fenko et al., 2011; Howes et al., 2014).

Comprensiones sobre las emociones del usuario demuestran la relevancia que revisten para el diseño, debido a que influyen en el comportamiento de uso (Tractinsky et al., 2000) y la riqueza de las experiencias (Fokkinga y Desmet, 2012). Para Schuller y Parks (2014), una de las cinco categorías para probar que las emociones intervienen en la satisfacción de los individuos, es a través de vivenciar sensaciones, por lo que es relevante conocer el significado de éstas para una gama de usuarios asociada a los entornos

Figura 2. Secciones que iluminan, Fundación Louis Vuitton, Francia. Fuente: Archivo del proyecto.



de pertinencia (Valencia et al., 2015). "Cuando se les pide a las personas que describan un determinado material, con frecuencia se refieren a sus características expresivas y estas características se basan en diferentes aspectos de los materiales (y productos)" (Karana y Hekkert, 2010, 43).

Tan relevante como el diseño del vidrio, es el soporte que lo sostendrá. Para ello se debe considerar propiedades de la trama visual y la percepción de su configuración que, para algunos autores (Karana et al., 2014), resulta esencialmente del ordenamiento estructural de elementos que la componen. Las secciones en diversos paramentos pertenecen a la arquitectura contemporánea y configuran porciones de entrever (Figura 2), constituyendo parte de la experiencia de percibir el espacio interior y exterior. En esta medida, al color acompaña la forma, que es el límite de la materia que permite diferenciar un objeto de otro (Muller, 2001), dominando un ámbito importante en el territorio del diseño, pues contribuye a generar emociones en su interacción con los usuarios. Ahora bien, la forma es independiente del material y el color (Chen, 2005), pero ambos participan evidentemente de la experiencia visual.

Para Knapp (1980), es el entorno el que proporciona calor psicológico, mediante los objetos y materiales que lo conforman, todo lo cual contribuye a una mejor relación de confort valorado por los individuos. Según Norman, "si todo funciona de la manera que debe, cumpliendo las expectativas depositadas, el sistema afectivo reacciona de manera positiva proporcionando placer al usuario" (Norman, 1995, pág. 279).

Material y método

El objetivo es diseñar un vidrio para ventanas inteligentes, abordando el tema color, como una variable relevante desde el punto de vista de la percepción usuaria y eficiencia energética. El sistema de recubrimiento e integración de células fotovoltaicas, así como el rendimiento están supeditados a diversos colores, los que intervienen en la percepción de los ocupantes de los edificios. Se incorporan al proceso de diseño (Prodintec, 2006), métodos de la ingeniería afectiva, disciplina encargada de establecer la relación entre

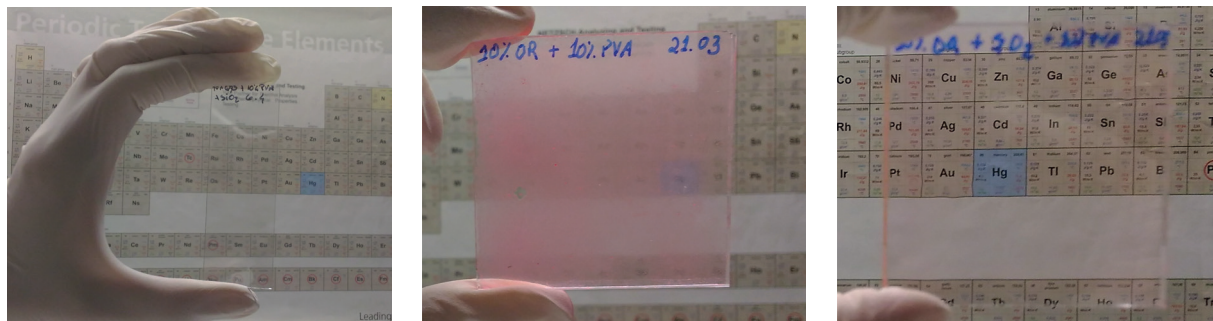


Figura 3. Apariencias de vidrios resultantes de la experimentación (IL, CL, QD, de izquierda a derecha). Fuente: Archivo proyecto.

las emociones que un determinado estímulo genera en los seres humanos (Nagamachi, 1995; Villanueva et al., 2013). Ésta constituye un insumo relevante para el proceso de diseño, ya que permite conocer respuestas emocionales útiles para la definición de productos de mercado acorde a la satisfacción usuaria. En este sentido, la ingeniería afectiva posibilita aproximaciones investigativas, mediante la incorporación de métodos para acceder a información, entre ellos, el Diferencial Semántico, es un instrumento de evaluación cuantitativa de la significación semántica inherente a un concepto asociado a un estímulo.

1.0. Diseño del vidrio respecto del color

El color del vidrio está técnicamente determinado por el tipo y la densidad de los luminóforos y las propiedades del medio polimérico de soporte. En relación a la síntesis y funcionalización de nanomateriales avanzados para reducir o convertir el espectro solar, se definieron tres enfoques (Figura 3).

1.1. Aproximación con Iones Lantánidos (IL):

Es una alternativa de mediano riesgo. El uso de nano/micro sílices con iones lantánidos y la longitud de onda de los fotones emitidos, está cerca del punto máximo de absorción de células solares basadas en silicio, por lo que se puede aumentar aún más la potencia de salida de los dispositivos con CSLs. En el proyecto se utilizan iones lantánidos a una carga en masa del 100% de la cantidad de PVA (Acetato de Polivinilo), en condiciones ácidas y en una relación molar de 1:10 (Nd_3^+ + Yb_3^+). Las películas con y sin sílice se depositan en placas de vidrio, para preparar la película de PVA/sílice. El sol de sílice se obtiene mediante un procedimiento de síntesis in situ y se añade a la solución polimérica. Las películas obtenidas son semitransparentes e incoloras y los espectros de transmitancia del vidrio transparente no se ven afectados por la presencia de los lantánidos ni las partículas de sílice. La resultante es un vidrio prácticamente incoloro.

1.2. Aproximación con colorantes luminiscentes (CL):

Constituye una opción de bajo riesgo, mediante el uso de luminóforos comerciales de alto rendimiento, embebidos en una base polimérica incolora transparente. Por ejemplo: Poli (Metacrilato de metilo) o PVA. Algunos de los materiales probados son tintes inorgánicos con elementos de tierras raras como Eu_3^+ y Dy_3^+ . La desventaja de estos colorantes es la baja eficiencia cuántica y el tinte visible que imprime en los cristales. Se incorporaron dos colorantes diferentes en películas de PVA, para mejorar la eficiencia de las células solares: naranja-rojo y amarillo-verde. Para preparar las películas

de PVA, se utilizaron partículas luminiscentes con una carga de masa del 10% de la cantidad de PVA y la formulación resultante se emplea para recubrir el vidrio transparente. Tanto el naranja-rojo como el amarillo-verde son insolubles en agua y producen una película transparente y coloreada.

1.3. Aproximación *Quantum Dots* (QD) (Puntos Cuánticos):

Es una alternativa que supone un mayor desafío. Implica el uso de puntos cuánticos, que son nanoestructuras semiconductoras, recubiertos con ZnS (Sulfuro de zinc) para lograr eficiencia de UV-NIR QD-LSC (del inglés *Ultra Violet Near-Infrared Quantum Dots Luminescent Solar Concentrators*), con pérdidas de reabsorción reducidas y cobertura extendida del espectro solar. El presente estudio se centra en los puntos cuánticos con emisión NIR óptima para CSLs acoplados a células fotovoltaicas para la realización de polímeros incoloros estables, dotados con puntos cuánticos adecuados para aplicaciones como ventanas semitransparentes. Los puntos cuánticos pasivos con ZnS se dispersan recubriendo placas de vidrio, permitiendo la comparación entre un CSL preparado con puntos cuánticos y otro con puntos cuánticos pasivos. Ambas películas preparadas con y sin sílice produjeron resultados ligeramente coloreados, pero transparentes.

2.0. Montaje del módulo

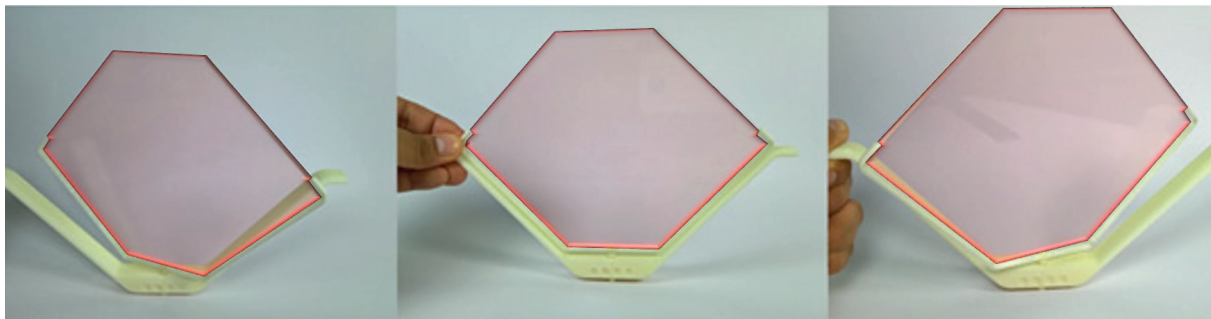
El vidrio en formato aproximado 150 mm² se ensambla en una estructura de base hexagonal (Figura 4). Se utilizan varias resinas de grado óptico para unir las células solares al perímetro del vidrio, experimentando con silicona de dos componentes y una resina epóxica de dos componentes. Los tres materiales fueron probados para la aplicación, aunque esta última se prefirió en términos de procesabilidad, debido a un curado más rápido a temperatura ambiente. Las células solares son interconectadas en cuerdas y unidas a los vidrios de tal manera que la parte activa de la celda quedara en contacto con el borde del vidrio activo, mientras que la parte de la celda que contenía la barra se encontraba fuera del área irradiada. En sistemas a escala de laboratorio, se usa PVA para unir la célula solar al vidrio.

3.0. Experimento de Percepción Visual-Color (vc)

Se evalúan las percepciones emocionales, a través del revestimiento de una ventana única en un espacio habitable destinado a oficinas, en el primer nivel de una casa del sur de Chile, con amplia vista a áreas verdes. El experimento se realiza en base a tres imitaciones de apariencias referidas a las de los vidrios desarrollados en el laboratorio (Figura 5).

3.1. Tamaño muestral

Se consideró una muestra no probabilística intencionada de carácter exploratoria, seleccionando a individuos oficinistas acostumbrados a laborar en edificios convencionales del Gran Concepción. Participaron 9 mujeres (45%) y 11 hombres (55%), seleccionados por muestreo no probabilístico por conveniencia. El promedio de edad de los encuestados es de 38 años (D.E.=15,9; rango 21 a 78 años). Este método de selección permitió procurarse percepciones confiables, asegurando una perspectiva técnica-emocional, aunque la muestra fuera aleatoria.



3.2. Instrumento

Para la recolección de la información se ocupa un cuestionario autoaplicado conformado por una escala de respuestas tipo Likert. Los individuos con una permanencia en el espacio igual o superior a 4 horas diarias, contestaron al término de su permanencia el mencionado instrumento. El experimento tuvo una duración de 3 días, considerando un día por cada alternativa propuesta. El puntaje máximo por eje semántico es 6 y por instancia evaluada es 24. El mínimo puntaje es 0.

3.3. Procedimiento

Se preparó una ventana de dimensiones 2300mm², medio prioritario de comunicación visual con el exterior de un espacio de 6m². Se trata de una sala con muros, mesas, sillas y estanterías con predominancia de blanco. La neutralidad es tratada tanto en la apariencia visual de las paredes como en el mobiliario, para evitar distractores. En ella estuvo presente un integrante del equipo de investigadores, responsable de dar curso al experimento. Al término de cada jornada, matinal y vespertina, los participantes reciben un documento denominado consentimiento informado, en el que se explican los alcances logísticos de la investigación respecto de su participación en el estudio, referida a su voluntariedad, anonimato, confidencialidad y posibilidad de conocer los resultados. Una vez leído y firmado este documento proceden a responder acorde a las instrucciones entregadas por el moderador del experimento. Sus respuestas están en coherencia con la vivencia de percibir el espacio exterior, a través de la ventana acondicionada de acuerdo a cada una de las tres propuestas, de a una a la vez.

Las preguntas se realizan empleando tabla de diferencial semántico (Tabla 1) con los siguientes conceptos: comodidad, confianza, concentración, tranquilidad y sus respectivos antónimos (incomodidad, desconfianza, distracción, intranquilidad).

6	5	4	3	2	1	0
Comodidad						Incomodidad
Confianza						Desconfianza
Concentración						Distracción
Tranquilidad						Intranquilidad



Figura 4. Soportes realizados en impresora 3D UPrint. Fuente: Archivo de proyecto.

Figura 5. Percepción visual desde el interior. De arriba a abajo: vidrio prácticamente incoloro, vidrio rojizo y vidrio amarillento.

Fuente: Archivo de proyecto

Tabla 1. Diferencial Semántico.

Fuente: Elaboración propia

Propuesta	Comodidad (Incomodidad)	Confianza (Desconfianza)	Concentración (Distracción)	Tranquilidad (Intranquilidad)	Suma	Media	% satisfacción
Amarillento	14	15	16	15	60	15	42.25
Cercano a incoloro	11	10	13	13	47	11.75	33.1
Rojizo	10	6	10	9	35	8.75	24.65
TOTALES	35	31	39	37	142	-	100

Tabla 2. Porcentaje de satisfacción. Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis de datos

El procesamiento de los datos recogidos considera el análisis e interpretación utilizando SPSS versión 19[®] y MS. Excel[®], con modelación matricial de la información. Cada ventana acondicionada, en total tres propuestas, recibe cuatro preferencias, una por cada eje semántico. Se ordenan y jerarquizan las puntuaciones obtenidas por las probetas considerando las valoraciones generadas por la frecuencia de aparición de los valores.

Resultados

En cuanto a la correlación descubierta entre emoción y presencia de color, los resultados muestran que los participantes prefieren los aspectos visuales que favorecen la comodidad, confianza y concentración, para generar un lugar agradable. En términos de percepción de color, se puede afirmar que el vidrio amarillento, es el que presenta mayor nivel de preferencias de aceptación emocional y el de menor aceptación es el que presenta tintes rojizos (Tabla 2). La elección privilegiada es el color que evoca la sensación producida por la luz solar, el calor y la energía que invade el espacio. Este resultado probablemente está en coherencia con la necesidad emocional de extender la sensación de luz de verano, en una zona del país en que esta situación es escasa.

Discusión y Conclusiones

Se observa que la adición de sílice a matrices poliméricas de PVA tienden a aumentar ligeramente la densidad de corriente de salida. Se sabe que la componente sílice aumenta el índice de refracción de los materiales, y en el caso específico de este tipo de recubrimientos se observa claramente, ya que la sílice tiende a favorecer el atrapamiento de la luz en la guía de onda, aumentando finalmente el número de fotones que alcanzan las células solares. Será entonces sobre esta tipología de conformación del vidrio, sobre la que se debiera tener el propósito de conseguir el color de mayor preferencia de los usuarios. Si bien se trata de un estudio preliminar, posee coherencia relativa a la emocionalidad de la zona geográfica donde se aplica.

El estudio permite verificar la relevancia del color como elemento de valor para los individuos y orienta la investigación hacia la obtención de un vidrio eficiente, desde el punto de vista tecnológico y emocional. Una decisión de desarrollo para vidrios con tintes rojizos o similares, implicaría que probablemente los usuarios no estén a gusto.

Las emociones con mayor índice de preferencias son aquellas favorables al tipo de acciones que se realiza en el espacio seleccionado. Los hallazgos respaldan la proposición de que el diseño debe ser reconocido como un factor importante en casos de investigación altamente exigentes, en los que debe comparecer la interdisciplina para ofrecer soluciones amistosas con el medio ambiente, pero principalmente con los seres humanos. Esto pone en relieve la necesidad de enfoques en que diversas especialidades convergen para el desarrollo de este tipo de proyectos complejos, incluidas las colaboraciones

activas entre diseñadores industriales, ingenieros químicos y electrónicos, psicólogos, arquitectos, por nombrar algunos de los profesionales involucrados efectivamente en esta investigación.

Los resultados obtenidos dan valor a la importancia de una atención detallada a los componentes visuales que se incorporan en la comunicación del producto en interacción con el usuario. Los efectos y las emociones del color deben tenerse en cuenta al evaluar las reacciones de los usuarios. Sería interesante efectuar muestras más amplias y detalladas, ahora que la metodología de recogida de datos ha sido probada.

Agradecimientos

A todos los colaboradores del proyecto "Smart Window for Zero Carbon Energy Buildings", financiado por el programa ERA-NET LAC (*Latin America, Caribbean and European Union*), código ELAC2014/ESE0146, a través de la Comisión Nacional Científica y Tecnológica de Chile, CONICYT; Ministerio de Economía y Competitividad (Acciones de Programación Conjunta Internacional, PCIN-2015-152), España; *Ministry of Science, Technology and Higher Education* via FCT-The Portuguese National Foundation for Science and Technology (Ref. ERANETLAC/0007/2014), Portugal; Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT), República Dominicana.

Referencias

- Author et al. (2017). Smart windows based on nanoparticles solar concentrators, *Proceedings of 34th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Amsterdam.
- Al-Shukri, A. (2007). Thin film coated energy-efficient glass windows for warm climates. *Desalination*, 209, 290–297.
- Chen, X. (2005). *Relationships between product form and brand: A shape grammatical approach*. Leeds, UK: The University of Leeds.
- Crilly, N., Moultrie, J., & Clarkson, P. J. (2004). Seeing things: consumer response to the visual domain in product design. *Design Studies*, 25(6), 547–577.
- Dalapati, S. M.-P. (2016). Color tunable low cost transparent heat reflector using copper and titanium oxide for energy saving application. *Sci. Rep.*, 6, 20182. doi:doi:10.1038/srep20182.
- Debije, M. & Verbunt, P. (2012). Thirty Years of Luminescent Solar Concentrator Research: Solar Energy for the Built Environment, *Advanced Energy Materials* 2(1),12-35.
- Desmet, P.M.A., & Hekkert, P. (2007). Framework of product experience. *International Journal of Design*, 1(1), 57-66.
- Desmet, P.M.A., & Sääksjärvi, M.C. (2016). Form matters: Design creativity in positive psychological interventions. *Psychology of Well-Being: Theory, Research and Practice*, 6:7.
- EP-CEU. (2010, May 19). Directive 2010/31 on the energy performance of buildings. *The European Parliament and the Council of the European Union*. Retrieved February 18, 2006, from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>
- Fenko A, Schifferstein HN J, Hekkert P. (2008). Which senses dominate at different stages of product experience? *Design Research Society Conference 2008*. Sheffield Hallam University. Sheffield, RU. 289-302.
- Fenko A, Schifferstein HN J, Hekkert, P. (2011). Noisy products: Does appearance matter?. *International Journal of Design*, 5(3): 77-87.
- Fiore, A., Kimle, P. (1997). *Understanding aesthetics for the merchandising and design professional*. Fairchild, New York.
- Fokkinga, S., & Desmet, P. (2012). Meaningful mix or tricky conflict? A categorization of mixed emotional experiences and their usefulness for design. *Proceedings of 8th International Design and Emotion Conference London 2012 Central Saint Martins College of Art & Design*, 11-14 September 2012.
- Gallo A., Téllez Molina B., Prodanovic M., González Aguilar J., Romero M. (2014). Analysis of net Zero-Energy Building in Spain. Integration of PV, solar domestic hot water and air-conditioning systems, *Energy Procedia* 48, 828–836.
- Hardy, D.A., Blekastad, S., Kerrouche, A., Roaf, S.C., & Richards, B.S. (2012). Creative use of BIPV materials: barriers and solutions. *Proceedings of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Messe Frankfurt, Frankfurt, Germany.

- Hekkert P, Schifferstein, HNJ. (2008). Introducing product experience. En Schifferstein HNJ, Hekkert P (Eds.) *Product Experience*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 1-8.
- Howes, P. D., Wongsiriruksa, S., Laughlin, Z., Witchel, H.J., & Miodownik, M. (2014). The perception of material through oral sensation. *Plos One*, 9(8).
- Karana, E., & Hekkert, P. (2010). User- material-product interrelationships in attributing meanings. *International Journal of Design*, 4(3), 43-52. 43 pp.
- Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2014). *Materials Experience: Fundamentals of Materials and Design*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Knapp, M. (1980). *Essentials of nonverbal communication*. Nueva York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Kurnitski J., Allard F., Braham D., Goeders G., Heiselberg P., Jagemar L., Kosonen R., Lebrun J., Mazzarella L., Railio J., Seppänen O., Schmidt M., & Virta M. (2011). How to define nearly net zero energy buildings nZEB- REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast, *REHVA-Journal*, 6-12.
- Mamaghani, N.; & Mostowfi, S. (2016). Kansei Engineering and environmental design. *International Journal of Environmental Sciences*, Volume 6, No 5.
- Muller, W. (2001). *Order and meaning in design*. Utrecht, The Netherlands: Lemma Publishers
- 10 Nagamachi, M. (1995). Kansei engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15, pp. 3-11.
- National Institute of Buildings Sciences (NIBS). (2015). *A Common Definition for Zero Energy Buildings*. Washington: US Department of Energy.
- Norman, D. (2005). *El Diseño Emocional. Por qué nos Gustan (o no) los Objetos Cotidianos*. Paidós. Barcelona, España. 279 pp.
- Özcan, E., & van Egmond, R. (2009). The effect of visual context on the identification of ambiguous environmental sounds. *Acta Psychologica*, 131(2), 110-119.
- Özcan, E., Cupchik, G. C., & Schifferstein, H. N. J. (2017). Auditory and visual contributions to affective product quality. *International Journal of Design*, 11(1), 35-50
- Prodintec. (2006). *Diseño Industrial*. Guía Metodológica Predica. Asturias, España.
- Research EU, Results Magazine (2017). "Sensite" buildings adapt to change, 65, 35.
- Rognoli, V., & Levi, M. (2005). *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, Milano: Polipress.
- Rognoli, V. (2010). A broad survey on expressive-sensorial characterization of materials for design education. *METU Journal of The Faculty of Architecture*, 27(2), 287-300.
- Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A. J., Pless, S., Torcellini, P., & Voss, K. (2010). Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. Proceedings of EuroSun 2010: *International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings*.
- Strong S. (2011). Building Integrated Photovoltaics (BIPV). [en línea]. Disponible en: <https://www.wbdg.org/resources/bipv.php>.
- Schifferstein, H. N. J., & Hekkert, P. (2011). Multisensory aesthetics in product design. In F. Bacci & D. Melcher (Eds.), *Art and the senses* (pp. 529-555). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Schuller, S.M., & Parks, A.C. (2014). The science of self-help: translating positive psychology research into increased individual happiness. *Eur Psychol*, 19(2), 145-55.
- Tractinsky, A.S. & Katz, D. (2000). What is beautiful is usable. *Interacting with Computers* 13, 127-145.
- Tsoi, S. (2012). *Structured luminescent solar energy concentrators: a new route towards inexpensive photovoltaic energy*, (Doctoral Thesis), Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Valencia, A., Mugge, R., Schoormans, J. P. L., & Schifferstein, H. N. J. (2014). Challenges in the design of smart productservice systems (PSSs): Experiences from practitioners. In E. Bohemia, A. Rieple, J. Liedtka, & R. Cooper (Eds.) *Proceedings of 19th Conference of DMI: Academic Design Management Conference*. Boston, MA: DMI.
- Villanueva, J., Sampedro, A., de Ávila, I., & González, D. (Eds.) (2013). *Aplicación de Técnicas de Ingeniería Afectiva, Micromecanizado y Fabricación Aditiva al Diseño de Texturas Capaces de Transmitir Sentimientos y Emociones Predefinidas*. Gijón, España: Fundación Prodintec.
- Voss, K., & Musall, E. (2012). *Net Zero Energy Buildings: International projects of carbon neutrality in buildings*. Karlsruhe: ENob.
- Weber, W. & Lambe, J. (1976). Luminescent greenhouse collector for solar radiation, 15(10), 2299-2300. <https://doi.org/10.1364/AO.15.002299>