

# DISEÑO DE UNA PIEL ESTRUCTURADA INTELIGENTE PARA CAPTAR LA ENERGÍA SOLAR: EXPERIENCIA DE COOPERACIÓN INTERDISCIPLINARIA INTERNACIONAL

Jimena Alarcón Castro, Paula Sánchez-Friera, Helena Aguilar y Andrea Llorens Vargas

## RESUMEN

*Este trabajo evidencia la trascendencia del trabajo colaborativo interdisciplinario para abordar una investigación altamente tecnológica, pero a la vez observante del usuario. Se presentan fases del proceso necesario para el diseño innovativo para la generación de una piel estructurada para recubrir fachadas de edificios para capturar la luz solar y convertirla en energía. La propuesta aporta al concepto de edificios cero-energía y aborda aspectos de adaptabilidad constructiva para adosamiento a edificaciones existentes o nuevos proyectos arquitectónicos, incorporando elementos electrónicos y vidrios fotovoltaicos con concentradores solares luminiscentes en una estructura de soporte. Las diferentes especialidades, así como la colaboración entre academia y centros tecnológicos, es coordinada en base a una metodología de entrecruzamiento de información, cuyos enfoques*

*y propuestas son organizadas a partir de un proceso metodológico de diseño estándar. Finalmente, se genera un modelo sistémico integrado replicable, favorable a la realización de acciones coordinadas de disciplinas diametralmente diferentes desde una declaración de roles y conocimiento de las capacidades de cada una, donde la actuación del diseñador consiste, por una parte, en idear propuestas acordes a los requerimientos del proyecto y, por otra, en realizar acciones tales como compilar, jerarquizar, integrar, armonizar y sintetizar los aportes teóricos y empíricos. Se concluye respecto de la necesidad de establecer parámetros para el trabajo conjunto en ámbitos de desarrollo complejos y las capacidades que el diseñador ha de sostener en términos de concebir el producto y gestionar armónicamente las acciones requeridas para llegar a un resultado investigativo óptimo.*

## Introducción

La presente investigación se desarrolla en el contexto del proyecto *Winner: Smart Window for Zero Carbon Energy Buildings*, financiado por el programa ERA-NET LAC e implementado a través de un consorcio internacional con socios tanto en Europa como en América Latina y el Caribe, con el objetivo de desarrollar un sistema de ventanas fotovoltaicas con concentradores solares luminiscentes, favorable al concepto de edificios cero-energía (ZEB; *Zero-Energy Building*). El programa surgió para promover e integrar aspectos sustentables en las edificaciones (MMA *et al.*, 2013), basado en combinar acciones de eficiencia energética e in-

tegración de sistemas de generación renovable. Con un considerable número de ventajas a largo plazo los ZEBs, incluyen un menor impacto ambiental, reduciendo el uso de energías no renovables, los costos de operación y mantenimiento y las interrupciones del servicio en caso de desastres naturales, además de introducir mejoras en el sistema de seguridad energética (NIBS, 2015). Aproximadamente el 40% de la energía mundial se consume en edificios (IEA, 2017), situación que aumenta rápidamente debido a la gran cantidad de artefactos eléctricos, al incremento de la población mundial y al grado de urbanización cada vez más extendido. Existe una necesidad urgente de implementar un uso de la energía

sostenible e invertir en eficiencia energética, pues es la manera más rentable y racional de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esto ha llevado a los gobiernos a lanzar iniciativas y aprobar legislaciones específicas para alcanzar este objetivo. La Comunidad Europea pretende aplicar a partir de 2020, en todos los edificios nuevos y en los existentes estatales, el concepto de 'edificios casi-cero energía' (EP-CEU, 2010); mientras que en los países latinoamericanos y caribeños también se están promoviendo líneas estratégicas y políticas que incentiven el uso de las energías renovables, así como el consumo racional de la energía, a través del uso de fuentes endógenas (Bernardelli, 2010). Para favorecer el

rendimiento energético de una edificación existen varios caminos; una posible alternativa se fundamenta en la combinación de componentes constructivos con nuevas prestaciones que permitan la iluminación natural, entreguen una energía limpia y gratuita, reduciendo pérdidas de transporte y conversión, además de atenuar el consumo energético y el impacto ambiental sin instalaciones agregadas. De este modo se podría conservar la fisonomía de las edificaciones y, a la vez, incrementar su desempeño durante toda su vida útil (Torcellini, *et al.*, 2006).

El proyecto *Winner*, se ha enfocado en el diseño de una piel estructurada inteligente, que favorece la eficiencia energética del edificio, haciendo

**PALABRAS CLAVE / Edificios cero-energía / Interdisciplinar / Proceso de diseño / Trabajo colaborativo / Ventana inteligente /**

Recibido: 12/06/2018. Modificado: 15/10/2018. Aceptado: 19/10/2018.

**Jimena Alarcón Castro.** Doctora en Gestión del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia, España. Académica, Universidad del BíoBío (UbioBío), Chile. Dirección: Departamento Arte y Tecno-

logías del Diseño, UBioBio. Avenida Collao 1202, Concepción, Chile. e-mail: jime-naal@ubiobio.cl

**Paula Sánchez-Friera.** Ph.D. en Física de la Materia Condensada, University of York, RU.

Investigadora, Centro Tecnológico PRODINTEC, España. Docente, Universidad de Andalucía, España.

**Helena Aguilar.** Doctora en Ingeniería Química, Universidade do Porto, Portugal. Investigadora,

Centro de Nanotecnologia e Materiais Inteligentes, Portugal.  
**Andrea Llorens Vargas.** Magister en Construcción en Madera, UbioBío, Chile. Investigadora, UbioBío, Chile.

## DESIGN OF A SMART STRUCTURED SKIN TO CAPTURE SOLAR ENERGY: AN EXPERIENCE OF INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY COOPERATION

Jimena Alarcón Castro, Paula Sánchez-Friera, Helena Aguilar and Andrea Llorens Vargas

### SUMMARY

*This paper demonstrates the relevance of collaborative interdisciplinary work to address technological research, as well as observing the user's viewpoint. Necessary process stages are presented for the innovative design to generate a structured layer for building facades, capturing sunlight to convert it into energy. The proposal contributes to a zero-energy building concept addressing constructive adaptability aspects to be included in existing buildings or new architectural projects, incorporating electronic elements and photovoltaic glass with luminescent solar concentrators in a supporting structure. Different specialties and the collaboration between academia and technology centers are coordinated under a crossed information methodology, where approaches and proposals are arranged in a stan-*

*dard methodological process. Finally, a replicable integrated systemic model is generated, favoring the coordinated actions of diametrically different disciplines, from a statement of roles and the knowledge of capacities for each one. The designer's performance consists both in the ideation of appropriate proposals based on the project requirements, and the execution of actions, like compiling, hierarchizing, integrating, harmonizing and synthesizing both theoretical and empirical contributions. It is concluded about the need to establish parameters for joint work in complex development environments, and the capabilities required from a designer regarding conceiving the product and managing harmoniously the actions necessary to reach an optimal result of research.*

## DESENHO DE UMA PELE ESTRUTURADA INTELIGENTE PARA CAPTAR A ENERGIA SOLAR: EXPERIÊNCIA DE COOPERAÇÃO INTERDISCIPLINAR INTERNACIONAL

Jimena Alarcón Castro, Paula Sánchez-Friera, Helena Aguilar e Andrea Llorens Vargas

### RESUMO

*Esta pesquisa evidencia a transcendência do trabalho colaborativo interdisciplinar para abordar uma investigação altamente tecnológica, é ao mesmo tempo observante do usuário. Apresentam-se fases do processo necessário para o desenho inovativo de uma pele estruturada para recobrimento de fachadas de edifícios que possa capturar a luz solar e transformá-la em energia. A proposta contribui com o conceito de edifícios zero-energia e aborda aspectos de adaptabilidade construtiva para aplicar em edificações existentes ou em novos projetos arquitetônicos, incorporando elementos eletrônicos e vidros fotovoltaicos com concentradores solares luminescentes em uma estrutura de suporte. A coordenação das diferentes especialidades, assim como a colaboração entre academia e centros tecnológicos, é baseada em uma metodologia de entrecruzamento de informação, cujos enfoques*

*e propostas são organizados a partir de um processo metodológico de desenho padrão. Finalmente, é gerado um modelo sistêmico integrado replicável, favorável à realização de ações coordenadas de disciplinas diametralmente diferentes a partir de uma declaração de responsabilidades e conhecimento das capacidades de cada uma, onde a atuação do desenhador consiste, por uma parte, em idealizar propostas compatíveis com os requerimentos do projeto e, por outra, em realizar ações tais como compilar, jerarquizar, integrar, harmonizar e sintetizar as contribuições teóricas e empíricas. Conclui-se a respeito da necessidade de estabelecer parâmetros para o trabalho conjunto em âmbitos de desenvolvimento complexo e as capacidades que o desenhador deve sustentar de forma a conceber o produto e gerenciar harmonicamente as ações requeridas para atingir um resultado investigativo ótimo.*

uso de dos tecnologías integradoras con doble funcionalidad. Por una parte, incorpora concentradores solares luminiscentes (LSC) con películas de reflexión infrarrojo (IR) para mejorar la eficiencia de conversión de energía con capacidad de redirigir parte de la radiación incidente (Kurnitski *et al.*, 2011); por otra parte, incluye tecnología fotovoltaica hacia el perímetro de cada unidad que compone el sistema, en el que se encuentran ensambladas células fotovoltaicas para generar parte de la energía eléctrica requerida por el edificio. De esta manera se contribuye a la climatización inteligente del edificio, reduciendo las necesidades energéticas especialmen-

te en zonas de climas cálidos, de manera de convertir las fachadas energéticas pasivas de edificios urbanos en energía efectiva y, al mismo tiempo, promover el confort visual y térmico del edificio, reduciendo la demanda de aire acondicionado.

En este proyecto colaborativo, en el que se conjugan diversas competencias, el proceso de diseño industrial ha sido fundamental como guía para su desarrollo, pues se constituye como un proceso creativo, tecnológico y multidisciplinar orientado a la creación de nuevos productos, en el cual las disciplinas copartícipes se integran desde un concepto de diseño colaborativo, referido a la resolución colectiva de proble-

mas. La investigación se basa en la búsqueda de soluciones interdisciplinarias que consideren el conocimiento de diversos campos para comprender las problemáticas y entregar soluciones integrales (Green *et al.*, 2015). Por interdisciplina entendemos que saberes, experticias y técnicas procedentes de diferentes áreas del conocimiento se entrecruzan para originar y desarrollar una experiencia nueva, una innovación, una creación distinta a lo que proviene de las disciplinas en forma aislada (Pirinen, 2016). Cuanto más diversos sean los modos de pensamiento utilizados por un investigador, mayor será el potencial de descubrimiento. El poder de la in-

vestigación interdisciplinaria radica en su capacidad para fomentar la diversidad de pensamiento y, por lo tanto, para aumentar las posibilidades del explorador de hacer conexiones creativas acudiendo más allá de la información dada. En esta medida, el diseño interdisciplinario se consume a través de concurrencia de distintas áreas, implicadas para concebir un proyecto definido que da respuesta a problemas complejos y que, además, involucra un concepto equivalente que lo unifica (Aranda-Jan *et al.*, 2016). En este proceso intervienen muchos factores culturales, humanísticos, constructivos y técnicos, por lo que el proyecto es desarrollado por un equipo

en el que el diseñador asume el papel de gestor y sintetizador de todo el proceso, puesto que “las ideas exitosas requieren una mezcla de talentos que raramente se encuentra en una persona” (Light, 2006: 48).

En el diseño de productos de alta exigencia, como en este caso, se da un paso decisivo para la cooperación interdisciplinaria: todas las disciplinas involucradas en el proceso de la investigación tienen un problema en común y persiguen su solución, entendiéndola también como un medio para resolver problemas y responder preguntas que no pueden ser satisfechas con un solo método o enfoque. En definitiva, el trabajo colaborativo organizado es un buen y necesario punto de partida para obtener resultados óptimos, ya que garantiza una correcta visión del objetivo común (Ostergaard y Summers, 2009).

Repko (2008) resume los pasos del proceso de investigación interdisciplinaria: 1) identificar disciplinas relevantes; 2) desarrollar una adecuación entre las disciplinas relevantes; 3) analizar el problema, evaluando cada idea, identificando conflictos en los puntos de vista, creando (o descubriendo) un terreno común, integrando ideas; y 4) producir una comprensión interdisciplinaria. Después de haber reunido los conocimientos disciplinarios pertinentes, el investigador interdisciplinario debe entonces examinar críticamente cada componente, ejercitar habilidades de pensamiento crítico como distinguir supuestos de argumentos y evidencias. La investigación interdisciplinaria puede recurrir a múltiples estrategias para la crítica; entre ellas, preguntar cómo una visión puede haber sido moldeada por una perspectiva disciplinaria particular, por las teorías y los métodos utilizados por esa disciplina, o podría haber sido diferente si la disciplina en cuestión hubiera sido examinada desde un conjunto más amplio de fenómenos. Debe cuestionarse si los conocimientos de una disciplina apuntan a posibles debilidades en las

ideas de otra disciplina y resolver dudas respecto de si algún entendimiento de fuera de la academia apunta a una posible debilidad en una visión disciplinaria (Newell; 2007). Otro aspecto importante es que la evaluación se puede desarrollar sin la necesidad de ser experto en cada disciplina en este aspecto, todo trabajo colaborativo requiere de una armonización de los procesos, estrategias y herramientas que permitan aportaciones desde la experiencia y conocimiento de cada integrante, una participación y comunicación en la que se requiere también empatía en el proceso creativo e investigativo (Fleischmann, 2013). Es así como el rol del diseñador competente constituye un eslabón clave para garantizar la correcta coordinación de ideas y desarrollos desde una mirada integradora, aportando habilidades únicas que complementen el sesgo de los tecnólogos hacia la funcionalidad y una experiencia usuaria grata (Schueller y Parks, 2014).

En este escenario, el diseñador es uno más de los especialistas del equipo y, según la envergadura del tema, deberá colaborar con todos los profesionales y establecer en concreto una relación interdisciplinaria, mediante intercambios de información en el momento oportuno y con la utilización de una terminología práctica y coherente (Quarante, 1992). Expertos en gestión han propuesto que las personas con mayores habilidades de asociación, observación, cuestionamiento, capacidad de experimentación y creación de redes, son más propensas a innovar, generando mayores contribuciones a la productividad (Overmars y Poels, 2015). El diseñador, además de estar involucrado en la gestión del diseño que requiere de sus habilidades de liderazgo, negociación, toma de decisiones, dirección, relaciones personales, administración de recursos, trabajo en equipo, entre otros, debe saber gestionar el trabajo en equipo y la asignación de tareas a los profesionales adecuados (Estupiñan,

2010). Requiere una capacidad general para mirar las cosas desde diferentes perspectivas, dado que los equipos interdisciplinarios a menudo se enfrentan a situaciones nuevas, por lo que también deben saber cómo aprender y obtener resultados positivos (Desmet y Sääksjärvi, 2016). Necesita saber qué información pedir y cómo adquirir un trabajo, conocimiento, conceptos, información y habilidades analíticas pertinentes a un determinado problema, proceso o fenómeno. Su rol es reflexionar, sintetizar y lograr articular todo el trabajo focalizado al producto y los objetivos, con cierto acento por especialidad. Algo parecido a lo que hace un director de cine con su potencial creativo de nuevas ideas, que produce su visión, pero coordinando una serie de talentos y recursos que no podría obtener solo mediante su performance (Ceppi, 2005).

### Enfoque metodológico

Por la complejidad y heterogeneidad de los factores involucrados en el proyecto Winner, el proceso de diseño ha debido gestionarse desde la base de la colaboración y cooperación, entendiéndose que básicamente se refiere a co-laborar, que es trabajar con otras personas y co-operar, que significa contribuir a una tarea colectiva, asociarse con una meta común, percibiendo que el diseño colaborativo es un proceso de generación de ideas multidisciplinares (Martin-Iglesias, 2011). Su particularidad es que permite que una amplia gama de disciplinas y partes interesadas converjan para unirse en un resultado. En este sentido, podemos visualizar la necesidad de generar una evolución en el diseño como campo disciplinar, trazando un cambio hacia un diseño integral, interdisciplinario y participativo, basado en una combinación de las habilidades de diseño tradicionales para abordar desafíos con una mirada globalizada, donde los métodos centrados en el usuario se vuelven relevantes para el desarrollo de

la innovación, en la medida que la orientan hacia resultados más acertados desde el punto de vista de la percepción de los individuos (Özcan y van Egmond, 2009; Karana, *et al.*, 2015; Özcan, *et al.*, 2017). La experiencia perceptual del mundo ocurre desde un modo sensorial, afectivo y simbólico (Lenay, 2010), existiendo investigaciones que prueban que algunas caracterizaciones superficiales implementadas en objetos de consumo de distintas funcionalidades, son percibidas bajo iguales o similares valoraciones por los usuarios (Fenko *et al.*, 2011). Esta perspectiva viene a validar la pertinencia de la realización de estudios usuarios como apoyo para las decisiones de los diseñadores. Es así como a la presente investigación se han incorporado estudios del campo de la ingeniería afectiva, para conocer las reacciones de los usuarios frente a determinados estímulos y optar por las respuestas formales y de interacción más acorde a sus expectativas. Según algunos autores (Desmet y Hekkert, 2009; Schifferstein y Hekkert, 2011) los diseñadores pueden influir en las emociones provocadas por sus diseños.

Por otra parte, está el asunto del dominio tecnológico, altamente exigente en un escenario donde el valor del diseño industrial ha propuesto varios desarrollos desde este campo para la innovación (Gemser y Leenders, 2011; Gemser *et al.*, 2011; Tournois, 2016). En consideración a este aspecto, los esfuerzos de la investigación se han orientado a coordinar los avances de cada especialidad para la consecución de un resultado óptimo. Así, el tamaño del vidrio, de los componentes tecnológicos, las capacidades productivas y las preferencias de los usuarios han constituido un gran desafío para el desarrollo coherente del diseño.

### Material y Método

El modelo metodológico desarrollado se denomina ‘sistema integrado’ pues es favorable a la realización de

acciones coordinadas entre disciplinas diametralmente diferentes desde una declaración de roles y conocimiento de las capacidades de cada una y, además, toma como referencia al proceso de diseño convencional e integra ordenadamente y desde las capacidades de cada investigador, las acciones que cada uno comprometerá. El modelo (Figura 1) está comprendido por siete etapas basadas en la propuesta de Pro dintec (2006): 1) Definición Estratégica, comprende la definición de qué se va a hacer y su planificación, necesidades que se cubrirán, características de los usuarios y ventajas respecto de la competencia. 2) Diseño de Conceptos, referido al análisis y creatividad, generando diferentes conceptos del producto a partir de toda la información disponible y de la creatividad del equipo de diseño; propone alternativas para su posterior elección y concluye con la selección de la propuesta más acertada a las limitaciones y objetivos marcados. 3) Diseño de Detalle, comprende el desarrollo de la alter-

nativa elegida, determinando las especificaciones técnicas para fabricar el producto, incluyendo planos y especificación de materiales. 4) Producción, consiste en la preparación para la fabricación en serie, implica la puesta en marcha del sistema productivo, mediante el diseño de la cadena de producción y montaje. 5) Comercialización, apunta a las decisiones relativas a la distribución y correcto posicionamiento del producto en el mercado. 6) Mercado, contempla la definición de las estrategias de comercialización. 7) Sustentabilidad, asociada a la posibilidad de que el producto mantenga sus condiciones óptimas en el tiempo cumpliendo los objetivos trazados.

Es así como en la etapa 1 se definió la realización de un diseño de ventana inteligente con capacidad para adaptarse en diferentes ángulos para captar la energía solar de manera eficiente y acorde a diversas zonas geográficas. Además, se exploraría la posibilidad de generar especies de prótesis que permitieran una

adaptación a ventanas instaladas en edificaciones existentes. La idea es generar un producto compuesto de dos partes para tener mejores actuaciones de mercado, entregando la posibilidad de adquirir un kit de ventana completo para posibilitar la integración posterior del componente captador de energía solar.

Las disciplinas implicadas, Diseño Industrial incluyendo la especialidad Multimedia, Arquitectura, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Química y Psicología han estado presentes en todo el proceso de diseño, aun cuando en algunas etapas se han diferenciado por la influencia de sus resultados sobre el trabajo de las otras disciplinas. Por ejemplo, durante las etapas 1 y 2, fue muy importante la coordinación de Diseño Industrial con Arquitectura debido a que, si bien el encargo original consistió en el diseño una ventana inteligente, debido a los hallazgos obtenidos por el equipo de arquitectos, referidos a estándares de rendimiento asociados a ubicación en fachadas, zona geo-

gráfica y extensión de la superficie receptora de energía, el diseño debió ser orientado a la obtención de un sistema de ventanas inteligentes y no al diseño de una unidad individual autónoma. Es así como nació el concepto de sistema de piel estructurada inteligente, que da lugar a un sistema modular captador de energía solar, para ser sobrepuesto en edificaciones existentes o nuevos proyectos arquitectónicos, diseñando un módulo que lo configura, integrando vidrio fotovoltaico y sistema electrónico (Figura 2).

Desde el punto de vista metodológico (Milton y Rodgers, 2013), la etapa de Definición Estratégica (1), estuvo asistida por métodos tales como árbol de problemas, para la tipificación de objetivos estratégicos, y *brainstorming*, técnica que conlleva el trabajo de grupo en el que cada integrante aporta con ideas a esta producción, para la búsqueda dinámica de soluciones. Ambas son algunas de las herramientas fundamentales de la planificación de proyectos. La etapa de Diseño Conceptual (2), estuvo marcada por una variedad de propuestas iniciadas en el boceto y concluidas en pruebas de impresión 3D, para ajustar geometrías y experimentar decisiones de usabilidad. Es en esta fase donde expertos del área de psicología apoyan en la aplicación de estudios kansei (Mamaghani y Mostowfi, 2016) para conocer las emociones que las propuestas causan en los individuos respecto de su apariencia y usabilidad. Metodológicamente, instrumentos tales como mapa del producto, un esquema visual que organiza y encauza el estado del arte y le

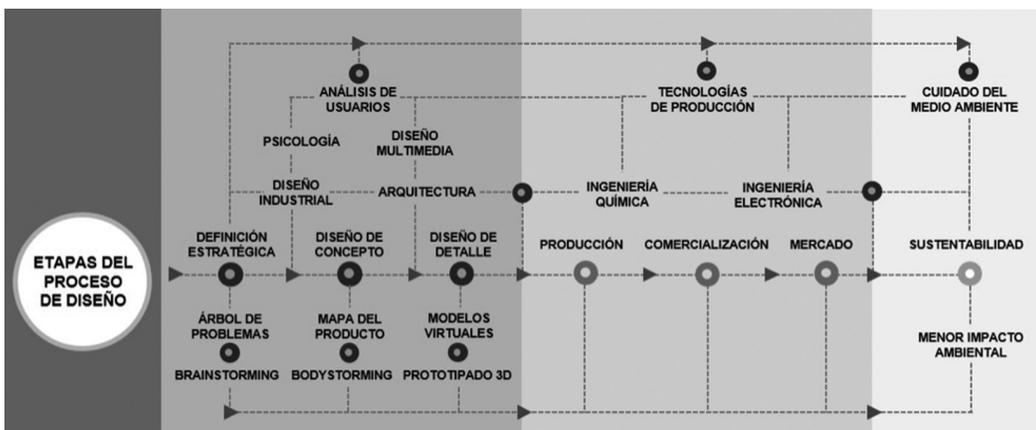


Figura 1: Modelo metodológico ejecutado para el desarrollo del proyecto. Basado en Pro dintec 2006.

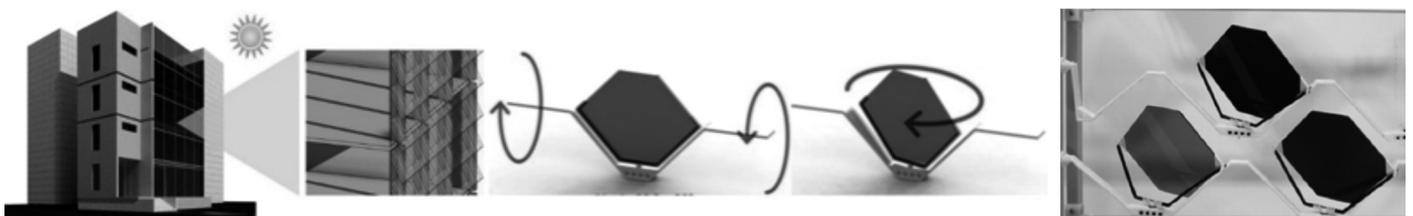


Figura 2: Idea conceptual piel estructurada inteligente.

da sustento a la definición teórica del producto; y *bodys-torming*, práctica de la cual nacen nuevas ideas a partir de empirismos vivenciados con el cuerpo, son relevantes en un proceso iterativo para concebir un producto conceptualmente diferente. Todo el colectivo interdisciplinario de profesionales debe formar parte de la definición estratégica y conceptualización, es decir, del proceso creativo, de modo de proponer y evaluar la factibilidad de las propuestas desde su disciplina, para hacer aportes a las otras desde su particular experticia. Para la etapa de Diseño de Detalles (3) cobran importancia el desarrollo de planimetría, modelos virtuales y elaboración de prototipos en impresora 3D, para comprobar atributos y funcionamiento del conformado de las partes y piezas. Además, existen definiciones del vidrio, sus rendimientos y colores (Dalapati, 2016), mientras que el diseño electrónico se concentra en un diseño compacto y ligero.

El estudio de usuario que comprende la etapas 2 y 3, Diseño Conceptual y Diseño de Detalle, se focaliza en tres objetivos: identificar las preferencias y necesidades de los usuarios para lograr una interacción visual efectiva con la propuesta y el nivel de impacto visual en la emisión de sombras y colores no habituales; evaluar las preferencias de los usuarios en relación a la percepción de los individuos basada en sus emociones y ponderaciones acerca de la propuesta; y, finalmente, medir las preferencias de usabilidad, determinando cómo se debe accionar un producto inteligente. Es aquí donde el Diseño Multimedia asume el rol de realizar *rendering* y fotomontajes para visualizaciones virtuales muy usadas para realizar estudios usuarios y comprobaciones perceptuales complementarias al proceso de maqueteo en 3D.

Hasta aquí el rol del diseñador es integrador y transversal, ya que coordina los diversos desarrollos diseñando un sistema de piel inteligente estruc-

turada que debe acoger un vidrio altamente tecnológico y un sistema electrónico en un diseño que, además de cumplir su función práctica (Löbach, 2001), debe ser agradable perceptualmente y estar a la altura de una usabilidad fácil, pero también acorde a la semántica del producto. La etapa de Producción (4), ha sido especulativa, revisando conceptos de personalización masiva, que es una manera innovadora de fabricar adaptando los productos a las necesidades del consumidor final con estrategias centradas en el cliente, la innovación, logística y sostenibilidad, lo que involucra bajar costos. Desde este punto de vista, se observan las etapas de Comercialización (5), Mercado (6) y Sustentabilidad (6). Estos tres aspectos están aún en desarrollo en el proyecto Winner; sin embargo, es necesario recalcar que el cuidado del medio ambiente está centrado en desarrollar una tecnología que se dirige a promover los edificios cero-energía, con un producto de menor impacto ambiental, que reduce el uso de energías no renovables, que genera energía, incentiva el auto consumo y reduce los costos de operación.

De esta manera el diseño, lugar por excelencia del pensamiento proyectual, utiliza múltiples y diversos ingenios creativos aplicados para nutrirse de información que genera propuestas inéditas, teniendo un rol preponderante como precursor de la innovación. El diseñador de productos debe mantener esta habilidad, a la vez que reinventarse desde el rol de gestor de proyectos, ideas y procesos interdisciplinarios.

## Resultados

Desde el punto de vista del rol del diseñador, el resultado consiste en la confirmación de la necesidad de potenciar habilidades investigativas individuales e interdisciplinarias, conjuntamente con las creativas. Acceder al conocimiento, metodológica y sistemáticamente, requiere del aprendizaje de herramientas y métodos impres-

cindibles para un trabajo conjunto con otras disciplinas. El diseñador requiere de un pensamiento y accionar integrador, por lo que su capacidad para entender y comunicar es imprescindible. En esta medida, el primer resultado obtenido es un modelo metodológico integrado replicable para el trabajo colaborativo interdisciplinario basado en el proceso de diseño industrial, que servirá de guía para futuras investigaciones de esta tipología. Desde el enfoque transversal del diseño, hacia la interdisciplinariedad, se ha logrado un producto que aún se encuentra en su fase de prototipo. En este proceso se han distribuido las labores para responder a los encargos de la generación de partes y piezas para montar el prototipo final.

Se elaboraron tres propuestas de vidrios fotovoltaicos integrando concentradores solares luminiscentes (LSC) en el vidrio para una efectiva captación de la radiación solar, tecnología fotovoltaica para generar energía de autoconsumo, con un peso apropiado para la estructura de soporte, con tres tipos de transparencia y color.

La eficiencia general ( $\eta$ ) de los sistemas DSSC (*dye sensitized solar cell*) y LSC-PV (*luminescent solar concentrator-photovoltaic*) se evaluó en términos de voltaje de circuito abierto (Voc), densidad de corriente de cortocircuito (Jsc) y factor de llenado (FF). La Jsc más alta de 18,13mA·cm<sup>-2</sup> obtenida del DSSC recubierto con Eu3+/PVA/20. La formulación de %SiO<sub>2</sub>/PMMA (un aumento del 18,3% en comparación con la célula no recubierta) sugiere un efecto sinérgico del ion lantánido (efecto de conversión descendente) y la dispersión de la luz, características J-V de los DSSC que destacan el efecto de los recubrimientos luminiscentes Eu3+/VA/PMMA/SiO<sub>2</sub> sobre la densidad fotocorriente de la célula solar. Aunque mejora el rendimiento del atrapamiento de luz en los LSC de configuración plana, múltiples efectos de dispersión impartidos por SiO<sub>2</sub> parecen contribuir a las pérdidas ópticas dentro del concentrador,

reduciendo la densidad de fotocorriente del sistema LSC-PV (de 3,63 a 3,00mA·cm<sup>-2</sup> para Nd3+/Yb3+ y de 2,64 a 2,33mA·cm<sup>-2</sup> para Eu3+, respectivamente). Por otro lado, esto solo se observó en presencia de luminóforos, ya que la adición de sílice a matrices poliméricas de PVA o PMMA tendía a aumentar ligeramente la densidad de corriente de salida. Se sabe que la sílice aumenta el índice de refracción de los materiales, y en el caso específico de los recubrimientos de PVA y PMMA esto 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. Cuando se agrega sílice a la guía de onda polimérica en presencia de luminóforos, parece que la sílice y los luminóforos compiten en la absorción de la radiación solar. Además, la sílice no emite luz, lo que también explica su contribución a la disminución de la densidad de fotocorriente del sistema LSC-PV. Los ingenieros electrónicos generaron un sistema de bajo peso y volumen que se integró en la estructura ahuecada del sistema de piel estructurada, con rendimientos que se estudian hoy mediante pruebas de laboratorio. Finalmente, el resultado formal consiste en una piel estructurada inteligente, capaz de acomodarse a la mejor captación de energía, a través del movimiento de módulos. Éstos poseen una forma romboidal con seis bordes, para favorecer la distribución de masa acorde al ahorro de energía en su movimiento. Mejora de la aerodinámica en presencia de vientos laterales debido a la superposición generada en la posición del ángulo y disminución de la generación de sombra entre ellos. La forma romboidal con dos puntas truncadas deriva del cuadrado convencional, en este caso de 304x304mm. Este cuadrado está dispuesto en 45° y las esquinas superior e inferior se han truncado, ya que al solaparse con los módulos superiores estos puntos forman

una sombra. La forma romboidal permite que la distribución de la masa cristalina sea óptima para ser movida, ya que concentran el peso alrededor del eje de rotación, reduciendo la resistencia que el módulo genera al moverse y requiriendo menos energía y fuerza para moverlos. Esta misma geometría permite reducir las sombras generadas por los mismos módulos cuando se solapan con un ángulo de 60°. Una vista normal plana de los vidrios en un ángulo de 60° es la posición en la que reciben el sol perpendicularmente, un espacio utilizado por los módulos que cubren la superficie total disponible para recibir los rayos solares. Este giro ha sido probado en prototipos de impresión 3D, logrando el movimiento proyectado.

Desde el punto de vista energético se realizaron estudios con software y prototipo. El primero, plantea un modelo de estudio simulado con el programa *Design Builder*, edificio rectangular horizontal de 8x18m de extensión este-oeste, con cuatro niveles de 3m de altura y un zócalo de 1m, considerando planta, servicios, escalera y elevadores en un extremo, además de una planta libre para escritorios, con una superficie total de 385m<sup>2</sup>. Se consideran 120m<sup>2</sup> de ventanas continuas en los extremos de las cuatro plantas y la fachada norte que es la más soleada, además de adosamiento en un extremo y un edificio cercano posterior. Las simulaciones se consideran determinando una utilización de lunes a sábado de 10a.m. a 4p.m., es decir, 30h semanales para una demanda de 86,5k Wh·m<sup>-2</sup>/año, equivalente a los valores registrados en la zona para este tipo de edificio. La producción energética calculada con el software PVSyst en el modelo de estudio situado en Santiago de Chile, con paneles de eficiencias de 1 y 4%, y diversos ángulos de inclinación, expresan una producción de 5,6 a 41,6% de la demanda total de 16.258,55kWh, o, también, de 12,7 a 93,7% de los requerimientos de iluminación de 7.230,3kWh, es decir, una gene-

ración relevante para el uso normal del edificio. Los rendimientos según inclinación del vidrio recolector a los 30° produce la mayor cantidad de energía, decreciendo notablemente hacia la vertical. Este ángulo se aproxima a la latitud 33°, permite una adecuada sombra interior y dominio visual del entorno. La posición horizontal 0° genera mayor sombra, lo que representa una desventaja.

Los resultados del estudio de radiación solar basados en un prototipo fueron efectuados en el Centro de Agricultura Sostenible con Tecnología Aplicada, Universidad Nacional Evangélica, República Dominicana, situado en el máximo cinturón de irradiación solar. Para lograr el cálculo más cercano a la realidad del balance energético y la estimación energética, se realizó un estudio metrológico considerando las variables temperatura del aire, temperatura de la tierra, radiación solar diaria horizontal, velocidad del viento, humedad relativa y atmosférica, tres veces al día, cada mes, durante un año. La toma de datos se realiza a las 10a.m., a la 1pm y a las 4pm. La medición del viento es tomada a cinco pies sobre el nivel del suelo. Los resultados señalan que para latitud 18°66' y longitud -70°16' existe un potencial de energía solar con una eficiencia de 12,27%. El prototipo experimental generó alrededor de 5W, por lo que es necesario avanzar hacia una generación superior de energía. Los aspectos que dificultaron la experiencia dicen relación con el prototipo experimental, ya que deben mejorarse aspectos de la proyección de sombra a una porción de los cristales, pues ésta disminuye la generación de energía. Se observa la necesidad de que el circuito electrónico esté protegido por diodo, para prolongar su vida útil.

Considerando las miradas disciplinares que incidieron directamente en la definición del prototipo (ingeniería y diseño industrial), la complicación consistió en equilibrar a nivel de especialidades, las valoraciones pertinentes respecto de asuntos funcionales y emocionales, ya

que para la ingeniería prima la funcionalidad de las partes, mientras que para el diseño industrial es relevante el equilibrio entre este aspecto y las emocionales, para mejorar la aceptación usuaria.

En términos generales se puede mencionar que los factores ambientales que más afectan la comodidad y satisfacción de los usuarios en las oficinas son la calefacción, iluminación y ventilación. Por ello, si estos aspectos son atendidos en un nuevo diseño de ventanas/fachadas, los trabajadores de oficinas se sentirán más cómodos y satisfechos en su lugar de trabajo. Respecto a los factores que pueden influir para que el entorno de trabajo sea más cómodo y productivo, las fachadas deben permitir el paso de la luz al interior y propiciar una buena ventilación dentro de la oficina, además de otorgar la posibilidad de controlar el paso de la luz desde el interior. Los sistemas manuales de control lumínico digital y mecánico son los preferidos por los encuestados. Esto quiere decir, que los usuarios prefieren controlar de manera manual el paso de la luz hacia el interior de las oficinas, y que no sea de manera programada por tiempo o temperatura. Las características más importantes de las fachadas de edificios de oficinas corresponden a aspectos funcionales. Los niveles de luz dentro de la oficina, el control de la temperatura, la seguridad y el ahorro energético, son las características más importantes para los encuestados, siendo los tipos de vidrios fotovoltaicos más aceptados por los encuestados aquellos que presentan mayor similitud a un vidrio traslúcido convencional. Si las fachadas presentan un buen funcionamiento con respecto a estas características, se podría asegurar mayor comodidad para los trabajadores.

## Conclusiones

Se concluye respecto de la necesidad de establecer parámetros para el trabajo conjunto en ámbitos de desarrollo complejos y las capacidades que el

diseñador debe sostener en términos de concebir el producto y gestionar armónicamente las acciones requeridas para llegar a un resultado investigativo y propositivo acorde a los objetivos trazados. La adecuada integración optimiza los recursos y permite a los distintos profesionales trabajar con el mismo sujeto exploratorio y similar enfoque, además de realizar autoevaluaciones, corregir el rumbo, reformular criterios y modos de hacer, con etapas previamente definidas y roles estructurados sistemáticamente. El desafío de trabajar colaborativamente entre profesionales líderes en sus respectivas áreas ha facilitado el buen curso del proyecto, ya que cada uno ha puesto su mejor esfuerzo, con seriedad, para cumplir plazos y metas acordadas. Sin duda ha sido un proceso beneficioso para la práctica de las capacidades de comunicar, a pesar de barreras idiomáticas y disciplinares. Se concluye sobre la necesidad de que el diseño tenga un lenguaje técnico apropiado para comunicarse eficientemente con ingeniería y psicología, debiendo desarrollar habilidades para una mayor precisión en el uso del lenguaje, especialmente pensando en el rol gestor y coordinador que ha de asumir al liderazgo de la integración de componentes en un producto. Entonces, para un rol más efectivo del diseñador en la investigación interdisciplinaria, es necesario tener un manejo de lenguaje tecnológico y metodologías cualitativas, el primero para resolver asuntos propios del producto en cuestión y, el segundo, acorde a la ideación de la correcta usabilidad y amable percepción del usuario en relación a la innovación. Los diseñadores están continuamente en el proceso de explorar el futuro, imaginando el uso de lo que aún no está presente.

El modelo metodológico integrado interdisciplinar, con base en el proceso de diseño industrial, redefine las etapas acorde a las fases del programa del proyecto y permite estipular roles de acuerdo a las profesiones para un mejor apro-

vechamiento de los recursos. Un trabajo sistemático ordenado y coherente asegura un desarrollo enfocado en un resultado esperado. Este modelo propone una base para el trabajo interdisciplinario, un punto de partida para futuras investigaciones de esta tipología y en las que el diseño esté supeditado a los desarrollos derivados de otras disciplinas. La integración interdisciplinaria internacional se ha logrado beneficiosamente por medio de reuniones periódicas de proyecto, intercambios y pasantías de los profesionales, además de los beneficios que aportan las comunicaciones virtuales, facilitando y agilizando la coordinación y constatación de avances, a través de teleconferencias, transmisiones en vivo y envío de información masiva. La distancia geográfica de los integrantes del consorcio no ha sido impedimento, teniendo una base organizacional clara. La mayor dificultad ha estado en comprender dominios científicos más extensos (eficiencia energética, tecnología fotovoltaica, nanomateriales y sistemas avanzados de mecanismos y fabricación), lo que ha supuesto un esfuerzo de parte de los socios para avanzar coordinada y coherentemente. Respecto del producto resultante, sin duda se puede concluir sobre la evolución que la interdisciplina provoca. El proyecto inicia mencionando el desafío de diseñar una ventana inteligente; sin embargo, la evolución de la investigación conduce hacia la ideación de un sistema de piel estructurada inteligente, capaz de cubrir fachadas completas de edificaciones, en pos de un mejor rendimiento energético. Resulta interesante lo acertado de la presencia de cada área del conocimiento y sorprendente analizar qué hubiéramos obtenido como resultante con un eslabón menos o con otras disciplinas presentes. La investigación interdisciplinaria, por tanto, debe ser abierta a los aportes de las áreas que la componen, pero igualmente estar atenta a la integración y porcentajes de participación de cada uno.

Esta ecuación es la que hace variar los resultados, para bien o para mal.

#### AGRADECIMIENTOS

El equipo de investigadores *Smart Window for Zero Carbon Energy Buildings*, financiado por ERA-NET LAC Program ELAC2014/ESE-0146, agradecen al Ministerio de Educación, Economía y Competitividad (International Joint Programming Actions, PCIN-2015-152), España; al Ministry of Science, Technology and Higher Education via FCT; a The Portuguese National Foundation for Science and Technology; a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), Chile; y al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT), República Dominicana.

#### REFERENCIAS

Aranda-Jan CB, Jagtap S, Moultrie J (2016) Towards a framework for holistic contextual design for low-resource settings. *Int. J. Design* 10(3): 43-63.

Bernardelli F (2010) *Energía Solar Termodinámica en América Latina: los Casos de Brasil, Chile y México*. CEPAL. Santiago de Chile. 50 pp.

Cepi G (2005) Diseñar el código genético: el proyecto estratégico es producción de un proceso. *Encuentro Internacional Diseño Estratégico Pyme*. Centro Metropolitano de Diseño. Buenos Aires, Argentina. 112 pp.

Dalapati SM, Masudi-Panah s, Chua ST, Sharma m, Wong TI, Tan HR, Chi D (2016) Color tunable low cost transparent heat reflector using copper and titanium oxide for energy saving application. *Scient. Rep.* 6: 20182. doi:10.1038/srep20182.

Desmet P, Hekkert P (2009) Design & emotion. *Int. J. Design* 3(2) Spec. Iss.: 1-6.

Desmet P, Sääksjärvi M (2016) Form matters: Design creativity in positive psychological interventions. *Psychol. Well-Being* 6(7): 2-17. DOI 10.1186/s13612-016-0043-5.

Estupiñán A (2010) *Diseño Interdisciplinario Rol y Perfil del Diseñador Gestor*. Tesis. Universidad de Palermo, Argentina. 219 pp. [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/proyectorgraducion/archivos/1053.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/proyectorgraducion/archivos/1053.pdf)

EP-CEU (2010) *Directive 2010/31 on the energy performance of build-*

*ings*. The European Parliament and the Council of the European Union.

Fenko A, Schifferstein HNJ, Hekkert, P (2011) Noisy products: Does appearance matter? *Int. J. Design* 5(3): 77-87.

Fleischmann K (2013) Social entrepreneurs and social designers: Change makers with a new mindset? *Int. J. Bus. Soc. Sci.* 4(16): 4-17.

Gemser G, Leenders M (2011) How integrating industrial design into the product development process impacts on company performance. *J. Prod. Innov. Manag.* 18(1): 28-38.

Gemser G, Cando M, van den Ende J (2011) How design can improve firm performance. *Design Manag. Rev.* 22(2): 72-77.

Green J, Dai Y, Joo J, Williams E, Liu A, Lu S (2015) Interdisciplinary dialogues as a site for reflexive exploration of conceptual understandings of teaching-learning relationships. *Pedagogies* 10(1): 86-103. DOI: 10.1080/1554480X.2014.999774

IEA (2017) *Policy Pathways Brief: Building Energy Performance Certification*. International Energy Agency. Paris, Francia. XXX pp. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PolicyPathwaysBriefBuildingEnergyPerformanceCertification.pdf>

Karana E, Barati B, Rognoli V, Zeeuw Van Der Laan A (2015) Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. *Int. J. Design* 19(2): 35-54.

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 Eur. HVAC J.* 48(3): 6-12. <https://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2011/032011/how-to-define-nearly-net-zero-energy-buildings-nzeb/>

Lenay C (2010) It's so touching: Emotional value in distal contact. *Int. J. Design* 4(2): 15-25.

Light PC (2006) Reshaping social entrepreneurship. *Stanford Soc. Innov. Rev.*(Fall): 47-51.

Löblich B (2001) *Design Industrial. Bases para la Configuración dos Produtos Industriais*. Blucher. Rio de Janeiro, Brasil. 208 pp.

Mamaghani N, Mostowfi S (2016) Kansei Engineering and environmental design. *Int. J. Environ. Sci.* 6: 758-765.

Martin-Iglesias R (2011) *Hacia un Nuevo Paradigma de Diseño Colaborativo*. Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Argentina. 4 pp.

Milton A, Rodgers P (2013) *Métodos de Investigación para el Diseño de Producto*. Blume. Barcelona, España. 193 pp.

MMA, MOP, MINVU, MINENERGÍA (2013) *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable 2013-2020*. Gobierno de Chile. [http://portal.mma.gov.cl/wp-content/uploads/2014/10/2\\_Estrategia-Construccion-Sustentable.pdf](http://portal.mma.gov.cl/wp-content/uploads/2014/10/2_Estrategia-Construccion-Sustentable.pdf)

NIBS (2015) *A Common Definition for Zero Energy Buildings*. National Institute of Buildings Sciences. U.S. Department of Energy. Washington DC, EEUU. 16 pp.

Newell WH (2007) Decision-making in interdisciplinary studies. En Morcol G (Ed.) *Handbook of Decision-Making*. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 245-265.

Ostergaard K, Summers J (2009) Development of a systematic classification and taxonomy of collaborative design activities. *J. Eng. Design* 20: 57-81.

Overmars S, Poels, K (2015) A touching experience: Designing for touch sensations in online retail environments. *Int. J. Design* 9(3): 17-31.

Özcan E, van Egmond R (2009) The effect of visual context on the identification of ambiguous environmental sounds. *Acta Psychol.* 131: 110-119.

Özcan E, Cupchik GC, Schifferstein, HNJ (2017) Auditory and visual contributions to affective product quality. *Int. J. Design* 11(1): 35-50

Prodintec (2006) *Diseño Industrial. Guía Metodológica*. Predica. Asturias, España. 108 pp.

Pirinen A (2016) The barriers and enablers of co-design for services. *Int. J. Design* 10(3): 27-42.

Quarante D (1992) *Diseño Industrial 2*. CEAC. Barcelona, España. 280 pp.

Repko AF (2008) *Interdisciplinary Research: Process and Theory*. Sage. Thousand Oaks, CA, EEUU. 416 pp.

Schifferstein HNJ, Hekkert P (2011) Multisensory aesthetics in product design. En Bacci F, Melcher D (Eds.) *Art and the Senses*. Oxford University Press. Oxford, RU. pp. 529-555.

Schueller SM, Parks AC (2014) The science of self-help: translating positive psychology research into increased individual happiness. *Eur. Psychol.* 19: 145-155.

Torcellini P, Pless S, Deru M, Crawley D (2006) *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO, EEUU. 15 pp.

Tournois L (2016) When markets stagnate: finding new territory through reverse innovation. *J. Bus. Strat.* 37(6): 18-27. <https://doi.org/10.1108/JBS-08-2015-0079>