

# BIOLUMINISCENCIA BACTERIANA Y DISEÑO BIOFÍLICO. UN ENFOQUE INTERDISCIPLINARIO PARA EXPERIENCIAS SENSORIALES EN EL BIENESTAR URBANO

ANTONIA RAMÍREZ ÁVILA

CARRERA DE DISEÑO, UNIVERSIDAD DE CHILE

RUBÉN JACOB-DAZAROLA

DEPARTAMENTO DE DISEÑO, UNIVERSIDAD DE CHILE

---

RECIBIDO: 14 DE OCTUBRE DE 2025 // ACEPTADO: 14 DE ENERO DE 2026

---

LA DESCONEXIÓN CON LA NATURALEZA CONSTITUYE UNO DE LOS PRINCIPALES DESAFÍOS DEL HABITAR URBANO CONTEMPORÁNEO, CON EFECTOS NEGATIVOS EN LA SALUD EMOCIONAL Y COGNITIVA. ESTE ESTUDIO, REALIZADO EN EL MARCO DE UN TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA CARRERA DE DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, EXPLORÓ LA BIOLUMINISCENCIA BACTERIANA COMO RECURSO INNOVADOR DENTRO DEL DISEÑO BIOFÍLICO, ORIENTADO A PROMOVER EL BIENESTAR EMOCIONAL EN CONTEXTOS URBANOS. SE DESARROLLÓ UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL BASADO EN EL CULTIVO ÉTICO DE PHOTOBACTERIUM, DISEÑADO SEGÚN PRINCIPIOS DE BIOMIMETISMO Y BICOLABORACIÓN. LA VALIDACIÓN SE REALIZÓ MEDIANTE OBSERVACIÓN NO PARTICIPANTE, ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS Y ENCUESTAS DE VALORACIÓN EMOCIONAL, COMPLEMENTADAS CON ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EMOTIV EPOC EEG) Y ESCALA PREMO. LOS RESULTADOS EVIDENCIARON QUE LA INTERACCIÓN CON LA BIOLUMINISCENCIA GENERÓ RESPUESTAS DE ASOMBRO, FASCINACIÓN Y CALMA, VINCULADAS A PROCESOS DE CONTEMPLACIÓN RESTAURATIVA, JUNTO CON UN AUMENTO SOSTENIDO EN LOS NIVELES DE ATENCIÓN Y RELAJACIÓN. LA INTEGRACIÓN DE BIOLUMINISCENCIA BACTERIANA EN EL DISEÑO NO SOLO OFRECE UNA ALTERNATIVA ESTÉTICA Y SOSTENIBLE, SINO TAMBIÉN UN MEDIO SENSORIAL CAPAZ DE MEDIAR VÍNCULOS EMOCIONALES Y SIMBÓLICOS CON LA NATURALEZA. ESTE TRABAJO VALIDA, ADEMÁS, LA INVESTIGACIÓN PROYECTUAL COMO UNA VÍA LEGÍTIMA PARA GENERAR NUEVO CONOCIMIENTO PUBLICABLE BAJO LOS ESTÁNDARES ACADÉMICOS ACTUALES.

**PALABRAS CLAVE:** INVESTIGACIÓN PROYECTUAL, DISEÑO BIOFÍLICO, BIOLUMINISCENCIA, DISEÑO PARA EL BIENESTAR, INTERDISCIPLINA

18



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-  
NoComercial-SinDerivadas 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-  
NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND 4.0).

## INTRODUCCIÓN

La urbanización acelerada de los últimos siglos ha reducido en más de un 60 % el acceso humano a entornos naturales, impactando el bienestar físico y emocional (Richardson, 2025). Investigaciones en psicología ambiental y salud urbana señalan que la desconexión con la naturaleza se relaciona con mayores niveles de estrés, ansiedad y fatiga cognitiva (Ulrich, 1984; Hartig et al., 2014).

La exposición a entornos naturales, incluso de forma breve, reduce la rumiación mental y la actividad cerebral asociada a trastornos del ánimo, así como síntomas de depresión y ansiedad (Bratman et al., 2015; Kotera et al. 2020). Sin embargo, más de la mitad de la población mundial habita en ciudades alejadas de estos entornos, lo que se vincula con problemas emocionales y físicos (United Nations, 2014; Stainbrook, 1973). En este contexto, la presencia de áreas verdes urbanas disminuye significativamente el riesgo de depresión y ansiedad en la población (Liu et al., 2023). Incluso pequeñas integraciones naturales en espacios urbanos, como plantas interiores o muros verdes, contribuyen de manera efectiva a reducir el estrés (Gu et al., 2022).

El diseño biofílico y biocolaborativo es, por definición, una integración de disciplinas y enfoques que se convierte en un medio de cultivo para potenciar el aprendizaje de los futuros profesionales desarrollando investigación a través del diseño (Horváth, 2007) y proyectando desde el diseño informado por la investigación (Muratovsky, 2022). En un contexto habitacional urbano donde la presencia de estímulos naturales suele ser limitada, estos enfoques ofrecen nuevas posibilidades para explorar cómo elementos vivos pueden aportar bienestar en espacios cotidianos.

El concepto de biofilia, definido por Wilson (1986, p. 10) como “la tendencia innata a centrarse en la vida y en los procesos que le son afines”, fue incorporado al campo del diseño por Kellert y Calabrese (2015) dando origen al diseño biofílico, un enfoque orientado a reconectar a las personas con la naturaleza en entornos construidos. Browning et al. (2014) sistematizaron esta propuesta en catorce patrones de diseño biofílico organizados en tres categorías: 1) naturaleza en el espacio, 2) análogos naturales y 3) naturaleza del espacio. Estos patrones incluyen la presencia de procesos naturales, variaciones sensoriales dinámicas y la inducción de calma y seguridad. Kellert y Calabrese (2015) enfatizan que la eficacia del diseño biofílico no depende únicamente de la representación estética de elementos naturales, sino de su capacidad para despertar experiencias emocionales y cognitivas restaurativas.

En la última década, el diseño biofílico ha evolucionado hacia enfoques más rigurosos y evaluables. Se ha propuesto un marco de evaluación que permite medir de manera más rigurosa la aplicación de principios biofílicos en edificaciones (Rabbassum & Park, 2024), y se demostró una mejoría en la calidad de vida de adultos mayores a partir de la integración de elementos naturales en espacios comunitarios (Tjia et al., 2024). Asimismo, estudios sobre *affective interaction design* (Rao et al., 2025) evidencian que los entornos construidos con principios biofílicos promueven experiencias emocionales dirigidas, gracias a la interacción sensorial espacial y táctil.

Sin embargo, gran parte de las prácticas actuales se limita a las representaciones estéticas de la naturaleza (colores o texturas), sin propiciar experiencias restaurativas. Desde distintas perspectivas se ha planteado que la biofilia debe entenderse como un enfoque integral que abarca dimensiones físicas, sensoriales,

metafóricas, morfológicas, materiales y espirituales (Zhong et al., 2021). Frente a ello, se advierte sobre la reducción del diseño biofílico a estereotipos estéticos o a criterios de certificación, dejando de lado factores ambientales, climáticos, funcionales y contextuales (Qurraie & Bayram, 2025).

El desafío actual, por consiguiente, no radica únicamente en integrar visualmente la naturaleza, sino en recuperar experiencias emocionales profundas que contrarresten la desconexión humana con su entorno. Se ha comprobado que el diseño biofílico multisensorial, que articula estímulos visuales y auditivos, mejora el rendimiento cognitivo, la atención y reduce el estrés en entornos laborales (Aristizábal et al., 2021). Así, este enfoque trasciende lo visual y promueve experiencias integradas que generan respuestas psicológicas, fisiológicas y cognitivas, consolidando al diseño como estrategia efectiva para mitigar los efectos de la desconexión natural (Yin et al., 2024).

## LA LUZ COMO RECURSO BIOFÍLICO

La luz actúa como mediador central en la experiencia humana, al regular ritmos circadianos, estados de ánimo y percepción espacial (LeGates et al., 2014). Su potencial fotocéutico ha sido reconocido como agente terapéutico, planteando la necesidad de trasladar dichos hallazgos a aplicaciones concretas (Brainard & Hanifin, 2005).

En este contexto, la bioluminiscencia no debiese ser concebida como un mero recurso técnico de iluminación, sino como luz viva: interactiva, orgánica e impredecible. Este fenómeno natural presente en diversos organismos marinos, insectos y bacterias, cumple funciones ecológicas asociadas a la comunicación, la defensa y la atracción (Haddock et al., 2010). En especies como los dinoflagelados, la bioluminiscencia se activa por el movimiento, generando una respuesta lumínica inmediata que convierte la interacción en una experiencia sensorial y corporal directa (Ofer et al., 2021).

La bioluminiscencia introduce un lenguaje lumínico dinámico que se diferencia radicalmente de la iluminación artificial convencional. Su integración proyectual fomenta experiencias interactivas y abre un campo emergente de exploración interdisciplinaria entre el diseño y la biología a través de la investigación.

## BIOLUMINISCENCIA EN EL DISEÑO: ANTECEDENTES Y LIMITACIONES

El potencial de la bioluminiscencia como fuente de iluminación regenerativa e interactiva ha impulsado investigaciones en los campos de la interacción humano-computador (HCI) y en diseño de interacción (Barati et al., 2021). Proyectos como *Glowing Nature* de Studio Roosegaarde, *Bioluminescent Field* de Nicola Burggraf, *Abio* de Teresa Van Dongen y *Biolum Due Bench* han permitido que los usuarios experimenten de manera directa este fenómeno natural. Estas propuestas, recopiladas por Barati et al. (2021), evidencian cómo los organismos vivos permanecen activos como parte esencial de la experiencia, donde la emisión lumínica se regula indirectamente a través de la interacción y del diseño del entorno, que asegura sus condiciones vitales (Burggraf, 2014, como se cita en Barati et al., 2021).

Más allá de su valor estético o técnico, la bioluminiscencia puede comprenderse como un medio interactivo capaz de generar experiencias emocionales restaurativas. En contraste, la iluminación artificial altera los ciclos circadianos, impactando negativamente la salud humana y ecológica (Falchi et al., 2016; Kyba et al., 2017). La bioluminiscencia reintegra la dimensión

orgánica y sensorial de la luz, posibilitando una relación más armónica entre tecnología, naturaleza y bienestar (Myers, 2012; Guido et al., 2017).

Pese a los avances recientes, gran parte de las experiencias con bioluminiscencia carecen de marcos metodológicos que evalúen su impacto emocional, replicando limitaciones presentes en otras aplicaciones biofílicas. Esta ausencia evidencia la necesidad de enfoques que trasciendan lo ornamental y consoliden la investigación en diseño como una herramienta conceptual y proyectual capaz de generar conocimiento legítimo.

El diseño posee una forma de pensar y comunicar distinta a la ciencia, pero igualmente válida para abordar sus propios problemas (Archer, 1979). Con el desarrollo de la disciplina, la investigación en diseño ha alcanzado mayor madurez y reconocimiento, destacando por su carácter amplio y transdisciplinar (Forlizzi et al., 2009; Friedman, 2001, 2003; Zimmerman & Forlizzi, 2008). En este marco, Frayling (1993) introdujo el concepto de Research through Design (RtD), entendido como aquella investigación en la que el diseño se convierte en medio para explorar hipótesis y generar conocimiento (Findeli, 2010; Koskinen et al., 2011). Estas perspectivas coinciden en que el proyecto de diseño, cuando se registra y analiza con rigor académico, constituye un vehículo válido para producir conocimiento (Cross, 2001; Manzini, 2009; Redström, 2008).

Desde estas bases, la experiencia aquí presentada se enmarca en la noción RtD, entendida como un proceso proyectual capaz de generar conocimiento al articular teoría y práctica. El objetivo fue examinar el potencial de la bioluminiscencia bacteriana como recurso sensorial innovador para favorecer estados de calma y contemplación en usuarios de entornos urbanos. En este marco, la pregunta de investigación que orientó el estudio fue ¿De qué manera la bioluminiscencia bacteriana, incorporada en un prototipo de diseño sensorial, influye en la experiencia emocional y el bienestar de usuarios de entornos urbanos?

La hipótesis que guió este trabajo plantea que la incorporación de bioluminiscencia en el diseño es una estrategia innovadora que posee la capacidad de promover una conexión emocional significativa con la naturaleza y contribuir así al bienestar de las personas en contextos urbanos.

#### METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque cualitativo, experimental y transdisciplinar, siguiendo la lógica de la investigación proyectual a través del diseño o RtD, por su sigla en inglés. La transdisciplina permitió articular y trascender los límites de la biología, la psicología y el diseño, generando un lenguaje común y un marco metodológico compartido (Nicolescu, 2002; Max-Neef, 2005). Este enfoque se caracterizó por la hibridación metodológica, la cocreación y la construcción de perspectivas conjuntas.

El proceso metodológico se estructuró en tres fases: (1) conceptualización y definición proyectual, (2) desarrollo del prototipo mediante iteraciones de prueba y error, y (3) validación experiencial con usuarios. Estas fases se desarrollan de manera articulada a través de tres dimensiones complementarias; diseño, biología y psicología/UX, tal como se representa en la Figura 1. En particular, el diagrama expone el desarrollo operativo de la fase de prototipado y muestra cómo las decisiones conceptuales, materiales y biológicas contribuyeron tanto a la construcción del prototipo experimental como a la verificación de la hipótesis central: determinar si la bioluminiscencia bacteriana, integrada

en un dispositivo lumínico experimental, podía favorecer estados de calma y contemplación en entornos urbanos.

La revisión bibliográfica permitió abordar la pregunta de investigación sobre cómo los principios de diseño biofílico y el uso de bioreferentes pueden ser traducidos en criterios formales y materiales dentro de un proceso de diseño. A partir de estos antecedentes teóricos, se desarrolló una exploración formal y proyectual orientada a identificar morfologías, texturas y configuraciones espaciales capaces de generar experiencias sensoriales y emocionales positivas.

La Figura 2 sintetiza este proceso, articulando la revisión bibliográfica orientada a responder cómo la bioluminiscencia bacteriana, incorporada en un prototipo de diseño sensorial, influye en la experiencia emocional y el bienestar de usuarios de entornos urbanos, con la exploración de referentes naturales y de diseño. La exploración formal que fundamentó las decisiones proyectuales y el posterior desarrollo del prototipo.

La selección del microorganismo se fundamentó en literatura especializada y en la asesoría de expertos en microbiología, estableciendo que *Photobacterium* era la especie más adecuada por su emisión lumínica intensa, observable en laboratorio y reproducible bajo condiciones controladas. Crece en medios estándar (Marine Broth 2216) entre 18–30 °C, con salinidad aproximada de 35g/l, (~35psu), y requiere recambios de medio cada 24–48 h para mantener un cultivo óptimo. Se aplicaron procedimientos de manipulación y recambio, como ajuste de densidad inicial, reposo posterior al recambio y reposicionamiento del cultivo para respetar el ciclo circadiano de la especie.

Aunque el proyecto se desarrolló como trabajo de titulación en la Universidad de Chile, contó con la colaboración directa de investigadores del Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN) y académicos de la Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, quienes facilitaron cultivos activos y protocolos de manejo. Bajo supervisión del Dr. Peter von Dassow, en el Laboratorio de Ciencias Biológicas de la misma institución se replicaron procedimientos de cultivo ajustando la densidad inicial y el volumen de las muestras, siguiendo, además, prácticas aprendidas durante el proceso como la esterilización de materiales, control de temperaturas y manejo ético de organismos vivos.

El prototipo lumínico fue diseñado bajo principios de biometismo y biocolaboración, reconociendo a los organismos vivos como coagentes proyectuales (Myers, 2012). Su construcción se desarrolló mediante un proceso iterativo de experimentación material y formal, iniciando a partir de la exploración mediante croquis de referentes naturales y de diseño, sistematizados en la Figura 2. Dichos referentes fueron analizados en función de patrones morfológicos bioinspirados, texturas, relaciones de escala, requerimientos del microorganismo y cualidades sensoriales estudiadas en el levantamiento de datos, aspectos que posteriormente se tradujeron a una serie de propuestas formales preliminares.

Estas exploraciones dieron lugar a múltiples variaciones materiales que fueron evaluadas según criterios funcionales, biológicos y experienciales. Entre ellos, la correcta contención del medio líquido, la calidad de la interacción táctil, la visibilidad de la bioluminiscencia y la coherencia formal con principios biofílicos. A partir de esta evaluación, se seleccionaron aquellas configuraciones que presentaron un mejor equilibrio entre estabilidad técnica, replicabilidad y expresión sensorial, lo que condujo a la definición de la forma final del prototipo experimental.

## PROCESO METODOLÓGICO

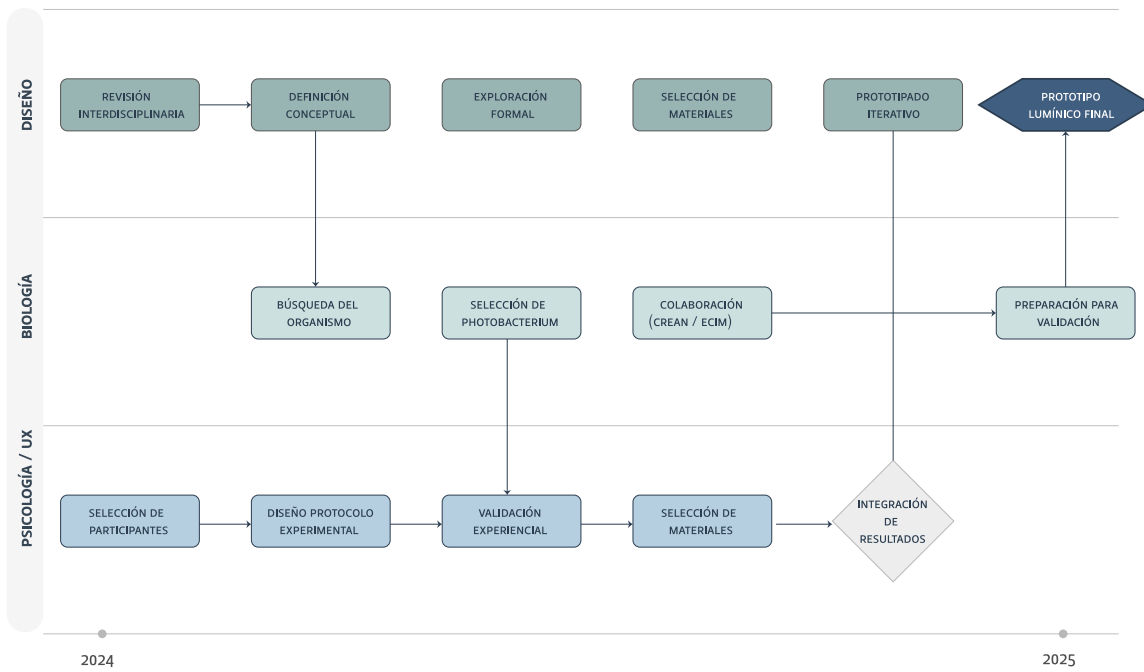


FIGURA 1. Proceso metodológico del proyecto. Desarrollo de la fase de prototipado dentro de un marco estructurado en tres etapas complementarias.

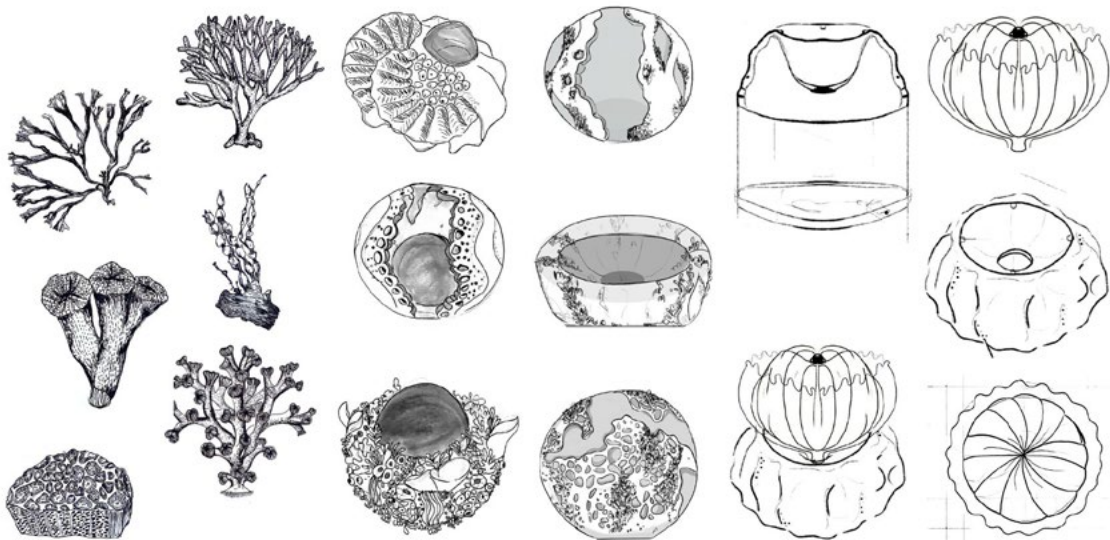


FIGURA 2. Diagrama del proceso de producción del prototipo.

En términos biomiméticos, el diseño emula formas, texturas y patrones propios de organismos naturales, tales como corales y anémonas. Estas referencias naturales no buscan una reproducción literal, sino la abstracción de principios morfológicos naturales que favorecen una interacción intuitiva, suave y continua, coherente con experiencias sensoriales asociadas a entornos naturales.

Desde la biocolaboración, el microorganismo bioluminiscente es incorporado como un agente clave participante de la experiencia, cuya actividad metabólica y respuesta lumínica condiciona el funcionamiento del prototipo y la experiencia. La luz emitida no es generada artificialmente, sino que emerge de la interacción entre el usuario, el objeto y el organismo vivo, estableciendo un sistema colaborativo simbiótico en el que el resultado visual depende de la vitalidad y comportamiento del microorganismo.

La pieza principal se modeló tridimensionalmente en Rhinoceros 3D y se imprimió en PLA y TPU, generando un máster para la fabricación de moldes de silicona de Shore 40 A, optimizando la replicabilidad de la pieza. Además, se diseñó una pieza impresa en filamento PLA que sirvió de esqueleto estructural, otorgando firmeza y permitiendo una interacción adecuada entre todas las piezas (Figura 3).

A partir del máster se desarrollaron cuatro variantes de silicona 10 Shore A (transparente, blanca y azul) vaciadas en tres capas: una primera de silicona transparente, una segunda de 25 shore A con pigmentos azulados, y una tercera con pigmentos fotosensibles, integradas posteriormente en un vaciado final transparente de 25 Shore A.

El diseño de estas variantes estuvo condicionado por restricciones técnicas y biológicas necesarias para asegurar la viabilidad y visibilidad de la bioluminiscencia bacteriana. En particular, la contención segura del medio líquido vivo y la estabilidad térmica del cultivo se resolvieron mediante un contenedor de vidrio soplado de borosilicato de doble capa, permitiendo mantener temperaturas adecuadas para *Photobacterium*. Así mismo, el sistema incorpora una boquilla para el recambio parcial de medio cada 24-48 horas y un tapón de silicona con filtro microporoso que permite el intercambio de oxígeno, evitando la sobrepoblación del cultivo y favoreciendo una emisión lumínica estable. Estas decisiones se complementaron con estudios sensoriales previos, en los cuales se analizaron muestras de silicona de 10 cm de diámetro con patrones impresos en 3D en diferentes materialidades (PLA y TPU), lo que permitió identificar las preferencias táctiles y visuales de los usuarios (Figura 4).

El contenedor de la muestra bioluminiscente se diseñó y fabricó en vidrio borosilicato (15 × 10 × 10 cm; espesor = 3 mm) el mismo material utilizado en equipamiento de laboratorio, en colaboración con artesanos vidrieros y fue adaptado para permitir la interacción segura y asegurar un cultivo ético de la muestra. La pieza de silicona fue ensamblada sobre el esqueleto estructural y el contenedor se ubicó en la parte superior del conjunto (Figura 5). El proceso se complementó con trabajo en el Laboratorio de Fabricación Digital, donde se profundizó en la selección de materiales y procesos de fabricación pertinentes.

La validación experiencial incluyó a diez residentes de la Región Metropolitana de Santiago, seleccionados mediante un muestreo intencionado debido a evidencia teórica de su limitado acceso a áreas verdes. El tamaño muestral se definió según criterios de investigación exploratoria, priorizando la profundidad fenomenológica sobre representatividad estadística. Los



FIGURA 3. Muestras experimentales del prototipo en impresión 3D y silicona.



FIGURA 4. Variantes exploratorias de textura, forma y material.



FIGURA 5. Interacción del usuario con el prototipo.

participantes fueron filtrados según conocimiento biológico, con el fin de registrar respuestas no influenciadas por experticia técnica. Además, se priorizó la participación de personas entre 20-33, principalmente mujeres, así como de individuos que ya habían participado en validaciones previas, dada a la naturaleza íntima de la experiencia.

La validación combinó protocolos de observación no participante, entrevistas semiestructuradas, mediciones neurofisiológicas mediante EEG Emotiv Epoc (registrando actividad cerebral asociada a estados de calma y atención) y evaluación emocional mediante la herramienta digital PrEmo (Desmet, 2002), permitiendo identificar y cuantificar emociones evocadas durante la interacción (Güiza Caicedo, 2009).

Cada participante interactuó 5-7 minutos con el prototipo bajo condiciones controladas en un espacio semioscuro y silencioso, aislado de estímulos externos. Los datos fueron analizados como patrones preliminares, sin aplicar estadística inferencial, buscando consistencia entre observación, reportes declarados y respuestas fisiológicas, debido al tamaño acotado de la muestra (Figura 6).

#### RESULTADOS

El principal resultado del proyecto es el prototipo lumínico bioluminiscente (Figura 4), concebido como una síntesis material del proceso de investigación y experimentación. El dispositivo operó simultáneamente como resultado proyectual y herramienta de estudio, permitiendo observar de manera empírica

las interacciones humanas con la bioluminiscencia y sus efectos emocionales y cognitivos (Figura 7). Asimismo, los registros obtenidos permitieron comparar las métricas iniciales de los usuarios con las respuestas generadas durante la interacción, evidenciando un impacto emocional positivo asociado específicamente al momento de activación de la bioluminiscencia.

Durante la fase inicial, nueve de los diez participantes expresaron sorpresa ante la luz emitida por las bacterias, manifestando reacciones espontáneas como “¡Wow!” o “¿Es real?”.

Ocho participantes mantuvieron la mirada sobre el prototipo por más de treinta segundos, mostrando reducción de movimientos y vocalizaciones, lo que se interpreta como atención sostenida y contemplación. En las entrevistas siete participantes describieron la experiencia como “mágica”, “viva” e “hipnótica”, mientras que seis la asociaron a fenómenos marinos. La elección de formas, colores, texturas y condiciones lumínicas del prototipo se basó en iteraciones previas con usuarios, asegurando que el diseño respondiera a la percepción emocional real de los participantes.

En las encuestas posteriores, seis participantes reportaron sensaciones de calma y relajación, y cinco mencionaron haber experimentado una desconexión temporal de preocupaciones cotidianas. Los registros de EEG mostraron incrementos sostenidos en indicadores de interés, atención y compromiso durante la interacción, con un punto de inflexión alrededor del minuto cinco, coincidente con la activación lumínica de *Photobacterium* (Figura 8).



FIGURA 6. Participante interactuando con el prototipo bioluminiscente (A). Usaria equipada con el casco EEG y completando el formulario de evaluación emocional (B).



FIGURA 7. Registro fotográfico del prototipo en condiciones de luz natural (A) y con activación de bioluminiscencia (B).

La evaluación mediante la herramienta PrEmo evidenció un predominio de emociones positivas (94,7 %) por sobre negativas (5,3 %), destacando alegría, satisfacción, fascinación y deseo. Estas emociones fueron reportadas con una intensidad uniforme (15,8% cada una), confirmando la consistencia del efecto observado (Figura 9). Las emociones negativas correspondieron principalmente a miedo en proporción minoritaria.

En conjunto, las métricas de PrEmo, las curvas de EEG y los relatos subjetivos evidenciaron incrementos paralelos en los niveles de interés, atención, compromiso y relajación. Los participantes 4 y 5 mostraron, además, una disminución sostenida del nivel de estrés, sugiriendo un potencial efecto regulador del estímulo bioluminiscente en estados de sobrecarga mental.

Se registraron limitaciones técnicas durante la experimentación: la intensidad lumínica del prototipo disminuyó con el tiempo y factores ambientales, como temperatura y humedad, afectaron la estabilidad de la muestra. A ello se suma la inestabilidad natural del microorganismo, influyendo en la consistencia visual de la interacción.

## DISCUSIÓN

Los hallazgos evidenciaron que la bioluminiscencia bacteriana actuó como un estímulo capaz de activar procesos restaurativos asociados a la biofilia. El propósito principal de esta investigación fue evaluar si un prototipo lumínico que integrara bioluminiscencia podía favorecer estados de calma y contemplación en contextos urbanos, y los resultados obtenidos respaldan esta hipótesis. En el contexto urbano, el prototipo se integró como un punto de contacto natural en espacios habitacionales marcados por estímulos artificiales. Las respuestas observadas, incluida la sorpresa y la contemplación sostenida, sugirieron un proceso de conexión progresiva con un fenómeno natural dinámico, coherente con reacciones instintivas ante estímulos biológicos inesperados.

En entornos urbanos, caracterizados por una alta densidad de estímulos artificiales y una presencia limitada de estímulos naturales, estas respuestas adquieren especial relevancia. La contemplación sostenida y el silencio observados apuntan a la activación de un estado de soft fascination, donde la atención se mantiene sin alta demanda cognitiva (Kaplan & Kaplan, 1989). La triangulación metodológica entre observación, entrevistas, encuestas y mediciones neurofisiológicas (EEG y PrEmo) permitió integrar percepciones subjetivas con respuestas objetivas,

fortaleciendo la validez de los resultados. Este cruce metodológico también evidenció el valor de la transdisciplina: la biología aportó comprensión sobre los organismos y sus condiciones vitales; la psicología permitió interpretar las respuestas emocionales; y el diseño integró ambos saberes en un prototipo interactivo. Esta integración responde al enfoque de RtD, propuesto por Zimmerman et al. (2010), en el cual el diseño produce conocimiento mediante ciclos iterativos de experimentación. Dichos ciclos dialogan con el proceso de construcción y ajuste del objeto, permitiendo que las decisiones relativas a la forma, la textura y la materialidad se validen de manera continua con usuarios y especialistas. En conjunto, esto generó un marco metodológico compartido que posiciona al diseño como productor legítimo de conocimiento académico (Nicolescu, 2002; Max-Neef, 2005).

Entre los aportes más relevantes del proyecto se encuentra la Tabla 1, que establece una relación entre texturas, colores y sensaciones emocionales, sistematizando cómo distintas superficies bioinspiradas generaron respuestas de calma, fascinación, curiosidad o incomodidad, en concordancia con las experiencias indirectas descritas por Kellert (2008). Su elaboración se basó en comparaciones directas entre estímulos táctiles y visuales, constituyéndose como un insumo transferible para futuras investigaciones, al orientar la selección de materialidades y estímulos visuales en función de los estados emocionales que se busca promover.

Los resultados evidenciaron que la bioluminiscencia bacteriana cumple condiciones biofílicas clave, tales como la fascinación, la contemplación y la conexión simbólica con la naturaleza. Su exploración en el ámbito del diseño requiere un enfoque transdisciplinar capaz de comprender de manera integral sus efectos emocionales y cognitivos. En línea con las perspectivas sobre la experiencia del producto propuestas por Hekkert (2006), que plantean la convergencia entre estética, significado e interacción sensorial en la respuesta emocional del usuario, el prototipo operó más allá de un artefacto funcional. En este sentido, se constituyó como un instrumento de investigación proyectual, reforzando el carácter experimental que guía el proyecto desde las primeras pruebas con cultivos, materiales y procesos de fabricación, y revelando vínculos profundos entre organismos vivos, materialidades y experiencias humanas.

### EVOLUCIÓN DE LAS EMOCIONES REGISTRADAS POR EEG

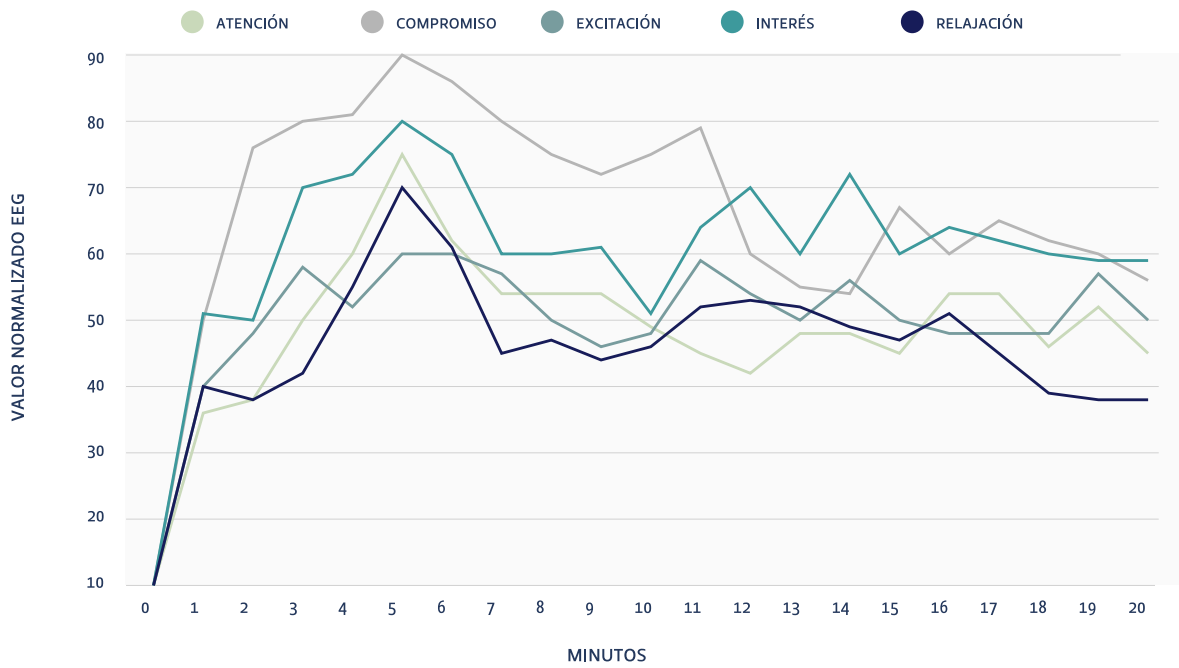
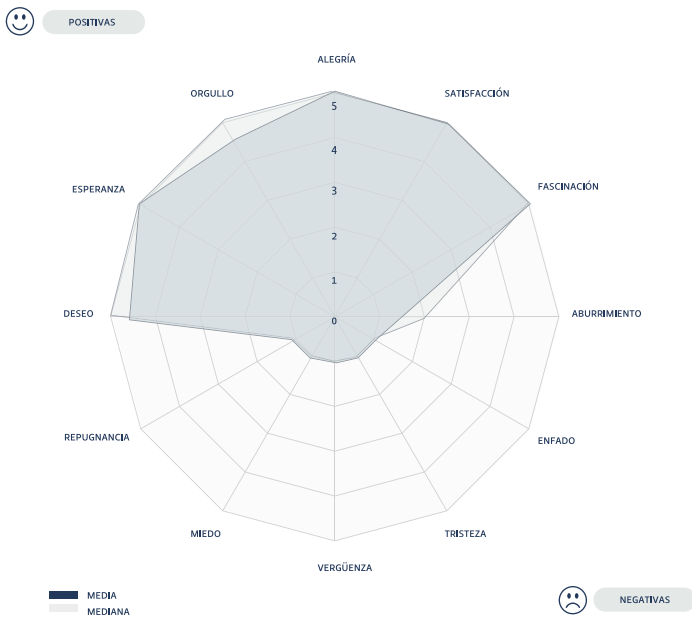


FIGURA 8. Evolución temporal de las emociones registradas mediante la interacción.

### INTENSIDADES DEL PRODUCTO



### FRECUENCIA DEL PRODUCTO

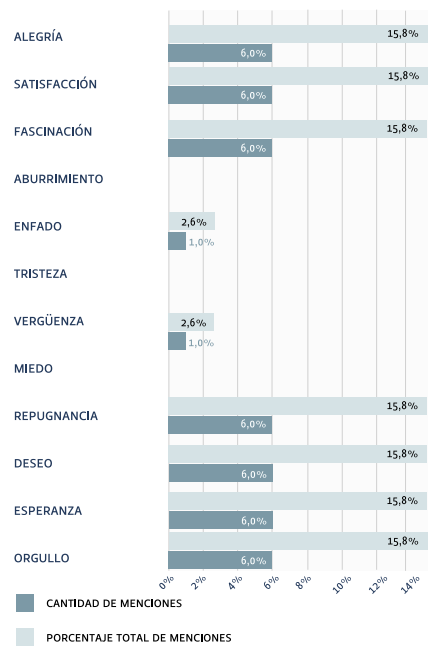


FIGURA 9. Resultados de la validación PrEmo con usuarios.

TABLA 1. CATEGORIZACIÓN SENSORIAL DE TEXTURAS BASADA EN ESTÍMULOS TÁCTILES Y VISUALES

ASOCIACIÓN NATURAL	DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES	COLOR RELACIONADO	EMOCIÓN EVOCADA	EVALUACIÓN
Conchas marinas de acabado nacarado	Patrón escamoso, rugoso, brillante y colorido	Brillante, porosa, con relieve	Rosado, morado y verde	Alegría, curiosidad	Positiva
Corales secos y hongos	Fragmentos de conchas y superficies minerales desgastadas por el mar, con puntos, cavidades y relieves irregulares	Dura, áspera, irregular	Blanco hueso, beige	Incomodidad, miedo, rechazo	Negativa
Maderas erosionadas y fibras naturales	Superficies rígidas con vetas visibles y texturas lineales, propias de materiales vegetales secos	Rígida, porosa, con relieves lineales	Marrón, beige	Calma, nostalgia	Neutral
Estructuras filamentosas tipo anémona	Partes blandas con filamentos ondulados y translúcidos, dispuestos radialmente como en anémonas marina	Flexible, suave, translúcida"	"Azul, morado, verde"	Relajación, curiosidad	Positiva
Corales ramificados (gorgonias)	Patrones reticulares formados por ramificaciones finas y microporos, típicos de corales tipo gorgonia	Rígida, microporosa, ramificada	Marrón, beige	Serenidad, exploración	Positiva
Superficies escamadas y plumosas	Materiales con unidades superpuestas; escamas o filamentos finos; de alto brillo y estructura repetitiva	Suave, brillante, con escamas	Verde, rosado	Incomodidad, curiosidad	Incomodidad, curiosidad

**CONCLUSIONES**

La investigación confirmó la hipótesis inicial: la bioluminiscencia bacteriana, como fenómeno vivo y dinámico, generó respuestas emocionales positivas en usuarios urbanos y favoreció experiencias de contemplación y conexión con la naturaleza. La interacción con el prototipo evocó asombro, fascinación y calma, cumpliendo con condiciones biofílicas asociadas a la restauración, validando la eficacia del dispositivo para inducir estados de atención sostenida y desconexión del estrés cotidiano, coherente con las mediciones neurofisiológicas obtenidas.

El estudio aportó un modelo metodológico transdisciplinar que integró biología, psicología y diseño, fusionando marcos conceptuales y metodológicos en un proceso común de investigación. La sistematización de la relación entre texturas, colores y emociones constituye un aporte metodológico transferible, que podría orientar futuros proyectos de diseño biofílico hacia aplicaciones terapéuticas, educativas y ambientales, especialmente en contextos donde se busca promover bienestar emocional mediante estímulos naturales simulados o mediados por organismos vivos.

Las limitaciones administrativas, técnicas, económicas y biológicas evidenciaron la necesidad de fortalecer protocolos de acceso a organismos vivos, optimizar materiales y explorar sistemas de cultivo más eficientes, así como generar facilidades para apoyar económicamente proyectos universitarios. Estas dificultades, junto con los desafíos derivados del trabajo con un organismo de comportamiento inestable y la experimentación material ponen en evidencia la importancia de consolidar colaboraciones tempranas con laboratorios y especialistas,

favoreciendo procesos más eficientes en investigaciones futuras. Lejos de invalidar la propuesta, estas restricciones delimitan rutas de exploración orientadas a continuar investigando sobre la bioluminiscencia como agente proyectual capaz de generar beneficios emocionales.

En síntesis, este trabajo establece un precedente en el campo del diseño biofílico al demostrar que la bioluminiscencia bacteriana, más que un recurso estético, puede operar como mediador sensorial y simbólico que diversifica las formas de reconexión con la naturaleza. La investigación proyectual se consolidó como un aporte legítimo al conocimiento académico en diseño, validando la transdisciplina como vía para integrar biología, psicología y diseño en torno al bienestar urbano. Asimismo, se reafirma el valor formativo de las instancias de titulación como espacios capaces de producir conocimiento significativo cuando se abordan con rigor metodológico, permitiendo que el diseño amplíe sus límites y dialogue con otras áreas del saber para enfrentar problemáticas reales desde una perspectiva integral.

## REFERENCIAS

- Archer, B. (1979). *Design as a discipline*. *Design Studies*, 1(1), 17–20. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(79\)90023-1](https://doi.org/10.1016/0142-694X(79)90023-1)
- Aristizábal, S., Byun, K., Porter, P., Clements, N., Campanella, C., Li, L., Mullan, A., Ly, S., Senerat, A., Nenadic, I. Z., Browning, W. D., Loftness, V., & Bauer, B. (2021). Biophilic office design: Exploring the impact of a multisensory approach on human well-being. *Journal of Environmental Psychology*, 77, 101682. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101682>
- Barati, B., Karana, E., Pont, S., & van Dortmont, T. (2021). Living light interfaces: An exploration of bioluminescence aesthetics. *Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference: Nowhere and Everywhere* (pp. 1215–1229). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3461778.3462038>
- Brainard, G. C., & Hanifin, J. P. (2005). Photons, clocks, and consciousness. *Journal of Biological Rhythms*, 20(4), 314–325. <https://doi.org/10.1177/0748730405278951>
- Bratman, G. N., Hamilton, J. P., Hahn, K. S., Daily, G. C., & Gross, J. J. (2015). Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(28), 8567–8572. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510459112>
- Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). *14 patterns of biophilic design*. Terrapin Bright Green. <https://www.terrapinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2014/09/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014p.pdf>
- Cross, N. (2001). Designerly Ways of Knowing: Design Discipline versus Design Science. *Design Issues*, 17(3), 49–55. <http://www.jstor.org/stable/1511801>
- Desmet, P. M. A. (2002). *Designing emotions* [Doctoral dissertation, Delft University of Technology]. Delft University Press. <https://studiolab.ide.tudelft.nl/studiolab/desmet/files/2011/09/thesis-designingemotions.pdf>
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscode, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Findeli, A. (2010). Searching for design research questions: Some conceptual clarifications. In R. Chow, W. Jonas & G. Joost (Eds.), *Questions, Hypotheses & Conjectures: Discussions on Projects by Early Stage and Senior Design Researchers* (pp. 286–303). iUniverse.
- Forlizzi, J., Zimmerman, J., & Stolterman, E. (2009). From design research to theory: Evidence of a maturing field. *IASDR 2009: Proceedings of the International Association of Societies of Design Research Conference – Design, Rigor & Relevance* (pp. 2889–2898). Seoul, South Korea.
- Frayling, C. (1993). Research in art and design. *Royal College of Art Research Papers*, 1(1), 1–5. <https://researchonline.rca.ac.uk/id/eprint/384>
- Friedman, K. (2001). *Creating design knowledge: From research into practice*. Figshare. <https://doi.org/10.25916/sut.26253722>
- Friedman, K. (2003). Theory construction in design research: Criteria, approaches, and methods. *Design Studies*, 24(6), 507–522. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(03\)00039-5](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(03)00039-5)
- Gu, J., Liu, H., & Lu, H. (2022). Can even a small amount of greenery be helpful in stress relief? A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 9778. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169778>
- Guido, G., Piper, L., Prete, M. I., Mileti, A., & Trisolini, C. M. (2017). Effects of blue lighting in ambient and mobile settings on the intention to buy hedonic and utilitarian products. *Psychology & Marketing*, 34(2), 215–226. <https://doi.org/10.1002/mar.20984>
- Güiza Caicedo, L. (2009). *La emoción como experiencia de diseño: Una exploración a través de productos interactivos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Haddock, S. H. D., Moline, M. A., & Case, J. F. (2010). Bioluminescence in the sea. *Annual Review of Marine Science*, 2(1), 443–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081028>
- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207–228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
- Hekkert, P. (2006). Design aesthetics: Principles of pleasure in product design. *Psychology Science*, 48(2), 157–172.
- Horváth, I. (2007, August 28–31). Comparison of three methodological approaches of design research. *DS 42: Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design*, 28–31.07.2007, (pp. 361–362). Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, France.
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge University Press.
- Kellert, S. R. (2008). *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. John Wiley & Sons.
- Kellert, S., & Calabrese, E. F. (2015). *The practice of biophilic design*. Biophilic Design Press. [https://biophilicdesign.umn.edu/sites/biophilic-net-positive.umn.edu/files/2021-09/2015\\_Kellert%20\\_The\\_Practice\\_of\\_Biophilic\\_Design.pdf](https://biophilicdesign.umn.edu/sites/biophilic-net-positive.umn.edu/files/2021-09/2015_Kellert%20_The_Practice_of_Biophilic_Design.pdf)
- Koskinen, I., Zimmerman, J., Binder, T., Redström, J., & Wensveen, S. (2011). *Design research through practice: From the lab, field, and showroom*. Morgan Kaufmann.
- Kotera, Y., Richardson, M., & Sheffield, D. (2020). Effects of Shinrin-Yoku (Forest Bathing) and nature therapy on mental health: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 20(1), 337–361. <https://doi.org/10.1007/s11469-020-00363-4>
- Kyba, C. C. M., Ruhtz, T., Fischer, J., & Höcker, F. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(e1701528), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- LeGates, T. A., Fernandez, D. C., & Hattar, S. (2014). Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(7), 443–454. <https://doi.org/10.1038/nrn3743>
- Liu, Z., Chen, X., Cui, H., Ma, Y., Gao, N., Li, X., Meng, X., Lin, H., Abudou, H., Guo, L., & Liu, Q. (2023). Green space exposure on depression and anxiety outcomes: A meta-analysis. *Environmental Research*, 231, 116303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116303>
- Manzini, E. (2009). New design knowledge. *Design Studies*, 30(1), 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.10.001>
- Max-Neef, M. (2005). Foundations of transdisciplinarity. *Ecological Economics*, 53(1), 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.014>
- Myers, W. (2012). *Bio design: Nature, science, creativity*. Thames & Hudson.
- Muratovski, G. (2022). *Research for designers: A guide to methods and practice* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Nicolescu, B. (2002). *Manifesto of transdisciplinarity*. SUNY Press.
- Ofer, N., Bell, F., & Alistar, M. (2021, June 28–July 2). Designing direct interactions with bioluminescent algae. *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference (DIS '21)* (pp. 1–13). ACM. <https://doi.org/10.1145/3461778.3462090>
- Qurraie, B. S., & Bayram, S. (2025). Exploring the impact of biophilic design: A research review. *ENG Transactions*, 6(1), 1–8. <https://engtransactions.com/viewmore.php?pid=235>
- Rabbassum, R. R., & Park, J. (2024). Development of a building evaluation framework for biophilic design in architecture. *Buildings*, 14(10), Article 3254. <https://doi.org/10.3390/buildings14103254>
- Rao, S., Good, J., & Alavi, H. (2025). Lessons from biophilic design: Rethinking affective interaction design in built environments. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.19867>
- Redström, J. (2008). RE: Definitions of use. *Design Studies*, 29(4), 410–423. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.05.001>

- Richardson, M. (2025). Modelling Nature Connectedness Within Environmental Systems: Human–Nature Relationships from 1800 to 2020 and Beyond. *Earth*, 6(3), 82. <https://doi.org/10.3390/earth6030082>
- Stainbrook, E. (1973). Man's psychic need for nature. *National Parks and Conservation Magazine*, 47(9), 22–23. <https://npshistory.com/npca/magazine/sep-1973.pdf>
- Tjia, V. A. S., Srinaga, F., & Thiodore, J. (2024). Development of an older adult community centre based on biophilic architecture principles to improve the quality of life. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1361(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1361/1/012053>
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420–421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2014). *World urbanization prospects: The 2014 revision*. United Nations. <https://population.un.org/wup/assets/WUP2014-Report.pdf>
- Wilson, E. O. (1986). *Biophilia: The human bond with other species*. Harvard University Press
- Yin, J., Zhu, S., & Yuan, C. (2024). Health impacts of biophilic design from a multisensory interaction perspective. *Land*, 13(9), 1448. <https://doi.org/10.3390/land13091448>
- Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2021). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11, 114–141. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006>
- Zimmerman, J., & Forlizzi, J. (2008). The role of design artifacts in design theory construction. *Artifact*, 2(1), 41–45. <https://doi.org/10.1080/17493460802276893>

#### **AGRADECIMIENTOS**

A los profesionales del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) y del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), por su orientación en la obtención de los microorganismos.

A Jorge Mardones, del Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN), por su apoyo y asesoría constante.

A los académicos de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Alejandro Durán, Rodrigo de la Iglesia y Peter von Dassow y todo su equipo, por su guía y colaboración.

A los artesanos Jorge, de La Vidriería, y Juan Pablo, de Glasslab, y a Max Baeza, del Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad de Chile, por su guía en procesos de fabricación y materialidad.

**ANTONIA RAMÍREZ ÁVILA**  
antonia.ramrz.a@gmail.com  
CARRERA DE DISEÑO, UNIVERSIDAD DE CHILE  
ORCID ID: 0009-0006-0781-5204

DISEÑADORA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE. SU TRABAJO SE ORIENTA AL DISEÑO SENSORIAL Y BIOFÍLICO, CON ÉNFASIS EN LA EXPLORACIÓN DE EXPERIENCIAS EMOCIONALES. SU TRABAJO MÁS RECIENTE ABORDÓ LA INCORPORACIÓN DE BIOLUMINISCENCIA BACTERIANA EN UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL SENSORIAL, DESDE UNA PERSPECTIVA ÉTICA Y TRANSDICIPLINARIA EVALUANDO SUS EFECTOS EMOCIONALES.

**RUBÉN JACOB-DAZAROLA**  
rubenhjd@uchilefau.cl  
DEPARTAMENTO DE DISEÑO UNIVERSIDAD DE CHILE  
ORCID ID: 0000-0002-6693-803X

PROFESOR ASOCIADO DEL DEPARTAMENTO DE DISEÑO, UNIVERSIDAD DE CHILE, DISEÑADOR INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO, DOCTOR EN DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROYECTOS INDUSTRIALES, MÁSTER CAD CAM CIM, MÁSTER EN DISEÑO DE NUEVOS PRODUCTOS POR LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, ESPAÑA. ES ACADÉMICO E INVESTIGADOR ESPECIALIZADO EN LA RELACIÓN ENTRE EL DISEÑO, LA AFECTIVIDAD Y LA EXPERIENCIA. TIENE NUMEROSOS ARTÍCULOS Y CAPÍTULOS PUBLICADOS INTERNACIONALMENTE.