



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

POSGRADO EN ARQUITECTURA

**Biomimesis en la Arquitectura, una alternativa de  
autoiluminación para optimización de la energía.**

TESIS

Que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura

PRESENTA:

**Pedro Saldaña Solis**

Director de Tesis:

Mtro. en Arq. Enrique Bonifacio Gallardo Amador  
Facultad de Estudios superiores Aragón

**Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México**

**octubre 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# Biomimesis en la Arquitectura, una alternativa de autoiluminación para optimización de la energía.

Pedro Saldaña Solís



División de estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México

Director de Tesis: Mtro. en Arq. Enrique Bonifacio Gallardo Amador

Sinodales: Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

Mtro. en Arq. Humberto Islas Ramos

Mtro. en Arq. Sergio Alfonso Martínez

Mtra. en C. Darla Alejandra Torres Ariño

Contenido.....	4
Introducción.....	6
Metodología general de la investigación.....	7
Objetivos.....	9
Hipótesis.....	10
Limitaciones de la investigación.....	11
Justificación de la investigación.....	11
Capítulo I Marco Teórico.....	18
1.1 Problema de estudio.....	20
1.2 La Biomimesis ciencia base.....	23
1.2.1 Origen y Antecedentes de la Biomimesis y ejemplos.....	26
1.2.2 Aplicación de la Biomimesis.....	31
1.2.3 Análisis del diseño de la Biomimesis.....	33
1.2.4 Niveles de la Biomimesis.....	44
1.2.5 Desarrollos tecnológicos de la Biomimesis.....	46
1.2.6. Desarrollos Arquitectónicos de la Biomimesis.....	49
1.2.7. Metodologías de diseño de la Biomimesis.....	52
1.2.7.1. Proceso Lodato.....	52
1.2.7.2. Espiral de diseño Biomimético.....	54
1.2.7.3. TRIZ/BIOTRIZ.....	58
1.2.7.4. Proceso de la cima a la base (TOP_DOWN).....	62
1.2.7.5. Proceso desde el fondo hacia la punta (BOTTOM_UP).....	62
Capítulo II Iluminación.....	65
2.1 Conceptos Generales.....	66
2.2 luz visible.....	69
2.3 Efectos de la iluminación.....	72
2.4. Fuentes de Luz.....	74
Capítulo III Bioluminiscencia.....	78
3.1. Ecosistema Aprender de la naturaleza.....	79
3.2. Bacterias bioluminiscentes, hábitats y diversidad.....	83

3.3. Especies, sistemas y procesos.....	89
Capítulo IV Tecnología y Materiales .....	95
4.1 El Vidrio, material de construcción en la arquitectura .....	95
4.1.1. Tipos de vidrio.....	97
4.1.2 Generalidades y propiedades .....	98
4.2 Tendencias y avances .....	100
4.3 Fachadas de vidrio .....	102
4.4. El futuro del material translucido .....	110
4.4.1. La luz Materializada .....	111
4.5. Experimentación .....	113
4.5.1. Muestreo .....	114
4.5.2. Características de la laguna de Manialtepec.....	115
4.5.3. Medios de cultivos empleados y procedimiento.....	116
4.6. Resultados.....	122
4.7. Propuesta de modelo de la materialización de la bioluminiscencia. ....	124
Conclusiones.....	126
Tabla de ilustraciones .....	128
Bibliografía.....	130

# **A la materialización de la bioluminiscencia como alternativa para la optimización de la energía.**

## **Biomimesis en la arquitectura**

En este punto se dará la noción del objetivo general y objetivos particulares que este trabajo de investigación tiene, así como la importancia de esta.

En la hipótesis que se plantea en la investigación y se muestra posteriormente parte de una serie de preguntas definidas por el fenómeno de la bioluminiscencia que es el objeto de la investigación. Continuamos describiendo la metodología de la investigación desde el punto de vista general, así como el particular, también se detallan las limitaciones de la investigación.

La estructura de este documento está en cuatro capítulos especificados y definidos puntualmente. En el capítulo I se maneja la ciencia base que toma el autor para definir la línea de investigación del tema, el proceso para lograr nuevas tecnologías con la ciencia de la Biomimesis, así como conceptos y definiciones que respaldan el desarrollo del trabajo, generalizando que se nombra como marco teórico.

Respecto al capítulo II con el nombre de ILUMINACIÓN se analiza las características y tipos de iluminación existentes en la naturaleza, así como los efectos y su fuente de generación para plantear de una manera prospectiva su uso en las envolventes arquitectónicas en un material de construcción como lo es el vidrio o cristal.

En el capítulo III BIOLUMINISCENCIA se detalla y analiza esta fuente de iluminación en la naturaleza y su evolución, las especies que la producen, la identificación de las mismas en el área de estudio para analizar sus procesos y su posible aplicación.

Por último, en el capítulo IV TECNOLOGIA Y MATERIALES se analiza la evolución del material constructivo como lo es el vidrio o cristal, sus avances y la aplicación a fachadas arquitectónicas para llegar a la conclusión de la aplicación de la bioluminiscencia en él y su posible composición o estructura. Se continúa con las conclusiones de esta investigación, evaluando la hipótesis planteada por el autor, así como su congruencia.

La tesis contiene un glosario y una mesografía que se utilizó como fuente y la cual se recomienda como lectura obligada para acrecentar los conocimientos del tema tratado.

## Metodología general de la investigación

Biomimesis en la Arquitectura, una alternativa de autoiluminación para optimización de la energía. Es un trabajo de investigación predominantemente explicativa<sup>1</sup> con posibles aplicaciones experimentales.

El desarrollo de este trabajo de investigación será bajo los enfoques de los métodos de investigación troncales conocidos como: el método prospectivo y el método científico.

### *Enfoque prospectivo*

Este enfoque está dentro de la llamada nueva ciencia “prospectiva”, la cual se considera del futuro. Enfocada en la trascendencia de la visión estratégica que se debe seguir, deseablemente en la cual se diseñan los medios para llegar a él. Es esta parte del futuro no existente pero que el hombre es el único quien por sus acciones puede concebir como una realización mediante una estrategia de ordenamiento.

Los métodos de pensamientos prospectivos<sup>2</sup> no intentan adivinar el futuro sino buscan construirlo, considerando los siguientes puntos:

---

<sup>1</sup> La investigación explicativa busca el porqué de los hechos o fenómenos, estableciendo relaciones de causa y efecto, no solo al describir o hacer un mero acercamiento en torno a un fenómeno o hecho específico, sino que busca establecer las causas que se encuentran de tras de él. Este tipo de investigación logra la comprensión de un fenómeno determinado, buscando establecer las distintas causas, comportamiento o proceso.

<sup>2</sup> El pensamiento prospectivo tiene su origen en el artículo escrito por el francés Gaston Berger y publicado en 1957 por la revista “revne des Deux Mondes”. A este escritor se le debe el término de prospectiva. La reflexión prospectiva genera una amplia investigación sobre el porvenir en la que existen ya determinadas dos maneras de ver el futuro.

1. Como realidad única. Así lo ven aquellos que creen en el destino como un algo inmutable e inevitable.
2. Como una realidad múltiple. Así lo ven aquellos que creen que el futuro está lleno de posibilidades moldeables por diversos factores y la decisión del hombre.

La prospectiva utiliza métodos y técnicas de análisis que se utilizan fundamentalmente en la planeación de actividades humanas para lograr determinados objetivos específicos.

Dentro de la aproximación al futuro existen dos tendencias: la profecía y la prospectiva.

Bajo el análisis de la experiencia se agrupan los métodos y técnicas que permiten visualizar el futuro. Utilizando los conocimientos de pasado, la profecía construye el futuro, generando proyecciones y extrapolaciones de fenómenos acontecidos. Estos métodos son basados en tendencias deductivas de una visión retrospectiva.



1. Definir los objetivos de los modelos y los resultados que se desean obtener.
2. Definir los posibles escenarios.
3. Delimitar el objeto y significativo del problema.
4. Especificar la estructura aproximada del sistema de estudio
5. Analizar la estructura, las variables y las reacciones.
6. Elegir las técnicas de modelación.
7. Construir un modelo.
8. Determinar sus coeficientes.
9. Realizar pruebas de coherencia, consistencia, sensibilidad y precisión.
10. Aplicar el sistema de estudio.
11. Evaluar los resultados.

### *Enfoque científico*

El método científico apareció mucho después del amplio antecedente que tiene la ciencia de su nacimiento en la antigua Grecia con Hipatia o los filósofos griegos Arquímedes, Eratóstenes, Hiparco, Platón, etc.

Ocampo Ruiz, (1999) menciona que “Lo absoluto no existe en la ciencia moderna, existiendo un indeterminismo que depende de las leyes que gobiernan los procesos naturales, convirtiéndose en fenómenos relativos y probables. La ciencia moderna acepta que la realidad no es directamente accesible, y que, al observarla, la modificamos forzosa y necesariamente; en lo posible se acerca a la realidad construyendo básicamente modelos científicos que se ajustan y describen a las observaciones detenidas” (p.10)

Se emplea de manera universal el Método Científico por todos los investigadores y/o uno de entre muchos científicos, ya que requiere de la observación, la experimentación, los postulados, las matemáticas, las hipótesis, las explicaciones, las teorías, así como otras para permitir una descripción y conocimiento objetivo de la naturaleza.

Facilitar la elaboración de una investigación es el objetivo del método científico, siendo sistematizado un proceso de trabajo para obtener resultados. (Ocampo Ruiz, 1999) “el método científico proporciona las herramientas básicas para el análisis de fenómenos de la naturaleza.”

---

La prospectiva sin embargo acumula aquellos métodos y técnicas que permiten visualizar el futuro como una realidad diseñable, viniendo del futuro al presente partiendo de que el futuro es una realidad múltiple, esta es principalmente una actitud mental, reforzada por un proceso metodológico para hacer más probable un futuro.

## Objetivos

### *Objetivo general*

El objetivo general de este trabajo de investigación es el generar y proponer un diseño o probable modelo para un material estético translucido capaz de producir luz propia a partir del manejo de bacterias o dinoflagelados bioluminiscentes, analizando las soluciones que ha dado la naturaleza en las estructuras y procesos de bioluminiscencia en organismos vivos, con ello, aplicar este principio de imitación para que sea adaptable a fachadas o envolventes arquitectónicas de edificios y elementos que requieran de iluminación durante la noche, para ser visibles. ¿Cómo se establecerán las relaciones de interacción entre bacterias bioluminiscentes y un material en su estructura molecular para su funcionamiento como un solo objeto capaz de producir luz propia?

### *Objetivos particulares*

Como primer objetivo particular de esta investigación es el de investigar el desarrollo que se ha tenido la Biomimesis en el área de la arquitectura para su aplicación en la creación de nueva tecnología.

El segundo objetivo particular es el de investigar los procesos de la bioluminiscencia en distintos organismos y microorganismos que generan luz.

El tercer objetivo es el analizar la evolución en la tecnología aplicada a materiales translucidos específicamente el vidrio o cristal dentro del contexto de propiedades y su uso exterior para fachadas o envolventes arquitectónicas.

Como cuarto objetivo particular de la investigación que se realiza es el recopilar información sobre las condiciones físicas y ambientales de la laguna de Manialtepec en factores como radiación solar, contaminación, clima y factores que puedan alterar o favorecer la bioluminiscencia en dicha laguna, para obtener muestras de la bioluminiscencia y trabajar con ellas.

Como quinto objetivo particular es establecer el proceso de combinación de la bioluminiscencia y el material translucido (vidrio y/o cristal).

Las secuencias de los objetivos particulares anteriormente mencionados reflejan el orden del trabajo de investigación en su diseño y siendo ruta para lograr el alcance del objetivo general.

## Hipótesis

Al inicio este trabajo de investigación advino del planteamiento de distintas preguntas que inquietaban a mi ser, si la bioluminiscencia es la solución de algunos seres vivos para iluminarse en lugares donde no hay luz, el avance de la tecnología es impresionante en bien del ser humano y la biomimesis nos muestra cómo podemos lograr tecnologías a partir de la solución de los seres vivos.

Se buscará responder una serie de preguntas con esta investigación y encontrar propuestas y/o resultados que logren entender y dar una posible solución a los problemas que plantea el uso de la iluminación eléctrica en las envolventes arquitectónicas.

De forma deductiva, el razonamiento que podría responder estas preguntas planteadas, se podría asegurar que a diario se crean nuevos materiales inventados o descubiertos en el mundo, la mayoría de estos materiales se crean por la necesidad de resolver distintos problemas en distintas disciplinas a la arquitectura. ¿Puede la bioluminiscencia proporcionar la estructura para integrarse a un material no vivo que genere luz propia con acumulación de energía solar (fotosíntesis)? ¿Si los procesos biológicos de los seres vivos logran la producción de luz propia por medio de reacciones químicas, fotosintéticas o mecánicas, existe algún material que se autoilumine con estos procesos? ¿Cuáles son los elementos y/o productos en la actualidad que generan luz para la iluminación de elementos arquitectónicos y estos tienen un proceso natural? ¿Si el proceso de la fotosíntesis nos ha enseñado que la naturaleza capta la energía solar para utilizarla en sus procesos, existe la posibilidad de imitar este proceso para la aplicación en un material que capte y use esa energía solar?

La hipótesis fue planteada para esta investigación de la siguiente manera: Basado en el principio de imitación de los procesos naturales<sup>3</sup>, al aplicar la estructura molecular de la bioluminiscencia<sup>4</sup> en el material, y modificarlo genéticamente para que como ser vivo, se alimente ya sea con la energía solar para su uso o con algún sustrato, si todo lo anterior responden a una comprobación luego entonces, se logrará la propuesta de alternativa auto-

---

<sup>3</sup> Biomimesis o biomimética es un nombre que en la década de 1950 fue bautizado por Otto Schmitt, esto con el fin de pasar las ideas análogas de la vida a la ciencia que estudia la tecnología.

De manera empírica en los últimos 50 años se han producido dispositivos e importantes conceptos de forma exitosa. La Biomimesis siendo una definición del diseño inspirada en la biología y que está implicada en la adaptación o la copia, y que relativamente es un estudio joven que alcanza el uso práctico de los mecanismos y funciones de los seres vivos en la ingeniería, química, diseño, electrónica, etc., y desde ya hace 3000 años las personas buscaban la inspiración en la naturaleza (los chinos trataron de hacer una seda artificial).

<sup>4</sup> La bioluminiscencia es el resultado de un fenómeno químico natural en los seres vivos capaces de producir luz propia ya sea utilizada con las funciones de referencias sexuales y ayuda al emparejamiento como lo hacen las luciérnagas, como defensa o para la supervivencia actuando como cebo, que es utilizado por los pejesapos, también como distracción, para la comunicación o el camuflaje, más adelante hablaremos un poco de cada uno de ellos. En algún momento se descubrió que las características de la bioluminiscencia en intensidad y eficiencia podrían ser usadas en aplicaciones tecnológicas de vanguardia, que es básicamente exclusivo de materiales inorgánicos.

iluminación del elemento constructivo. Con ello, se logrará una disminución en el consumo de energía eléctrica, ahorro económico, contribución a la mitigación del impacto ambiental y a la salud.

Este supuesto es una hipótesis de modelo general, buscando enfocar al problema como base en la búsqueda de datos. Siendo sometida a un análisis profundo durante el proceso de investigación. De esta manera se determina si aprobar o descartar dicha hipótesis. De manera científica y como se nos enseñó al redactarse como enunciado podremos tener señalado el sujeto, el cual es una variable independiente, en tanto a las variables dependientes son los atributos o calificativos. Analizando el enunciado de la hipótesis de este trabajo de investigación el sujeto está representado por la bioluminiscencia la cual es la muestra variable independiente que no podemos cambiar.

De acuerdo con Ocampo Ruiz (1999) “Epistemológicamente hablando, en el cuerpo de la hipótesis, la variable independiente es nuestro objeto de estudio, mientras que las variables dependientes, sus características evaluables, son atributos del mismo objeto. De acuerdo con la teoría del conocimiento, es el sujeto quien determina la relación con el objeto” (p.9)

## Limitaciones de la investigación

Existen limitantes en el proceso de investigación de la bioluminiscencia que es el tiempo y recursos financieros, la mejor manera de lograr la utilización de la bioluminiscencia es experimentando con ella, el tiempo que lleva la determinación de quien la produce y su reproducción es largo, así como su costo para ello.

Por lo cual, la experimentación y evaluación de la bioluminiscencia en laboratorio y campo es necesaria. A pesar de estas limitantes en la investigación se experimentará en laboratorio y mediante bibliográfica específica se complementará la información para este trabajo de investigación.

## Justificación de la investigación

Son distintas las energías renovables o sustentables de las cuales se puede alimentar la demanda de la energía, como lo son la eólica<sup>5</sup>, hidroeléctrica<sup>6</sup>, entre otras; sin embargo la

---

<sup>5</sup> El término «eólico» proviene del latín *aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. Es la energía obtenida a partir del viento generado por corrientes de aire. Los parques eólicos suponen fuentes de energía más barata y competitiva. A finales del 2014 la capacidad mundial de las instalaciones de energía eólica ascendía a 370 GW que se reflejan en el 5% del consumo de electricidad mundial. En México se generó 3073 MG en el año 2015 incrementando esta producción desde el año 2006. <sup>6</sup>

más importante en presencia por la cantidad que genera es la solar<sup>6</sup> ya que ha sido la fuente principal de vida, a pesar de saber que es finita, ha estado y estará por mucho más tiempo del imaginable. En la arquitectura la energía tiene un papel importante. La iluminación interior y exterior, el abastecimiento de agua, la movilidad vertical (escaleras eléctricas y elevadores) la climatización (calefacción y aire acondicionado) entre otros.

La conservación no es sólo un tema relacionado con la preservación de materiales y objetos, sino una noción igualmente relevante para el uso de la luz misma. Hoy en día, prevalece en la comunidad arquitectónica una conciencia omnipresente de la fragilidad de nuestros recursos naturales y de la importancia de la conservación de energía para asegurar la preservación de nuestros ambientes naturales y la sostenibilidad de los estándares de vida modernos. La futura conservación de la energía luminosa depende tanto de los avances en las tecnologías de iluminación como del uso significativo y responsable de la iluminación en el entorno construido.

En México la energía eléctrica<sup>7</sup> para abastecer estas funciones de iluminación se genera por combustibles fósiles tales como el gas natural, el petróleo y el carbón siendo un alto porcentaje en la producción total del país produciendo 192mw/h, comparándola con la energía solar que se transmite a la tierra que es de 50 mil millones de kW/h que equivale a 20 veces la energía de las reservas de combustibles finitos en el mundo durante un año.

En México el costo del servicio eléctrico tiene una tabla de precios que van en aumento considerable, debido a que la demanda de energía es mayor cada día. Los inestables costos de los combustibles fósiles provocan un círculo vicioso en el alza de los precios por consumo de energía el costo promedio es de (\$/Kmh) \$3.52., en uso residencial. (CFE, 2015) El uso de las celdas solares es cada vez más recurrido para la generación de

---

Generada aprovechando la energía del agua en movimiento para producir electricidad. La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable. desde la Grecia antigua han utilizado molinos de agua para moler trigo y hacer harina. Localizados en los ríos, los molinos de agua recogen el agua en movimiento en cubos situados alrededor del molino. La energía cinética del agua en movimiento gira el molino y se convierte en la energía mecánica que mueve el molino. desde la Grecia antigua han utilizado molinos de agua para moler trigo y hacer harina. Localizados en los ríos, los molinos de agua recogen el agua en movimiento en cubos situados alrededor del molino. La energía cinética del agua en movimiento gira el molino y se convierte en la energía mecánica que mueve el molino. Según el registro histórico de energía eléctrica generada por hidroeléctricas en México es de 100GWH en 1920 incrementando a 155,000 GWH en el 2008.

<sup>6</sup> Energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad. Cada año el sol arroja 4 mil veces más energía que la que consumimos, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado. La intensidad de energía disponible en un punto determinado de la tierra depende, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

<sup>7</sup> La capacidad instalada en 2011 se integró mediante una diversificación de fuentes de generación, siendo las centrales termoeléctricas las que tienen una mayor participación con 45.1%; las hidroeléctricas un 21.9%; las carboeléctricas un 5.1%; la única central nucleoelectrica 2.7%; dos fuentes más con recursos renovables, las geotermoelectricas, con un 1.7%, y las eoloelectricas con 0.20% de la potencia total de país.

energía alternativa, siendo el sol su fuente, el costo de inversión para la adquisición de generación de energía de esa fuente es costoso pero redituable a largo plazo al compararla con los costos de la compañía CFE<sup>8</sup>.

Hoy día la arquitectura ha pasado a ser un arte o arquitectura de espectáculo, esta tiene la iluminación como principal concepto visual, iluminando de noche el espacio al exterior. La ocupación diferencial de los espacios urbanos a lo largo de la noche, el turismo nocturno, la transformación de la ciudad en producto de consumo y su oferta creciente de ocio, dan paso a arquitectura de esta tendencia y para ello algunos ejemplos: *El Allianz arena* en Alemania<sup>9</sup>, (ilustración 1) *la BBI tower*<sup>10</sup> en Alemania, (ilustración 2) el *Gherkin*<sup>11</sup> en Inglaterra, (ilustración 3) o el ya conocido en México *Palacio de Hierro* en Monterrey. (Ilustración 4)

---

<sup>8</sup> La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la empresa del Estado mexicano que se encarga de la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país. Con dicha empresa, el gobierno federal maneja el parque eléctrico en México.

<sup>9</sup> El Allianz Arena es un estadio de fútbol ubicado en el barrio de Fröttmaning, al norte de Múnich, en el estado federado de Baviera, Alemania. Alberga los partidos como local del F. C. Bayern de Múnich de la 1. Bundesliga de Alemania. El diseño de la obra fue realizado por la firma Herzog & de Meuron, el cual fue seleccionado en febrero de 2003. La firma de seguros alemana Allianz, que es el principal socio de la sociedad que construye el proyecto, pagó para que el estadio llevara su nombre por los próximos 30 años. La arquitectura externa del Allianz Arena está compuesta de 2.874 paneles romboidales metálicos de ETFE (copolímero de etileno-tetrafluoretileno) a una presión de 0,035 hPa. Cada panel puede iluminarse de manera independiente de color blanco, rojo o azul. La intención es iluminar los paneles en cada partido con los colores del respectivo equipo local, o de color blanco cuando juega de local la selección alemana.

<sup>10</sup> La torre se encuentra en el aeropuerto de Berlín realizada por Kusus Arquitectos mide 31 metros de altura, la escalera de caracol en acero conduce hacia la parte superior, arriba existen dos plataformas de observación donde se puede divisar el nuevo complejo aeropuerto que se está desarrollando, se compone de una serie de triángulos isósceles que en cada nivel rotan 6 grados en sentido contrario a las manecillas del reloj, la fachada se recubre de una membrana blanca que permite cierto grado de transparencia visual durante el día. En el interior, un núcleo de concreto lleva el peso de toda la estructura, permitiendo que el exterior tenga una sensación de delicadeza y ligereza. Al llegar a la cima, hay dos cubiertas de observación, una plataforma encerrada y una cubierta abierta. El exterior, una membrana blanca ETFE, permite un cierto grado de transparencia visual durante el día y crea una torre de luz por la noche, ya que los diferentes colores estallan a través de la piel translúcida.

<sup>11</sup> 30 St Mary Axe conocido popularmente como The Gherkin, traducido como “El Pepinillo”, es un rascacielos neofuturista de uso comercial ubicado en la City, el corazón financiero de Londres. Con 180 metros de altura y 40 plantas, se sitúa como el cuarto edificio más alto de la City y el noveno más alto del Gran Londres y de Reino Unido. El edificio fue diseñado por Norman Foster





Ilustración 1 Allianz arena

Fuente: <http://www.osram.es/media/resource/lightboxlarge2/339265/allianz-arena.jpg>



Ilustración 2 BBI Tower

Fuente: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/4d/99/dc/4d99dc370f07fb7b2ff481ddc8bf5aa0.jpg>

pg



Ilustración 3 Gherkin tower

Fuente: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/cb/e5/8a/cbe58adb35e1b0979d7263f6de0606>



Ilustración 4 Palacio de Hierro Monterrey

Fuente: <http://soymercadorologo.com/wp-content/uploads/2014/10/Palacio-de-Hierro1.jpg>

Un proyecto de iluminación para una fachada puede llegar a modificar la visión de un barrio o convertirse en un emblema de una marca, incluso de una ciudad. También, en los casos extremos, una nueva construcción o la rehabilitación de un edificio puede hacer que este se convierta en un faro que transforma el espacio en un área llena de luz y, con ello, de vida y actividad.

Es verdad que la arquitectura no es para que se vea; pero si la arquitectura no se ve, es -en cierta manera- como si no existiera: desaparece para nosotros. Esto no quiere decir que los ciegos no tengan tanta necesidad de la arquitectura como los demás hombres, ni que la arquitectura deje serlo para ellos por el hecho de que no la ven, ya que -sin verla- reciben

también de ella su benéfico abrazo. Pero en nosotros es la vista la potencia que más nos hace vivir la arquitectura, no sólo porque es la única que da sentido a los valores meramente visuales y plásticos (importantísimos incluso desde el aspecto ambiental) sino porque nos hace vivir intensamente otros valores que, sin ser estrictamente visuales, al ser vistos se hacen más nuestros.

La luz, por el sólo hecho de permitirnos ver la arquitectura, tiene una gran importancia arquitectónica. Pero no sólo la tiene por eso. La luz ilumina la arquitectura, y, con ello, no sólo permite que la veamos, sino que la valora y enriquece con sus elementos. La arquitectura, por otra parte, crea los ambientes en los que el hombre puede desarrollar sus actividades, La luz ilumina esas actividades y las hace posibles. Constituye, pues, la idoneidad de esos ambientes. Además, la luz puede tener por sí misma -no ya por lo que ilumina- un valor decorativo o ambiental -arquitectónico- independiente de los valores funcionales.

No todas las ciudades ofrecen el mismo aspecto de noche. La noche se extiende de forma distinta sobre las urbes, según la posición que ocupan en el globo terrestre y la época del año. La noche está íntimamente ligada al contexto cultural y económico, cada civilización, cada cultura ha generado una relación diferente con la noche, hasta modelar nuestra comprensión de las ciudades contemporáneas.

La iluminación urbana no se ha desarrollado de igual manera en todas las ciudades, aunque las diferencias tiendan a desvanecerse a raíz de la mundialización del mercado y la homogeneización creciente de las políticas urbanísticas.

Tomando en cuenta lo anterior, si utilizamos energía alternativa, optimizando el uso en edificaciones con estas características en su arquitectura, esto se verá reflejado en la contribución a la disminución de contaminantes de manera mesurada y los costos en el consumo serán menores a largo plazo. Trayendo consigo menos afectaciones a la salud por las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>. Más adelante realizare un pequeño análisis para mostrar las consecuencias del uso de energía eléctrica en la arquitectura y su impacto directo. Con esto surge la necesidad de optimizar la energía aplicada a la arquitectura, teniendo como premisa la solución de la naturaleza en sus organismos; por tal motivo este trabajo de investigación está enfocado en el análisis, experimentación y uso de la bioluminiscencia para la creación de una estructura de compuesto molecular, aplicada a un material que sea capaz de auto-iluminarse y que no afecte al medio ambiente con mas CO<sub>2</sub>, siendo una aportación de ahorro de energía, ahorro económico y mitigación del impacto medio ambiental, teniendo una estética visual en la envolvente<sup>12</sup> arquitectónica<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Que envuelve o rodea, cubre una cosa con otra, capa exterior de una cosa.

<sup>13</sup> Es esa piel que separa el exterior del interior y esta comienza a desarrollarse desde el momento en el que se inician las delimitaciones interiores del edificio resultando como el exterior de dichos límites. La envolvente es una tensión que deriva del control espacial, en que una de sus tantas herramientas potenciales, es que sirve como generadora de la forma. Es una tensión de amplitud variable en el tiempo, que actúa sobre los parámetros de los espacios interiores, cubriéndolos de manera estética y formal.



Se está buscando alcanzar un valor socialmente responsable con el medio ambiente al aportar tecnología que interactúa con el mismo medio, además de absorber una gran cantidad de rayos solares que en gran parte entran al planeta.

En el campo de la Biomimesis solo se ha producido una transferencia del 10% entre la biología y la tecnología en términos de mecanismos usados, existiendo un potencial en la naturaleza por descubrir en combinación con materiales existentes. La Biomimesis es una estrategia de reinserción de los sistemas humanos dentro de los sistemas naturales. México tiene un gran potencial para la generación de electricidad a partir de energías renovables, así como la reducción del consumo de energía para la iluminación, cubriendo gran parte la demanda con fuentes de energía renovables. La arquitectura sustentable<sup>14</sup>, también denominada arquitectura sostenible<sup>15</sup>, arquitectura verde, eco-arquitectura y arquitectura ambientalmente consciente, es un modo de concebir el diseño arquitectónico de manera sostenible, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de la edificación de tal modo que minimicen el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes. La interconexión es el concepto teórico, definida como la integración de las soluciones de la naturaleza con innovación y solución de problemas por el ser humano. Los ecosistemas naturales funcionan a partir de ciclos cerrados de materia, movidos por la energía del sol, ésta es su característica fundamental. La Biomimesis que es imitar la naturaleza a la hora de reconstruir los sistemas productivos para resolver problemas de la humanidad, con el fin de hacerlos compatibles con la biosfera o medio en el que habita el ser humano, es recoge esta estrategia para poder tener un papel clave a la hora desarrollar tecnología útil.

¿Cómo la naturaleza inspira la arquitectura? La arquitectura tiene siempre insertado en sí mismo la interacción con la naturaleza del medio ambiente. Esencialmente, la arquitectura proporciona refugio de la naturaleza para proteger a sus habitantes. Históricamente, la naturaleza ha sido la principal fuente de inspiración que van desde las influencias de formas simples hasta la más simbólica traducción en el lenguaje arquitectónico. (Mazzoleni, 2013)

Así lo menciona P Gruber (2011) “El objetivo es emplear la biomimética como una herramienta en el diseño arquitectónico. Los campos de la arquitectura en las que procedan y sea necesario son diversas. La innovación ayudará a resolver los problemas actuales en la arquitectura y el medio ambiente, y los nuevos campos de la arquitectura y el diseño serán explorados, como por ejemplo, diseño de espacio. La comparación con los paradigmas biológicos estratégicos ayudará a identificar las áreas para la innovación.”

---

<sup>14</sup> Adj. Que se puede sustentar o defender con razones

<sup>15</sup> Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente.



Ilustración 5 Palacio de Hierro

Fuente: <http://imageshack.com/f/135/monterreyt.jpg>

El edificio del palacio de Hierro de Monterrey (ilustración 5) ubicado en San Pedro de los Garza, Nuevo León, México, es un edificio con una fachada minimalista y limpia de día, teniendo otra tónica de noche con una colorida iluminación, con una altura de 20 metros y un largo en sus 4 fachadas de 150 mts. Con cristales esmerilados iluminados por la parte posterior con luminarias color blust 12 fixtures. Requiriendo gran cantidad de ellas.

Un análisis que se realizó de este edificio conocido como palacio de Hierro de Monterrey (imagen 5) arroja los resultados de la siguiente manera: 1KW/h producido es igual a  $\frac{1}{2}$  Km de CO<sub>2</sub>. Para lograr la iluminación son necesarias más de 700 luminarias color de 50Watts que serán utilizadas durante un mínimo de ocho horas al día. Teniendo en cuenta la aplicación de la siguiente ecuación que nos arroja el consumo en KW/h =  $Días * (Watts/1000) * Horas\ de\ uso$ .  $30 * (50/1000) * 8 = 12KW/h$ . por luminaria; esto multiplicado por las 700 luminarias necesarias para la iluminación, da un total de 8,400 KW/h al mes. Estos 8,400KW/h son traducidos en 4.2Tm de CO<sub>2</sub> en emisiones durante la producción energética resultado de multiplicar estos KW/h \* 0.5 Km de CO<sub>2</sub>, siendo un aproximado del 1% de la emisión de CO<sub>2</sub> mensual de las 473.85 Tm de CO<sub>2</sub>.

Este resultado lo traducimos en aspectos económicos generan la cantidad de \$44,100.00 pesos mensuales en gastos por concepto de consumo eléctrico para iluminación de fachada.

Como podemos observar la arquitectura tiene gran compromiso para contribuir con la disminución del deterioro ambiental, daño a la salud y gasto económico, educar al público sobre la iluminación los hará consientes sobre el uso de la energía.

La contaminación lumínica es motivo de gran preocupación para los científicos y las personas que estudian las relaciones entre la naturaleza y el entorno urbano. Organizaciones como la Asociación Internacional de Cielo Oscuro (fundada en 1988) han surgido para abogar por la reducción de la iluminación innecesaria y la promoción de la oscuridad para el bienestar psicológico, ecológico y estético.

La conservación de la energía, el medio ambiente y la salud son temas que serán más urgentes en los próximos años y la responsabilidad que tenemos de maximizar los efectos de la luz, minimizando al mismo tiempo el consumo de energía, aumentar el cuidado del medio ambiente y la mitigación a las afectaciones de salud a medida que se desarrollan continuamente nuevas tecnologías de iluminación y se mejoran las ya existentes, factores como el costo, la calidad de la luz, la vida útil y la eficacia energética seguramente impulsarán las innovaciones.

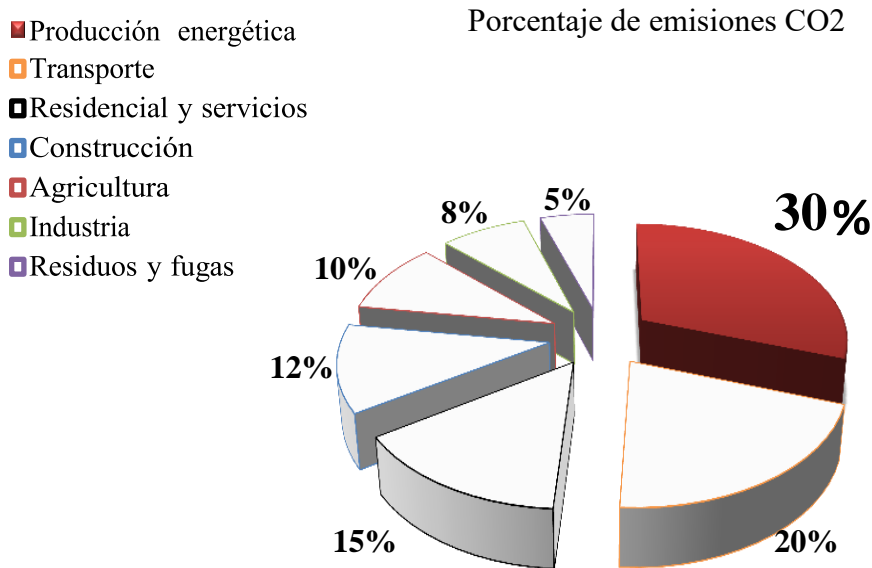


Gráfico 1 Porcentaje de emisiones CO2

Autor: Pedro Saldaña basado en informe nacional de emisiones CO2

En el grafico anterior, se muestra que del 100% de las emisiones de CO2 producidas en México, el 30% es derivado de la producción de energía eléctrica. La cual se utiliza en la arquitectura para iluminar fachadas como la mencionada con anterioridad, esto reitera que la arquitectura también es participe de las afectaciones que tiene el planeta por el actuar del ser humano.

## Marco Teórico

..."Si bien hemos sido rápidos en ver el potencial para el desarrollo de nuevos tipos de productos de la naturaleza, es sólo ahora que podemos ver el potencial de ahorro de energía también. Dada la creciente demanda de mejorar nuestra eficiencia energética y reducir la cantidad de contaminación que producimos, la biomimética ofrece una nueva área de estudio que podría obtener una recompensa fuerte para el futuro."...

Julian Vicente, Mayo de 2006

Dentro de este capítulo I se establecerá la relación que tengo frente al tema de estudio en este trabajo a desarrollar. Como su nombre lo indica este capítulo Marco Teórico establece definiciones fundamentales que ayudaran a comprender que es la Biomimesis, la bioluminiscencia su papel en la naturaleza. Debido a que la presente investigación estudia la materialización de la bioluminiscencia, se busca definir el análisis crítico de la Biomimesis aplicado en la arquitectura y el desarrollo de tecnologías aplicadas a la misma para una mejor calidad de vida y del medio ambiente.

Una de las razones por la cual me decidí a estudiar la maestría en arquitectura en el campo de Diseño Arquitectónico y de manera puntual el tema de este trabajo de investigación, se desglosa en dos visiones de pensamiento: la primera visión seria la personal y la segunda visión seria la académica.

En la visión personal, se pone en manifiesto el creciente e impresionante desarrollo tecnológico aplicado en la arquitectura en específico, así como la preocupante situación ambiental causada por el ser humano incluido en este término yo, me permite tener una visión a futuro en generaciones deteriorado ambientalmente en el cual la arquitectura aporta a este deterioro. Como arquitecto no me puede ser indiferente la situación actual y futura.

En la visión académica, siendo una persona con la inquietud de tener conocimientos y preparación continua, he tenido la fortuna de complementar la preparación profesional que obtuve en la Universidad Nacional Autónoma de México, con estudios posteriores. Como estudiante dentro de esa formación universitaria comprendí la trascendencia del pensamiento y su universalidad, que es primordial para la U.N.A.M. La necesidad de

continuar sirviendo como universitario, con un criterio amplio y aportar, enriquecer y crear causas de información. Siendo el momento en el cual los conocimientos adquiridos por mi persona sean de utilidad de alguna manera a las personas, al medio y a la naturaleza.

Entre más observemos a los seres de la naturaleza más sabemos que desconocemos mucho de ellos y de lo que sortean para sobrevivir, así podríamos copiar sus funciones y aplicaciones a la tecnología, así es como la Biomimesis apuesta a la ingeniería de la naturaleza y su solución de millones de años que tiene de experiencia.

Desde los inicios solo se ha observado a la naturaleza y el mundo que nos rodea, de los animales y las planta se ha logrado volar sobre mares y océanos, descubrir nuevos mundos, esto porque nos creemos perfectos e inteligentes, pero solo ha sido copiado.

“Después de estudiar un organismo durante 40 años no dejamos de aprender de el...” (Benyus) Escritora y bióloga. Los grandes exponentes de la Biomimesis son el Dr. Julian Vincent<sup>16</sup> y Janine Benyus<sup>17</sup>

La preocupación del calentamiento global nos lleva a tomar conciencia del grave problema que significa, motivando la iniciativa de contribuir a la mitigación del deterioro ambiental, aportando beneficios en la salud del ser humano, en la economía y en el medio ambiente. El sentido de este proyecto es analizar los procesos de la bioluminiscencia y la fotosíntesis para aplicarlos al material constructivo aplicado a la arquitectura. Recolectando datos de variables como seres bioluminiscentes; con métodos de composición, especificidad, propiedades, etc.

---

<sup>16</sup> Profesor de Biomimética de la Universidad de Bath; su experiencia incluye propiedades mecánicas de materiales y estructuras biológicas; la aplicación de los conceptos de la biología dentro de la ingeniería; textura de los alimentos; diseño mecánico de las plantas; pone a la biología como una herramienta para la innovación. Él está expandiendo un sistema de Rusia para la resolución de problemas (TRIZ) para hacer el diseño biológico disponible para los ingenieros, y quiere ampliar este enfoque general para todas las empresas humanas. También se está moviendo en biorobótica con proyectos basados en insectos, barro, madriguera gusanos, (para diseñar un nuevo tipo de endoscopio de colon) y salto (salto de un robot para tareas de vigilancia). Presidencia de nueva creación en la biomimética en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Bath, en octubre de 2000. Pasó la mayor parte de su carrera de investigación en el Departamento de Zoología de la Universidad de Reading, estudiando el diseño mecánico de los organismos y la elaboración de formas en las que los aspectos del diseño pueden ser utilizados en la tecnología

<sup>17</sup> Es una americana escritora de ciencias naturales, (nacido en 1958 en Nueva Jersey), consultora de la innovación. es autora de seis libros sobre la biomimética, incluyendo Biomimicry: Innovación Inspirado por la naturaleza. En este libro se desarrolla la tesis básica de que los seres humanos deberían emular conscientemente genio de la naturaleza en sus diseños. En Biomimicry, Es una graduada de la Universidad de Rutgers con grados en la silvicultura y la escritura. Ella es el presidente de la junta del Instituto Biomimicry cuya misión es naturalizar la biomimética en la cultura mediante la promoción de la transferencia de ideas, diseños y estrategias de la biología al diseño de sistemas humanos sostenibles. Sus principios básicos de la biomimética son: La naturaleza se ejecuta en la luz del sol. La naturaleza sólo utiliza la energía que necesita. La naturaleza adapte a la forma de funcionar. La naturaleza recicla todo. La naturaleza premia la cooperación. La naturaleza exige experiencia local. La naturaleza utiliza el poder de los límites.

## 1.1 Problema de estudio

El reto del desarrollo sustentable necesita acelerar la generación de la energía renovable para bien de las futuras generaciones y en favor de la economía del futuro: una economía cada vez menos dependiente de los combustibles fósiles. La mayoría de la electricidad actualmente se genera quemando combustibles fósiles, esto produce altas temperaturas que mueven algún tipo de máquina térmica, a menudo una turbina de vapor. (En la C.D.M.X: y Estado de México se producen 192 MW por medio de Turbinas de gas, el 73.6% de la producción total del país es con quema de combustibles fósiles).<sup>18</sup><sup>19</sup><sup>20</sup> (CFE Comisión Federal de Electricidad, 2014) Las reservas de combustibles fósiles son grandes, pero finitas. Más graves son las preocupaciones acerca de las emisiones que resultan del quemado de combustible fósil, el cual constituye un repositorio significativo del carbón enterrado bajo tierra. Al quemarse se produce la conversión de este carbón a el dióxido de carbono, el cual se diluye en la atmósfera, lo que produce un incremento en los niveles del dióxido de carbono atmosférico, que refuerza el efecto invernadero<sup>17</sup> y contribuye al calentamiento global<sup>18</sup> de la Tierra.

El cuidado del ambiente es un tema que preocupa y ocupa a todos los países. Las consecuencias de modelos de desarrollo, pasados y actuales, que no han tomado en cuenta al medio ambiente, se manifiestan problemas de orden mundial como lo es el cambio climático. Las emisiones de GEI del sector eléctrico en 2005 fueron de 114mil Tm<sup>21</sup> de CO<sub>2</sub>|CO<sub>2</sub>e, que representó el 2.3% del total de emisiones por la combustión de combustible fósil. Para el año 2015 las emisiones por generación de electricidad se incrementaron hasta 383mil Tm de CO<sub>2</sub>|CO<sub>2</sub>e, siendo un 3.9% del total de emisiones mundial. México se encuentra en el lugar número 13 con 435.2 millones de toneladas métricas. Hoy día no solo las empresas sino las organizaciones y el estado se ven obligadas a buscar la generación de energía alternativa; los cambios climáticos se ven reflejados en fenómenos naturales cada vez más severos, como lo fue el caso del huracán Patricia<sup>22</sup> teniendo vientos sostenidos máximos de 325km/h.

---

<sup>18</sup> Datos del informe anual 2014 de la CFE Comisión Federal de electricidad.

<sup>19</sup> Es el calentamiento natural de la tierra. Los gases de efecto invernadero, presentes en la atmósfera, retienen parte del calor del sol y mantienen una temperatura apta para la vida.

<sup>20</sup> Incremento a largo plazo en la temperatura promedio de la atmósfera, se debe a la emisión de gases CO<sub>2</sub> que se desprenden por las actividades del ser humano.

<sup>21</sup> Tonelada Métrica.

<sup>22</sup> Fue el ciclón tropical más intenso jamás observado en el hemisferio occidental en términos de presión atmosférica, y el más fuerte a nivel global en términos de viento máximo sostenido con fecha del 20 al 24 de octubre de 2015.



## Top 13 Mundial de Emisiones de CO2

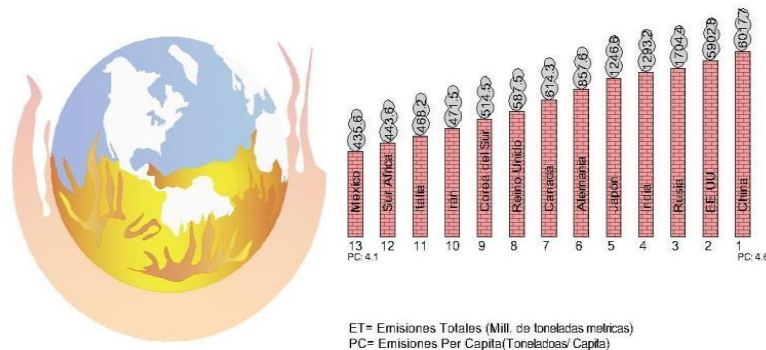


Ilustración 6 Calentamiento global

Fuente: Autor Pedro Saldaña

Agregando a estos problemas la grave afectación a la salud del ser humano por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, afectando notablemente en ámbitos de deterioro de la función respiratoria, depresión del sistema nervioso central, jaquecas, irritabilidad, fatiga, así como visión disminuida y daños en la retina, solo por mencionar las más notables.



Ilustración 7 Afectaciones a la salud

Fuente: Auto Pedro Saldaña

Esta problemática es de consecuencias de hechos colaterales ambientales y económicas, por mencionar algunos, como el derretimiento de los casquetes polares que trae consigo el incremento del nivel del mar, provocando que localidades costeras desaparezcan en bajo el nivel del agua. La aridez de la tierra es otro claro ejemplo ya que esto trae afectaciones a las actividades agropecuarias trayendo consigo emergencias alimentarias de proporciones inmensas, estas emergencias alimentarias de igual manera se verían reflejadas en el sector marítimo teniendo en cuenta que la acidificación de los océanos sería gradual disminuyendo la vida marina y la actividad pesquera.

Los fenómenos naturales que vemos en la actualidad son cada vez más poderosos y devastadores, debido a la calidez de las aguas, trayendo grandes pérdidas en millones de

dólares, estos gastos han ido en aumento de manera exponencial desde los años del 2005 en adelante, siendo el 2011 el año más crítico como lo muestra la siguiente imagen. (8)

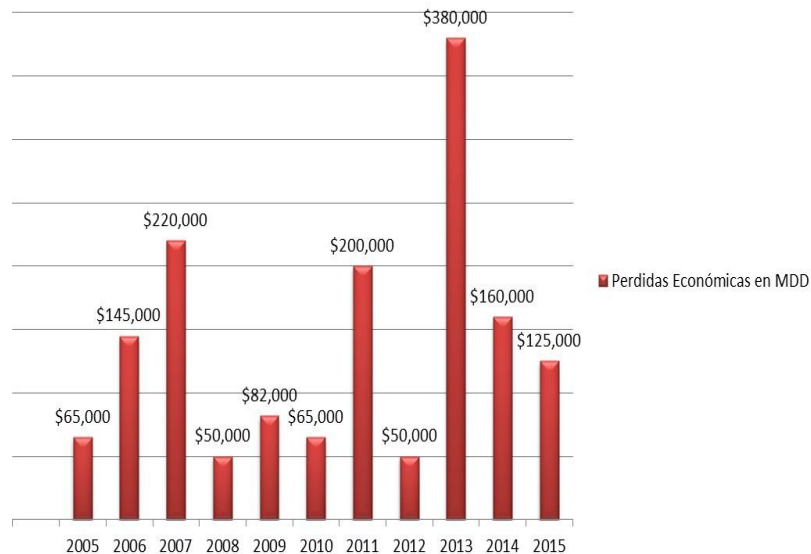


Gráfico 2 Pérdidas Económicas

Autor: Pedro Saldaña basado en datos de Energy Information Administration.

En el caso del huracán Patricia "Si se cumplen la trayectoria e intensidad pronosticadas por los meteorólogos para este evento, las pérdidas económicas agregadas podrían alcanzar los \$10,000 millones, un valor equivalente a medio año de remesas de los trabajadores mexicanos al país" (Zorrila, 2015)

En México el gobierno en colaboración con empresas lanza fideicomisos para el ahorro de energía eléctrica y recomienda a la sociedad a cambiar sus electrodomésticos (especialmente refrigeradores, aparatos de aire acondicionado o televisiones), preferir los equipos que cuenten con sellos distintivos del FIDE<sup>23</sup> ya que son productos que utilizan la energía de forma eficiente contribuyendo a optimizarla.

También se implementó el horario de verano en todo el país al adelantar una hora en los meses de marzo a octubre, de acuerdo a estos cálculos y con información de la CFE, la aplicación de este horario permite un ahorro en el consumo de energía eléctrica de 1'035,052 GW/h equivalente al consumo de 596,000 casas habitación durante un año (con un consumo promedio de 284 KW/h al bimestre). En términos económicos estas cifras equivalen a un estimado de \$1,455 millones de pesos considerando un costo de \$3.52 pesos el KW/h, pero aún más importante es que evita la emisión de 204mil toneladas métricas de CO2 (principal contaminante del efecto invernadero) equivalente a la quema de 1'319,000 barriles de petróleo crudo.

<sup>23</sup> Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica



El programa <<Ahórrate una luz>> en beneficio a 2'903, 081 familias, con la entrega de 14'515,405 focos ahorradores en todo el país. Siendo un ahorro de 12 kw al bimestre por foco. Nos refleja una cifra de 174Gw bimestrales.

Todo lo anterior nos da pauta y surge de la necesidad de optimizar la energía aplicada a la arquitectura, teniendo como premisa la solución de la naturaleza en sus organismos. La historia de la evolución nos muestra como diversos seres vivos han sabido adaptarse a sus condiciones climáticas o ambientales transformándose ellos mismos para variar su fisiología con el fin de convertirse en organismos más eficaces.

El hombre, sin embargo, antes que adaptarse él, ha desarrollado desde siempre tecnologías. Por ello la naturaleza debe ser objeto de investigación para comprender mejor como crea materiales, como organiza sus procesos internos, y poder así producir estructuras artificiales más eficaces tanto en su proceso de implantación como en su funcionamiento.

## 1.2 La Biomimesis ciencia base

Conocida también como biomimética es un nombre que en la década de 1950 fue bautizado por Otto Schmitt<sup>24</sup>, esto con el fin de pasar las ideas análogas de la vida a la ciencia que estudia la tecnología. De manera empírica en los últimos 50 años se han producido dispositivos e importantes conceptos de forma exitosa. La Biomimesis se desprende de la información transferida de la biología a las ciencias de la ingeniería y la arquitectura.

El principal objetivo de la biomimética o biomimesis es proporcionar una comprensión profunda de las soluciones y estrategias que han evolucionado con el tiempo y su posible implementación en la práctica tecnológica. Muy a menudo se debe llegar hasta la escala microscópica y, en última instancia, hasta la escala molecular.

La Biomimesis siendo una definición del diseño inspirada en la biología y que está implicada la adaptación o la copia, y que relativamente es un estudio joven que alcanza el uso práctico de los mecanismos y funciones de los seres vivos en la ingeniería, química, diseño, electrónica., y desde ya hace 3000 años las personas buscaban la inspiración en la naturaleza.

A inicios del 2007, 6.6 mil millones de personas de personas son las que habitan este planeta, casi todos viven en ciudades, pueblos o comunidades. Para cubrir nuestras

---

<sup>24</sup> Estadounidense inventor, ingeniero y biofísico conocido por sus contribuciones científicas a la biofísica y para establecer el campo de la ingeniería biomédica. Schmitt también acuñó el término biomimética e inventó el disparador de Schmitt, el seguidor de cátodo, el amplificador diferencial.

necesidades en muchos aspectos, hemos como seres humanos logrado transformar el medio natural.

Se calcula que aproximadamente la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas demasiado pobladas y este entorno de construcción ha sustituido al entorno natural. Algunas características que en otros tiempos se encontraban en la naturaleza, se han ido introduciendo de manera artificial, cultural o social con el fin de lograr una mejor calidad de vida.

La rama de la construcción y por lo tanto la arquitectura son partícipes de acontecimientos como: el uso excesivo de la energía, la pérdida de terrenos naturales, la explotación irreversible, emisiones en suelos, agua y aire. De continuar con la contaminación la arquitectura tendrá un futuro y un entorno peligroso para brindar refugio. (Gruber, 2011)

La Biomimesis es la creación de estructuras que prosiguen los procesos lógicos de funcionamiento de elementos biológicos. (Metabolismo, energía, flujos, naturaleza, estructura.)

Como se ha mencionado anteriormente en este trabajo de investigación a lo largo de millones de años la labor de la naturaleza ha tenido resultados de creación en gran diversidad y complejidad de los seres vivos y como máximo ejemplo de desarrollo sería el ser humano.

Para mejorar su habitar sobre la tierra, el hombre ha desempeñado la labor de creador de estructuras funcionales que abarca un extenso rango. La misma historia de la evolución nos ha mostrado como diversos seres vivos se adaptan a sus condiciones ya sean ambientales o climáticas, logrando modificarse ellos mismos para cambiar su fisiología,<sup>25</sup> esto con el propósito de ser más eficaces como organismos.

Esta adaptación no es un reflejo en el hombre, este crea y desarrolla tecnologías que transforman el medio. Las transformaciones de la materia para habitar la naturaleza, ha creado un ecosistema global económico que ha transformado a los propios patrones del clima.

Sin embargo, a micro escala el cerebro sigue siendo más inteligente que el más inteligente de los ordenadores: los árboles crean energía y tienen un metabolismo más eficaz que el más eficaz de los edificios; ciertos animales son capaces de regenerar algunos de sus órganos y existen ejemplos de materiales inteligentes y reactivos naturales más eficaces que cualquier creación humana. (Guallart, 2008)

---

<sup>25</sup> Del griego physis, naturaleza y logos, conocimiento o estudio, es la ciencia que estudia las funciones de los seres vivos y el cómo un organismo lleva a cabo las diversas actividades vitales: cómo siente, cómo se mueve, cómo se adapta a unas circunstancias cambiantes, y cómo da lugar a nuevas generaciones. El término fisiología fue utilizado por Aristóteles (384-322 a.C.) para describir el funcionamiento de todos los organismos vivientes y por Hipócrates (460-377 a.C.) que lo asociaba al “poder curativo de la naturaleza”.

Mediante la Biomimesis se pueden reproducir los procesos lógicos funcionales tomando a la naturaleza como objeto de investigación para así comprender mejor, como organizar procesos naturales, como crear nuevos materiales más eficaces en su funcionamiento y en su implementación.

Los seres humanos son inteligentes, pero sin querer, nos han creado enormes problemas de sostenibilidad para las generaciones futuras. Afortunadamente, las soluciones a estos retos globales están a nuestro alrededor. Biomimética es una aproximación a la innovación que busca soluciones sostenibles a los problemas humanos mediante la emulación de patrones y estrategias probadas por el tiempo de la naturaleza. El objetivo es crear productos, procesos y políticas de nuevas formas de vida, que se adaptan bien a la vida en la tierra durante el largo plazo. La idea central es que la naturaleza ya ha resuelto muchos de los problemas que están tratando de resolver. Animales, plantas y microbios son los ingenieros consumados. Después de miles de millones de años de investigación y desarrollo, los fracasos son los fósiles, y lo que nos rodea es el secreto de la supervivencia. (Institute, 2015)

La arquitectura es importante en este contexto porque cuando se enfoca en el desarrollo y en el progreso, hay que pensar en la tradición y la tecnología, así como en la innovación y la experimentación. Algunos ejemplos que se utilizaran para ilustrar serán esperando cubrir la brecha entre las tipologías tradicionales de construcción que se han desarrollado durante un largo tiempo y los nuevos diseños que contienen innovación de algún tipo. Muchos proyectos llegan a ser ejemplos clásicos de su tiempo o el de la tecnología que representan.

Algunas definiciones que se usan en esa ciencia son:

**Biomimesis:** Acuñado por un grupo de Estados Unidos en torno a Janine Benyus, usando el genio de la naturaleza para desarrollar innovación. El enfoque holístico incluye el diseño ecológico así como el interés por la innovación tecnológica. (Institute, 2015)

**Bioinspiración:** Es la expresión más general para el diseño inspirado en modelos naturales, incluyendo todos niveles de abstracción, también interpretaciones puramente morfológica. (Institute, 2015)

**Biomorfología:** Es la ciencia de la construcción y de la organización de los seres vivos y sus componentes sus órganos, tejidos y células. (Guallart, 2008)

**Micromorfología:** Examina y describe la forma de objetos en microscópica y representa un tesoro de formas funcionales. (Guallart, 2008)

**Biomecánica:** Es la aplicación de las leyes físicas de la mecánica a los objetos naturales. (Institute, 2015)

Biofísica: Examina y describe los objetos biológicos con los términos y métodos de la física. (Institute, 2015)

Biotecnología: Explora los objetos biológicos usando técnicas y métodos. En tiempos recientes la noción se ha desplazado hacia tecnologías que utilizan organismos para la producción, por ejemplo, enzimas, drogas y productos farmacéuticos. La biotecnología también se relaciona con organismos genéticamente modificados. (Guallart, 2008)

### 1.2.1 Origen y Antecedentes de la Biomimesis y ejemplos

El concepto o termino Biomimesis o biomimética fue conocido en 1950 pero fue hasta los años 80 que comenzó a popularizarse cada vez más bajo el concepto de “desarrollo sostenible” en todo el mundo. Janine Benyus fue quien en 1982 popularizo el término de Biomimesis en su libro “*Biomimicry Innovation Inspired by Nature*”. La científica Benyus y un grupo de científicos tomaron un nuevo tipo de conciencia ambiental, teniendo la idea de sostenibilidad más integral con la naturaleza. En este libro se define el concepto de Biomimesis como la ciencia que analiza los procesos de la naturaleza y los imita para inspirarse y lograr mejorar la vida humana, haciendo énfasis en la sostenibilidad como objetivo de la Biomimesis.

El término "biomimética" apareció en los años de 1960, aproximadamente al mismo tiempo que apareció el término "biónica", que encontró su reinterpretación en el alemán "*Bionik*", esta es la combinación de las primeras y últimas sílabas de las palabras "Biología" (biología) y "técnica" (Tecnología). Mientras tanto Biomimesis es ampliamente aceptada como una interdisciplina de la ciencia que ofrece la innovación en una amplia gama de campos de aplicación como: la arquitectura, el diseño y la construcción; Estos campos son prometedores para la innovación biomimética. (Gruber P.)

Históricamente, desde tiempos inmemorables la naturaleza ha sido la principal fuente de inspiración, que van desde las influencias formales simples de la traducción más simbólica en lenguajes arquitectónicos. Los antiguos griegos modelaban la ornamentación de la flora local para simbolizar la naturaleza en sus columnas y templos. Diseñadores de hoy en día están fomentando activa y digitalmente un vocabulario arquitectónico (la mayoría de los cuales aún no se ha construido) la cual se asemeja a las formas encontradas en la naturaleza.<sup>26</sup>

Un buen ejemplo es el desarrollo histórico del vuelo humano, un reto que había ocupado a investigadores e inventores durante siglos, donde se tomó en consideración una amplia

---

<sup>26</sup> Arquitectura orgánica o el término “arquitectura orgánica” fue acuñado por el famoso arquitecto Frank Lloyd Wright (1868-1959)

gama de modelos de la naturaleza. Esta es una disciplina que se ha comprometido a aprender de la naturaleza. Werner Nachtigall ha contribuido a la investigación de los antecedentes históricos de la Biomimesis y a la evolución actual en su extensa recopilación "*Bionik - Grundlagen und für Beispiele Ingenieure und Naturwissenschaftler*"

En la historia podemos ver:

- A. Leonardo da Vinci<sup>27</sup> el genio renacentista que usó estratégicamente la naturaleza como modelo, se presenta a menudo como primer biomimeticista., diseño maquinas basado en los estudios y observación que realizaba de los pájaros,

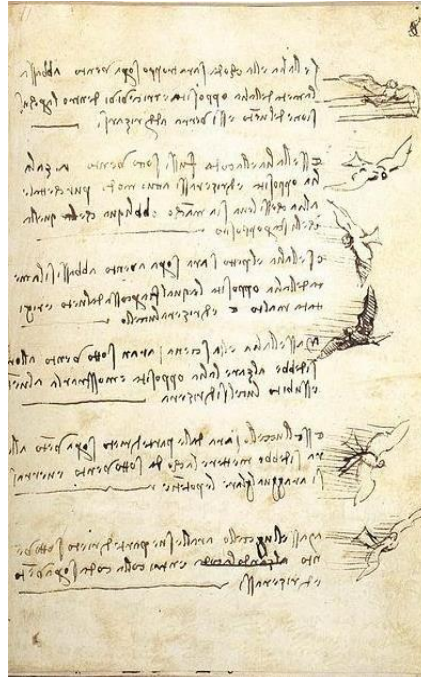


Ilustración 8 Los estudios de Leonardo da Vinci en el vuelo de las aves.

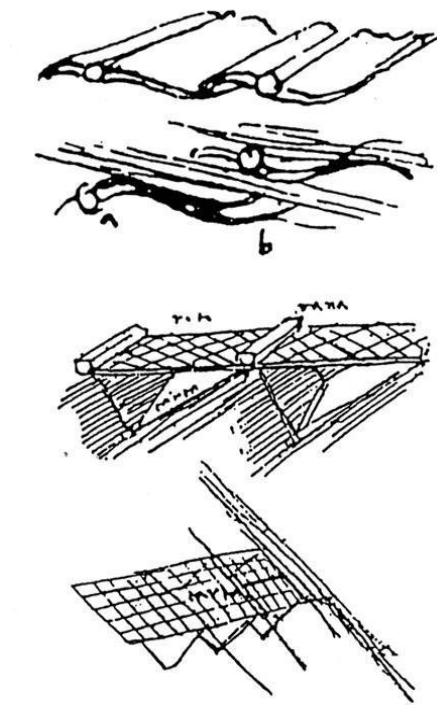
Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ab/Leonardo\\_da\\_Vinci\\_-\\_Codex\\_on\\_the\\_flight\\_of\\_birds\\_-\\_WGA12847.jpg/426pxLeonardo\\_da\\_Vinci\\_-\\_Codex\\_on\\_the\\_flight\\_of\\_birds\\_-\\_WGA12847.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ab/Leonardo_da_Vinci_-_Codex_on_the_flight_of_birds_-_WGA12847.jpg/426pxLeonardo_da_Vinci_-_Codex_on_the_flight_of_birds_-_WGA12847.jpg)

En 1505 Leonardo da Vinci compilo en un libro el vuelo de los pájaros ", vol Sul degli Uccelli".

"Los piñones libres del ala de las aves se cierran debido a su peculiar rodamiento y asimetría durante el dobléz hacia abajo; durante el dobléz hacia arriba abre a la creación de un flujo de aire. (Hoy este concepto de formación es una observación básica de biología técnica) Como consecuencia Leonardo sugirió utilizar aletas hechas de tracería de sauce cubierto con ropa de cama para las alas técnicas, lo que podría ayudar a estrecharse cuando el movimiento fuese hacia abajo y desplegarse cuando el movimiento fuera hacia arriba. (Esta es una sugerencia, la básica observación no se copia, pero el

<sup>27</sup> Leonardo da Vinci (1452-1519)

principio de la superficie en el cierre sin huecos y superficie de la abertura con creación de flujo de aire se resumieron de forma adecuada. El hecho de que esto nunca podría haber trabajado no es significado de que tendría que ponerse en duda. La propuesta está incrustada en el momento de la técnica. “(Gruber, 2011)



*Ilustración 9 Leonardo da Vinci: bocetos que investigan el solapamiento de las plumas y el flujo de aire a través de las alas del pájaro*

Fuente: Gruber P. (2011). Biomimetics in Architecture. Architecture of life and buildings. NewYork: Springer.

Leonardo ha elaborado numerosas ideas y observaciones de la naturaleza, que no fueron creados durante su vida, pero han influido en incontables inventores desde entonces. Leonardo hizo muchos de sus diseños, investigación e invención con fines militares. Estos diseños han sido una importante fuente de la innovación hasta la actualidad.

B. Clemente Adar diseño y construyo varios aviones mediante el diseño de las alas de un murciélago alcanzando un tramo de 300 mts.

El termino Biomimesis entra en el diccionario en 1974 y se define como “el estudio de la formación, estructura y función de las sustancias de origen biológico y materiales (como enzimas) y los mecanismos y procesos biológicos(como la síntesis de proteínas o la fotosíntesis), con la finalidad de sintetizar productos similares por mecanismos que imitan a los naturales”.



En el año de 1996 como una alternativa fresca de Biomimicry, fue diseñado el edificio Eastgate Center<sup>28</sup> en Zimbabwe con la finalidad de ser ventilado y refrigerado por medios naturales, siendo probablemente el primer edificio de su tipo en el mundo en utilizar este nivel de sofisticación, gracias a la Biomimesis se logró este edificio basado en las montañas de las termitas la cual siempre mantienen una misma temperatura en su interior si influir la temperatura al exterior de esta.

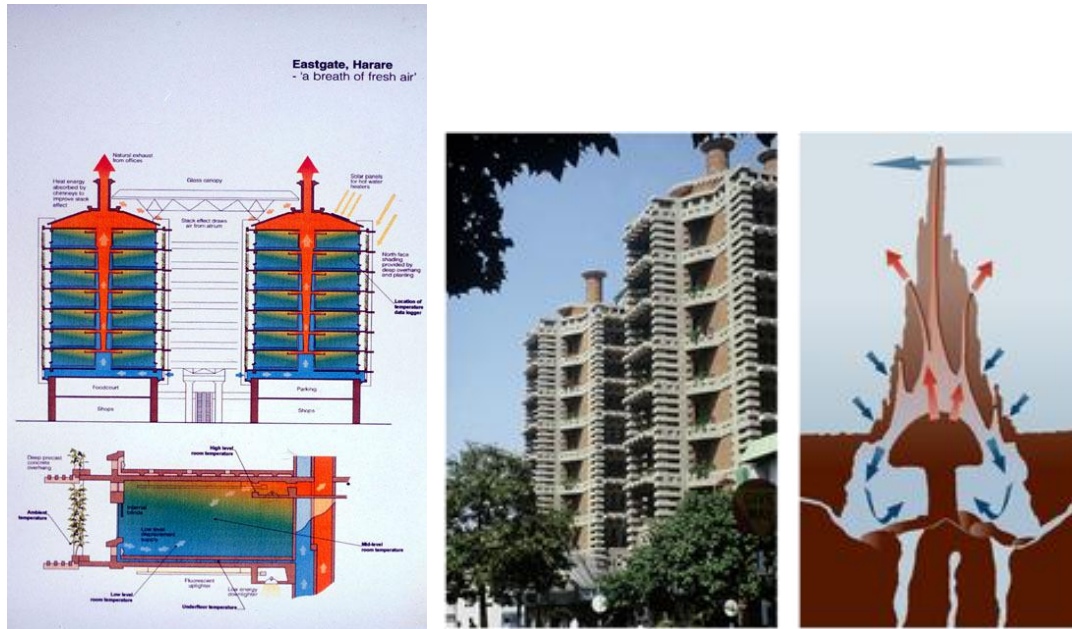


Ilustración 10 Eastgate Center

Fuente: <http://ecoedification.weebly.com/uploads/2/9/8/5/29855739/4148409.png?286>

*Biomimicry Guild* se funda en 1998 la cual es una consultoría a nivel mundial de innovación con conocimiento de la adaptación biológica, también implementa a la educación y la práctica de la innovación ayudando a arquitectos, ingenieros, diseñadores etc., para resolver problemas mediante la Biomimesis de forma sostenible.

Hacia el 2005 se funda el Biomimicry Institute con el único objetivo y sin fin de lucro de concebir un planeta saludable mediante la emulación de la naturaleza.

<sup>28</sup> El Eastgate Center en Harare, Zimbabwe, tipifica lo mejor de la arquitectura verde y la adaptación ecológicamente sensible. El complejo de oficinas y comercios más grande del país es una maravilla arquitectónica en su uso de principios biomiméticos. El edificio de mediana altura, diseñado por el arquitecto Mick Pearce en colaboración con los ingenieros de Arup, no tiene aire acondicionado o calefacción convencional, pero permanece regulado todo el año con un consumo de energía considerablemente menor utilizando métodos de diseño inspirados en la mampostería zimbabwense autóctona y los montículos auto- de las termitas africanas.

AsKNature se crea en 2008 por patrocinio de Autodesk con el fin de ser una fuente de inspiración en la línea biomimética. Dando a conocer grandes ideas de la naturaleza. Organizadas por el diseño y la función de ingeniería. Si se es un biólogo o un arquitecto o diseñador cual se puede compartir información haciendo valiosa al ser el organismo que se estudie en busca de las soluciones de este planeta. Cruzando el diseño con la biología se podrá dar paso a los avances bio-inspirados.

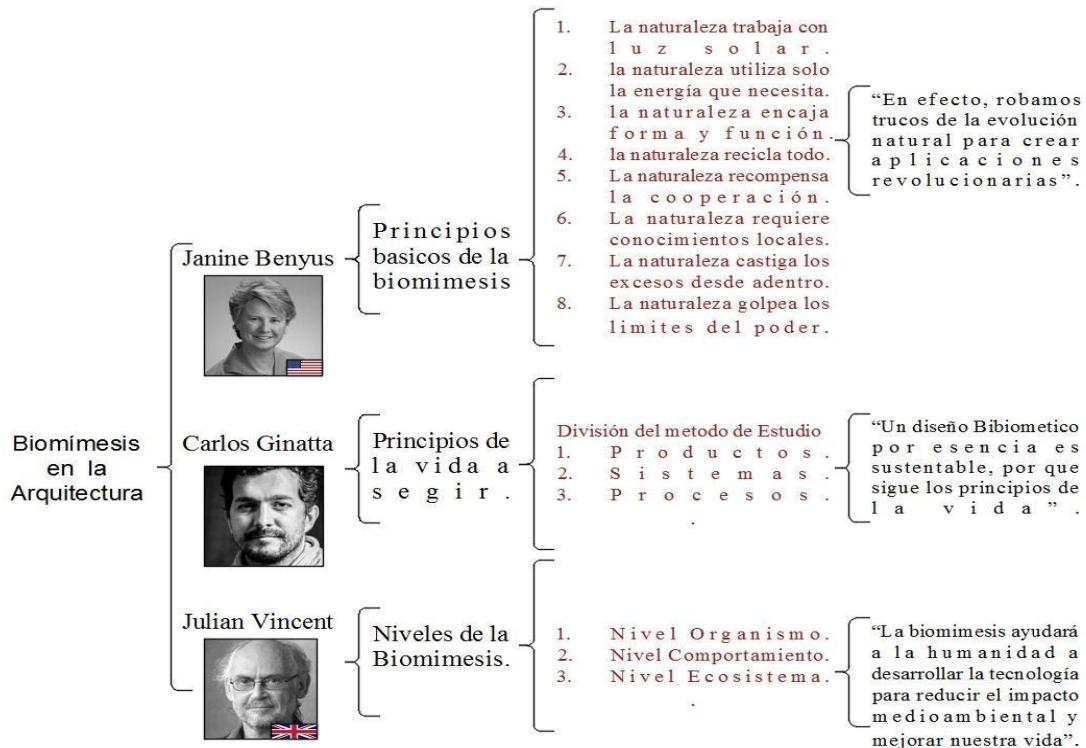


Ilustración 11 Máximos exponentes de la Biomimesis

Fuente: Creación Pedro Saldaña

...”en recientes desarrollos biológicos en la práctica y la teoría del diseño, tiende a repetir o reinterpretar las ideas en la historia temprana de la analogía biológica”... (Carlín, 2014)

Muchos movimientos en la historia de la arquitectura han tenido sus propios enfoques hacia la naturaleza, y arquitectos famosos, como Alvar Aalto, Frank Lloyd Wright y Le Corbusier han puesto énfasis en esta conexión.

Un punto de partida definido en el tiempo de la biomimética en la arquitectura no puede afirmarse. La inspiración de la naturaleza en la arquitectura ha existido en todo momento. El primer ser humano que tuvo como viviendas eran refugios naturales, y los arquetipos tales como cuevas y árboles han sido utilizados como modelos para el diseño arquitectónico largo de la historia.



## 1.2.2 Aplicación de la Biomimesis

La Biomimesis en Arquitectura es un campo que actualmente se encuentra emergente siendo definido y explorado. La aplicación de las observaciones hechas en la naturaleza para la arquitectura siempre ha sido un reto para los arquitectos y diseñadores, la estratégica de búsqueda de modelos de comportamiento en la naturaleza y siempre existente inspiración de la naturaleza. Mientras inspiración puede estar limitada a una analogía morfológica. La biomimética hace uso de analogías funcionales, procesos, mecanismos, estrategias e información derivados de organismos vivos.

Las coincidencias entre la biología y la arquitectura son múltiples, la observación de interacciones se basa en la cultura occidental de la naturaleza y la tecnología opuestas, a menudo haciendo caso omiso de la perspectiva dialéctica de la interactividad y la influencia mutua. Como Portoghesi<sup>29</sup> lo expresa así: "Al ser una parte integral de la naturaleza de nosotros mismos, nunca seremos capaz de hablar de ello desde el exterior, pero sólo desde el interior, sin saber si considerar algo creado y producido por el hombre como la naturaleza

En los templos egipcios, las analogías, a las formas son relativos a las plantas, que se encuentran en las columnas de piedra indican el uso de juncos y troncos de palmeras como elementos de construcción, y muchos otros ejemplos se refieren a simbólico así como el uso pragmático de los modelos de la naturaleza.

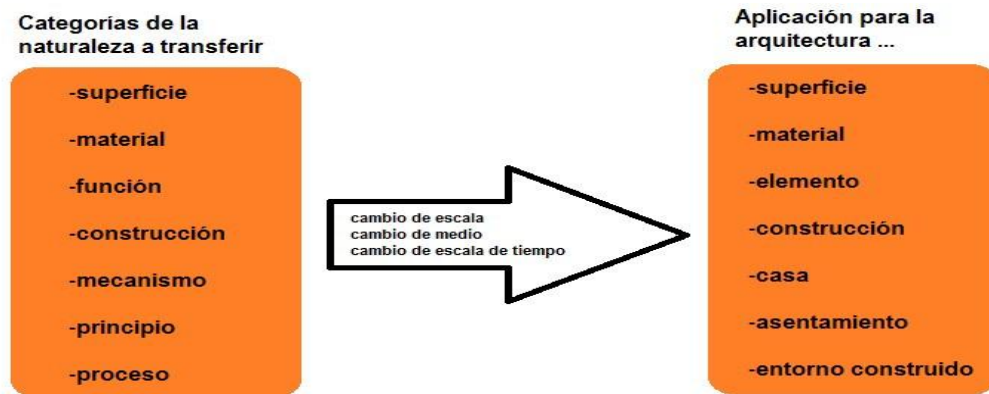
A pesar de la evidente importancia de la conexión entre la naturaleza y la arquitectura, se hicieron algunos intentos de investigar estratégicamente el tema, en campos más pequeños como zoomorfas y antropomorfas fueron explorados. Paolo Portoghesi compiló el libro enciclopédico "Naturaleza y Arquitectura", que no sólo es la más extensa colección de analogías entre la naturaleza y arquitectura, sino también discute paralelos estructurales y funcionales. El primer libro sobre "Architekturbionik", fue publicado por el ruso Juri Lebedew en la década de 1970 y presenta una colección completa de entonces hasta al día desarrollos arquitectónicos en todo el mundo, que se basaban en principios derivados de naturaleza, aunque sus creadores no piensan en sí mismos como biomimetistas.

La transferencia de información de una disciplina a la otra es la más interesante parte del proceso biomimético. La transferencia de la forma, la aplicación de algunas características morfológicas comunes en la arquitectura y el diseño y no puede ser excluidas de la discusión. Por otra parte, el significado simbólico es importante, ya busca proponer que las formas inspiradas en la naturaleza se conviertan en tópicos cuando la sociedad moderna se encuentra en crisis, y que el uso de las formas orgánicas.

---

<sup>29</sup> Arquitecto italiano nacido en Roma el 2 de noviembre de 1931. Autor de varios trabajos importantes para Italia. En el año 2000 escribió "Nature and architecture"

Incluso más general que la investigación y la transferencia de "naturaleza y arquitectura" es la transferencia de las cualidades que se pueden encontrar en la naturaleza. Hablando sobre interesantes "fenómenos naturales". Los fenómenos de la naturaleza pueden incluir superficies, materiales y/o estructuras, funciones, construcciones, mecanismos, principios (por ejemplo, auto-organización) o procesos (por ejemplo, la evolución), la entrega de los modelos a ser analizados, de manera abstracta y aplicada a las soluciones arquitectónicas en todas las escalas y niveles de diseño.



*Ilustración 12 Esquema de las categorías de la naturaleza*

Fuente: Creación Pedro Saldaña basado en la transferencia de información y aplicación.

## Biomimética por analogía

Toma el problema en la tecnología como punto de partida, el enfoque basado en problemas se introdujo la terminología "de arriba hacia abajo" y "de abajo hacia arriba" a este respecto por la Mota y Harder, junto con una descripción paso a paso de las actividades involucradas que se produzca durante un proceso de innovación biomimético. Los investigadores del Instituto de Tecnología de Georgia en el Centro de diseño biológicamente inspirado han descrito procesos similares en detalle de la solución y enfoques basados en problemas. La fase de abstracción tras una investigación profunda en las ciencias de la vida se considera crucial para el éxito de la transferencia.

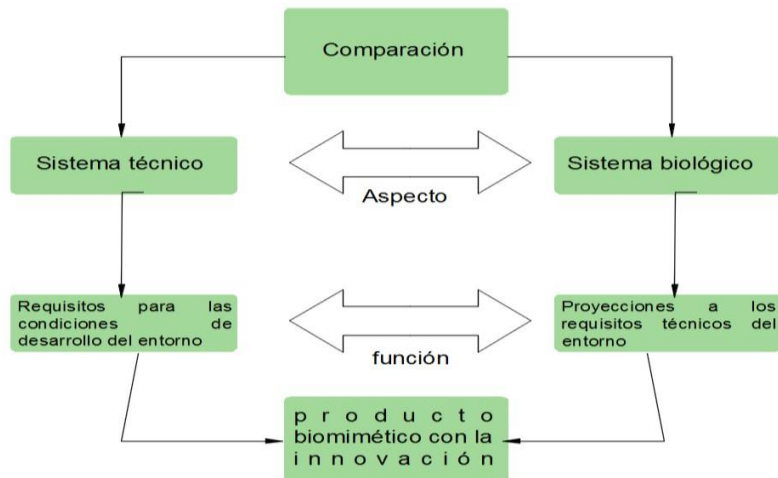


Ilustración 13 Enfoque comparativo de transferencia biomimética

Fuente Biomimetics-Materials, Structures and Processes

En el método de Biomimesis, la transferencia de los aspectos funcionales es la más adecuada, derivada de la hipótesis de que todas las construcciones existentes y estructuras en la naturaleza tienen una causa funcional, y que la función es la clave para el establecimiento de analogías adecuadas. (Gruber P.)

### 1.2.3 Análisis del diseño de la Biomimesis

La teoría de la evolución de Darwin nos dice que los organismos más exitosos son aquellos que se adaptan al cambio constante. ...” La selección natural es la preservación de una ventaja funcional que permite a la especie competir mejor en su hábitat”. (Todo sobre ciencia, 2002)

Un factor importante para que los organismos se desarrollen es el ambiente en el que vive, para así lograr una evolución en sus mecanismos, sus formas etc.

La adaptabilidad exitosa es contable según los cambios que han hecho cada organismo para vivir más eficientemente para tener un estable rango de nacimiento y para ser autosuficientes consigo mismos y su hábitat lo cual se traduce en una relación armónica a su ecosistema. (Carlín, 2014)

La vida de la tierra ha cambiado con el tiempo. Los seres vivos aparecieron hace aproximadamente 3,5 mil millones años en forma de células individuales y familias acuáticas de bacterias. Desde entonces, millones de especies han llegado a existir y han tomado múltiples formas, este proceso se llama evolución y es la teoría unificadora de la biología. La evolución es el marco conceptual que reúne a todas las disciplinas de la biología, porque explica cómo los seres vivos vienen a ser, cómo se relacionan entre sí, y cómo funcionan. En su forma más básica, la evolución significa simplemente cambio en las características de una población a través del tiempo.

En los seres más pequeños los cuales contienen claves que aún no se descifran, como lo son los microorganismos que tienen una gran aportación a la ciencia. La fotosíntesis<sup>30</sup> es un gran ejemplo de ello que la intentaron hace miles de años evitando así que se depredaran unos a otros, capturando la energía abundante del sol, con esto intentare algo similar, aprovechando la energía del sol estudiando la fotosíntesis para utilizar esa energía en la iluminación propia, probablemente me equivoque. El caso es que la manera de obtener la energía por medio de este principio es distinta a la de las células solares, tratando de emular el principio de la fotosíntesis o una manera diferente de hacerlo, y la eficacia que tendrá al obtener energía solar.

Se pronostica que para 2050 las personas estarán en las ciudades concentradas, esta cantidad de personas representara más 70% de la población mundial. Serán mega ciudades que demandaran grandes cantidades de recursos energéticos, pero como anteriormente lo mencionaba, el calentamiento global y la finita producción de combustibles fósiles llevaran en no mucho tiempo estas ciudades al colapso. Es por eso que la arquitectura en particular los arquitectos debemos voltear a la naturaleza como fuente de inspiración para brindar una solución.

El trabajo interdisciplinario es esencial para la investigación y el diseño de construcciones naturales. La investigación biológica básica debe ser la base para la biomimética. Los métodos de trabajo interdisciplinarios se requieren en ambos lados; la entrega en la investigación y la aplicación.

Con este fin, las barreras lingüísticas entre las disciplinas deben ser superadas. Por esta razón, el estudio de la Biomimesis incluye tanto las ciencias biológicas como las ingenierías. Los métodos de trabajo tienen que garantizar la adecuada comunicación y los resultados más rápidos en él.

En general, una buena cooperación y la comunicación dependen de la capacidad de ambas partes para ponerse en la posición del otro. Una comprensión básica de la otra Por lo tanto, las disciplinas es una condición previa para el trabajo en biomimética.

Los arquitectos suelen carecer de conocimientos básicos en las ciencias de la vida. Por una buena razón, pragmática sobre la entrada de información de los especialistas, tienden a cortar información y aportaciones de las ciencias de la vida demasiado temprano y no se llega a entender totalmente el fenómeno desde un principio. En consecuencia, el enfoque formal a menudo se toma como la primera y más obvia opción, y no el que se selecciona conscientemente entre otras opciones.

### Biomimesis en construcciones ligeras “Membranas, cáscaras y superficies”

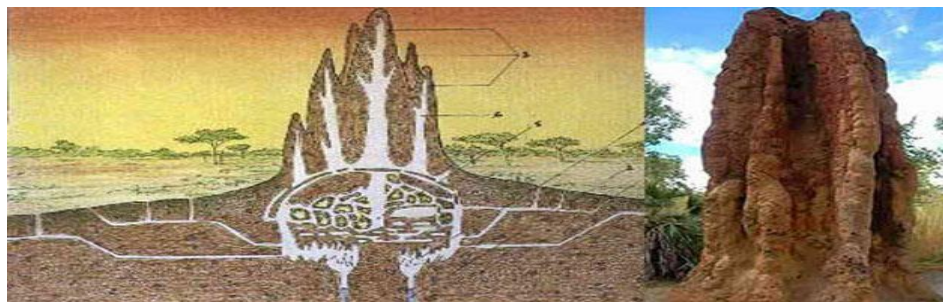
---

<sup>30</sup> Proceso químico por medio del cual las plantas son capaces de producir su propio alimento. Con la disposición de la clorofila se absorbe la luz necesaria. Las algas y las bacterias también son capaces de realizar este proceso. Este proceso transforma la energía de la luz del sol en energía química.

La protección contra el calor es un criterio esencial para el diseño de las zonas de clima cálido como la sabana y el desierto en los termiteros<sup>31</sup>. Los edificios de las termitas muestran este sistema de manera impresionante. Se han adaptado al clima caliente por la reubicación de su principal espacio de vida bajo tierra, en largos kilómetros de sistemas de vías subterráneas. Los canales conectan el edificio por encima del suelo (que puede haber muchos metros de altura) con lugares donde la comida se puede encontrar.

La forma y la construcción de los termiteros difiere según la especie, pero todos poseen un sistema de climatización sofisticado. El montículo por encima del suelo se compone de un material poroso, pero muy duro. Diferentes mecanismos de control están activos, con un sistema de canales responsables de la ventilación dependiendo de la temperatura ambiental. El aire frío es aspirado por canales de refrigeración hacia arriba desde el subsuelo. Durante la noche la corriente de aire es invertida y regenera el depósito de aire frío sus sistemas particulares utilizan canales profundos de agua en el suelo para obtener energía de refrigeración adicional a través la evaporación. Las termitas orientan incluso su montículo en forma plana asimétrica sus caras anchas en dirección este-oeste, mientras que las estrechas lo hacen en dirección norte-sur, esta disposición no es caprichosa y responde a efectos térmicos, no magnéticos, para evitar el sol caluroso del verano. De este modo reciben los primeros rayos de sol al amanecer calentando el termitero por la cara este, mientras la cara oeste permanece fresca. Cuando el sol está en su cenit, el calor es máximo pero éste no afectará a las termitas, ya que los rayos inciden sobre la estrecha zona superior.

La razón de todo este esfuerzo es el control de la humedad y la temperatura, con el fin de proporcionar un medio ambiente para las termitas y su descendencia en el nido. Los montículos de termitas sirven como un modelo para un sistema de ventilación pasiva efectiva para el control del clima interior. Los esfuerzos tienen el hecho de traducir este principio en la arquitectura.



*Ilustración 14 Termitero*

Fuente: <http://verdigalgroup.com/wp-content/uploads/2016/06/termite-mound.jpg>

<sup>31</sup> Los Termiteros de barro de hasta tres metros de altura. Las termitas son sensibles al calor y un exceso del mismo las mataría, El otro tipo de termitero es una estructura en forma de torre que puede llegar a alcanzar los ocho metros de altura. Debido a la gran cantidad de habitantes que hay en el termitero (hasta varios millones) se genera calor, el aire se podría estancar y recalentar hasta un máximo letal para las termitas.

## Biomimesis en la locomoción “Caminar, nadar y volar como formas primarias de movimiento”

El principio básico del vuelo en la naturaleza y en la tecnología es la elevación por alas. La sección transversal de las alas se forma de una manera que la presión con flujo que se aproxima en el lado negativo es más alto que el que está en el lado superior. La fuerza resultante es el levantamiento que permite el vuelo debido a esta diferencia.

La diferencia de presión se reduce a cero en la parte trasera del borde y la punta del ala. Un flujo de equilibrio intenta unir a las regiones con diferentes presiones. Un largo vórtice se crea, además de la corriente de aire principal, que fluye fuera de la parte posterior, su arrastre pierde algo de la energía total que requiere para la propulsión, que es entre 30% y 50%. Las aves marinas resuelven este problema, con alas muy largas, con puntas estrechas y con pequeños vórtices de arrastre. Para otras aves y aviones una amplia extensión de las alas es incómodo. Se ha resuelto este el problema con dividir los extremos del ala, con la creación de muchos vórtices pequeños, de menor resistencia. Pero la distancia entre las puntas debe ser lo suficientemente grande para que los pequeños vórtices que no logran unirse en un gran vórtice, multipliquen la resistencia. Por esta razón, y debido a la dinámica durante el vuelo no permite que una solución estática, la llamada monowinglet sea común que una solución técnica para arrastrar la reducción en la punta del ala.

Con una estrategia de biomimesis de Rechenberg, un Mult-winglet se optimizó cuya tasa de planeo es mejor en un 11%, aún mejor que la de la versión del año 1983 utilizando el principio de la forma de bucle "hojas" para hélices y turbinas de viento, esto para reducir la turbulencia.



*Ilustración 15 Gaviota y sistema Multi-winglet*

*Fuente: Gruber P. (2011). Biomimetics in Architecture. Architecture of life and buildings. NewYork: Springer.*



## Biomimesis en biónica procesal "Procedimientos o procesos de la naturaleza"

Los procesos biológicos son investigados, imitados o aplicados en la tecnología. La fotosíntesis, se ha desarrollado de una hoja artificial, los procesos de reciclado, la desalinización son ejemplos que se refieren a la energía y de la ecología. Las células solares orgánicas a base de polímero se investigaron y se desarrollaron en todo el mundo por muchas investigaciones e instituciones de desarrollo. La tecnología de impresión se investigó en películas delgadas de células solares orgánicas por Serdar N. Sariciftei en la Universidad Kepler en Linz. En 1994, la compañía anunció una mejora de la eficiencia de hasta el 6,5%. Comparado con las células solares de silicio comunes, la nueva tecnología se pueden producir a bajo costo, las láminas flexibles y translúcidas pueden ser integradas en todo tipo de productos, así como en elementos de arquitectura.

La transferencia de métodos en ideas de la naturaleza a la tecnología, y en especial estratégicamente a la arquitectura, es una condición importante que tiene que cumplirse.

Aquí algunos diseños inspirados en la naturaleza. El clásico ejemplo de la Biomimesis es el GECKO de la familia geconida, caracterizada por su fisonomía y hábitos nocturnos. Esta lagartija puede caminar en cualquier superficie sin caer, solo con que los dedos de las patas toquen la superficie, hasta en la superficie de un vidrio. La presencia de almohadillas pequeñas en los dedos que con millones de minúsculos pelos cortitos de queratina hacen que el gecko se adhiera finalmente a la superficie y le permite escalar sin dificultad.



*Ilustración 16 GECKO*

Fuente: <https://emagrammer.files.wordpress.com/2011/12/la-pata-del-geco.jpg>

Los Geckos son lagartos y pertenecen a la infra orden Gekkota, viven en climas calientes en el mundo. Miden desde 1.6 hasta 60 cm. La relación entre su capacidad de escalar y su peso, consiste en las estructuras pequeñas presentes en sus almohadillas siendo

que cada pelo de las patas ejerce una fuerza de atracción de Van Der Waals<sup>32</sup> con la superficie, entre más estructuras posee mayor es su adherencia, la fuerza es diminuta de manera individual, pero los millones de pelos en grupo producen un efecto muy poderoso sin líquidos o tensión superficial.

Un material llamado “*la cinta de algeit*” desarrollada por el científico y físico ruso Andres Geim<sup>3334</sup>, donde miles de nano estructuras cumplen la función de las patas del gecko, al cubrir la mano de una persona con este material, sería suficiente para que dicha persona trepe por las paredes y techos ya que puede soportar grandes pesos. Para separarse solo basta con levantar ligeramente de un lado el guante.



Ilustración 17 Científico Andres Geim

Fuente: <https://emagrammer.files.wordpress.com/2011/12/la-pata-del-geco.jpg>

Este principio pretende aplicarse a la ingeniería, medicina, sistemas robóticos, aéreo espacial entre otros.

Esto nos demuestra que basados en la Biomimesis lograremos tecnología capaz de ayudar a las condiciones actuales de vida, pasa mejorar en ella.

¿Cómo la naturaleza inspira la arquitectura?

La arquitectura siempre ha insertado e interactuado con el entorno natural. En esencia, la arquitectura proporciona refugio en la naturaleza para proteger a sus habitantes de la naturaleza.

---

<sup>32</sup> Fuerzas activas y repulsivas entre moléculas distintas a aquellas debidas a un enlace intermolecular o a la interacción electrostática de iones.

<sup>33</sup> Ganador del premio nobel de física el 5 de octubre del 2010

<sup>34</sup> Físico ruso, conocido sobre todo por su trabajo sobre el grafeno, el desarrollo de la cinta de gecko y demostraciones de levitación diamagnética.



¿Podemos encontrar formas contemporáneas a través del diseño biomimético y hacer adaptaciones de comportamiento a las condiciones ambientales locales?

Nuestro conocimiento de la naturaleza se debe utilizar fundamentalmente más como un recurso para el diseño sostenible y para la realización de edificios más eficientes.

Aquí un ejemplo: “El colibrí de cola violeta inspiración al pabellón”

Clase: Aves

Orden: Apodiformes

Familia: trochilidae

Género: Aglaiocercus

Especies: A. coelestis

El colibrí de cola violeta se encuentra a lo largo de la vertiente occidental de los Andes, pero es abundante en los bosques nublados de Ecuador.



*Ilustración 18 Condiciones y ubicación geográfica del colibrí*

Fuente: Autor Pedro Saldaña

Buscando una interfaz entre la piel y mundo externo, las plumas del colibrí funcionalmente son similares a las de otras aves, sin embargo, producen colores iridiscentes únicos. El eje de la pluma (o raquis) se extiende a cabo como alternantes barbas y bárbalas filiformes que crecen hacia fuera en ángulos apropiados con el fin de conectarse una con la otra y mantener la integridad estructural, pero al mismo tiempo son lo suficientemente flexible como para doblarse o desconectar sin ruptura.

Las plumas se acomodan una encima de la otra, manteniendo sólo las puntas iridiscentes visibles. Los cambios de ángulo de estas plumas permiten cambios en la cantidad de brillantez de la misma observado desde diferentes posiciones; algunas plumas son planas, otras son curvas.

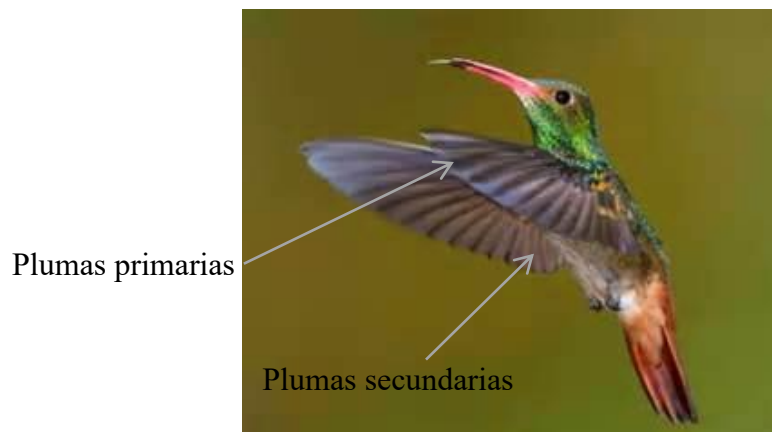


Ilustración 19 Colibrí cola violeta

Fuente: *Biomimetics in Architecture*

Las plumas llevan estructuras sub microscópicas que producen colores brillantes, sin embargo el brillo se puede ver sólo con ciertas posiciones que implican a el pájaro, al sol, y a el observador

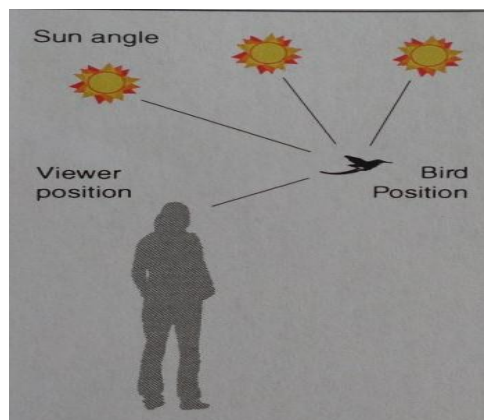


Ilustración 20 Ángulo Solar y vista del observador

Fuente: *Biomimetics in Architecture*

La interfaz entre la piel y el sistema interno, se encuentra cuando los colibrís toman el vuelo, ellos mueven sus alas en un patrón de ovalo y mantienen su cuerpo de frente. Cuando se ciernen mueven sus alas en movimiento de forma de ocho.

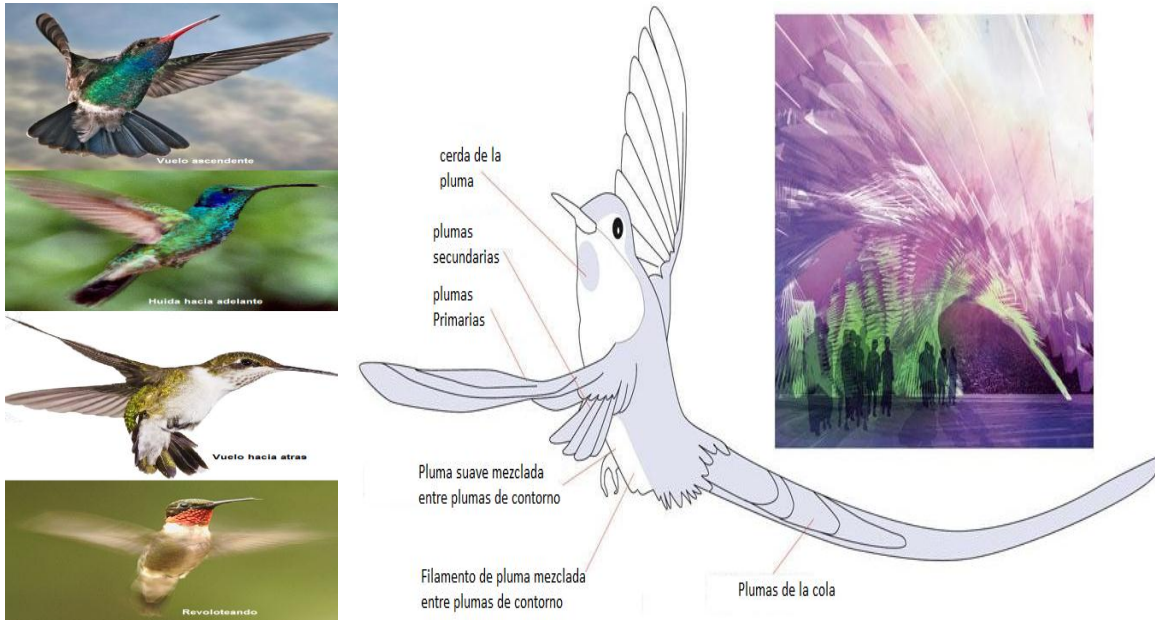


Ilustración 21 interfaz piel y sistema interno

Fuente: *Biomimetics in Architecture*

El pabellón se encuentra en Parque La Panecillo en Quito, Ecuador, una ciudad a 2800m sobre el nivel del mar y 24 km al sur de la línea ecuatorial. Aprovechando el clima subtropical, que es fresco (debido a su elevación) el pabellón se desarrolla sobre un monte, permitiendo a los elementos penetrar a través de él.



Ilustración 22 ubicación del pabellón "el Panecillo"

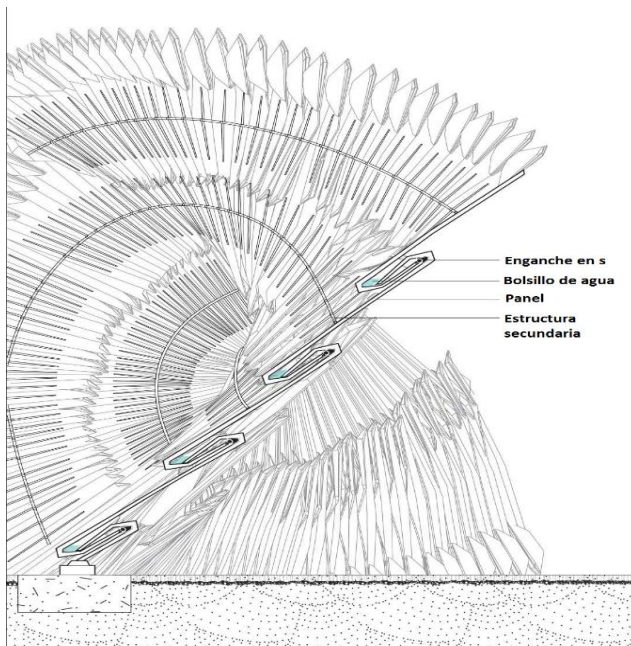
Fuente: *Autor Pedro Saldaña*

Inspirado por la iridiscencia de las plumas, el pabellón se aprovecha de la paleta de colores con tonos como: azules, violetas y verdes. Los colores brillantes son un dispositivo para expresar la energía y entusiasmo, mejorando así la experiencia sensorial y espacial de los habitantes del interior y el exterior.



Ilustración 23 Pabellón el panecillo Quito

Fuente: *Biomimetics in Architecture*



refracción de la luz entre las capas, cada una hecha de vidrio y resinas de colores.

El módulo de paneles del pabellón y su sistema de unión se inspira en las bárbulas de gancho de una pluma del colibrí y la aplicación de principios de la refracción de la luz magnificada por el agua.

La articulación de gancho crea pequeñas bolsas de agua entre los paneles, mejorando así la desviación de la luz deseada.

Imitando la compleja estructura de las plumas, los módulos se superponen, magnificando así la

Ilustración 24Detalle del principio de refracción

Fuente: *Biomimetics in Architecture*



Las juntas de los paneles forman una forma de “S” para encajar uno con el otro, formando una pequeña cavidad de colector de agua. Los paneles modulares están dispuestos para reflejar y refractar la luz del sol en distintos ángulos, el brillo del color se mejora en última instancia

Los paneles modulares están dispuestos para reflejar y refractar la luz del sol en distintos ángulos, el brillo del color se mejora en última instancia, a través de los efectos combinados de los paneles semitransparentes y bolsas de agua.

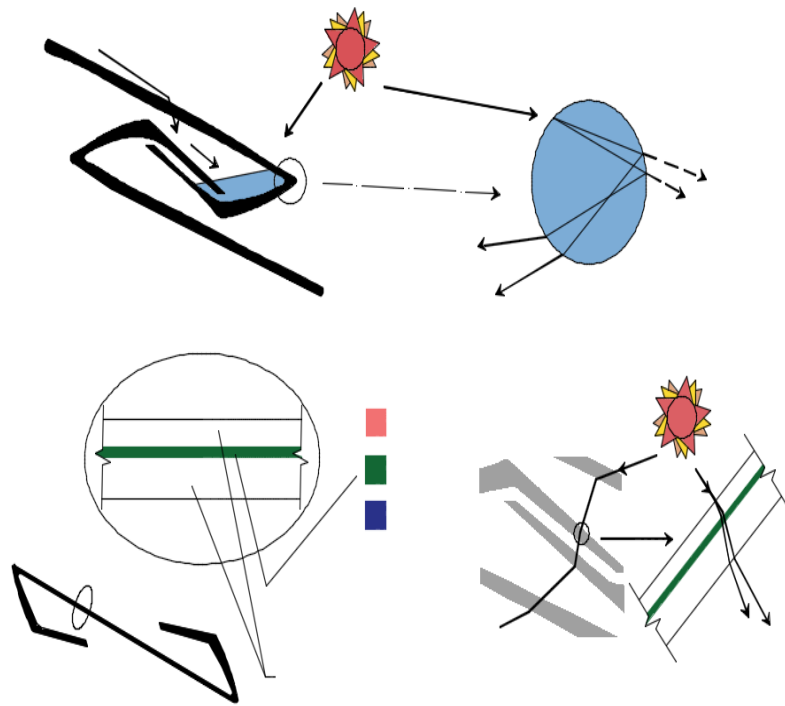


Ilustración 25Detalle de la refracción

Fuente: Autor Pedro Saldaña basado en *Biomimetics in Architecture*



Ilustración 26 Representación virtual del panel

Fuente: *Biomimetics in Architecture*

La estructura muestra un amplio espectro de variación de color en todo el pabellón.



Ilustración 27 Refracción del Panel "el Panquecillo"

Fuente: *Biomimetics in Architecture*

El propósito de la investigación de las áreas comunes de la arquitectura y la biología no es el de dibujar las fronteras o hacer otras distinciones, o incluso declarar a la arquitectura de un organismo vivo, pero sí para aclarar lo que está sucediendo actualmente en los campos que se desarrolla. Con el fin de hacer que el tema accesible a los arquitectos se presentan los conceptos básicos de ciencias de la vida, que no pueden ser omitidos cuando se trata de modelos naturaleza y el papel natural para el diseño. Una visión general del estado actual de la investigación en el relativamente joven científica campo de la biomimética muestra el potencial del enfoque. (Gruber, 2011)

#### 1.2.4 Niveles de la Biomimesis

En cualquier momento, los organismos fueron capaces de adaptarse dinámicamente a condiciones. Por lo tanto, el principal objetivo de los biomiméticos es proporcionar una comprensión de las soluciones y estrategias que han evolucionado con el tiempo y posible aplicación en la práctica tecnológica. Muy a menudo los biomiméticos deben llegar hasta la escala microscópica y, finalmente, a la escala molecular. Algunos de los mejores trucos de la naturaleza son conceptualmente sencillos y fáciles de racionalizar en la arquitectura, pero darse cuenta de ellos requiere maquinaria de delicadeza exquisita.



Básicamente la división en organismo, comportamiento y ecosistema es mostrar como desde micro hasta macro mecanismos tienen una interacción consigo mismos. A través del tiempo se revelan procesos que pueden ser estudiados y analizados desde un punto evolutivo, de patrones secuenciales, de crecimiento entre otros. Por lo tanto el estudio va desde un conjunto de organismos hasta la manera en que una célula funciona o la función de las moléculas de la misma.

### Nivel Organismo

Estudio a nivel micro celular del funcionamiento de las partes que integran un ser vivo, para generar aportaciones tecnológicas relevantes. Describe Vincent (2011) "Se estudian los agujeros de las células en madera de roble, que muestran un menor diámetro, las células del parénquima y las grandes traqueidas, Se concluyó que los agujeros son un recurso desatendido en ingeniería con una mala reputación debido a que no siempre sabemos cómo usarlos con ventaja. Si un agujero en una placa bajo tensión tiene un contorno angular, o está demasiado cerca de otro agujero, o es demasiado grande, una grieta puede comenzar desde lo que se puede propagar por todo el material (Atkins y Mai, 1985). La Biología demuestra una gama mucho más amplia de uso y diseño a partir de estos estudios y que puede ser incorporado en la tecnología".

### Nivel de comportamiento

Dentro de este nivel se analiza el funcionamiento de un ser vivo y así aplicar a estructuras, mecanismos, tránsito de fluidos, conservación del calor, y más. De esto unos ejemplos de acuerdo a Srinivasan (1996) "los resultados de estudios de ciertas bioestructuras como estudios de aves, libélulas (Mecánica de Vuelo), madera, piel de tiburón, cutícula de los insectos (estructuras de materiales compuestos), moluscos (mecánica de la fractura), murciélagos, cóclea del oído interno (precisión detección de objetos y / o sonido), y arácnidos (cepa Detección)".

### Nivel de Ecosistema.

Por ecosistema se entiende a la comunidad de seres vivos cuyos procesos vitales están relacionados entre sí. La noción de ecosistema surgió en la década de 1930 para explicar la compleja interacción entre los seres vivos, las corrientes de energía, los recursos materiales, y la comunidad en la que se desarrollan. El desarrollo de estos organismos se produce en función de los factores físicos del ambiente que comparten. Estudiar un ecosistema mediante los ciclos de la materia. Con ellos lo que se expresa es como los distintos elementos químicos (oxígeno, hidrógeno, carbono...) que forman a los distintos seres vivos van pasando de unos niveles tróficos a otros.

Se puede realizar el análisis del ecosistema mediante las relaciones alimentarias que en él se producen lo que se traduce en que se hable de la energía que llega a la Tierra desde

el Sol para que pase de unos organismos a otros. Centrarse en el llamado flujo de energía que va pasando de un nivel a otro y que es el encargado de que el ecosistema esté en funcionamiento. En este caso tenemos que subrayar que dicha energía siempre sigue la misma dirección.

A mayor número de especies (es decir, mayor biodiversidad), el ecosistema suele presentar una mayor capacidad de recuperación. Esto es posible gracias a las mejores posibilidades de absorción y reducción de los cambios ambientales.

### 1.2.5 Desarrollos tecnológicos de la Biomimesis

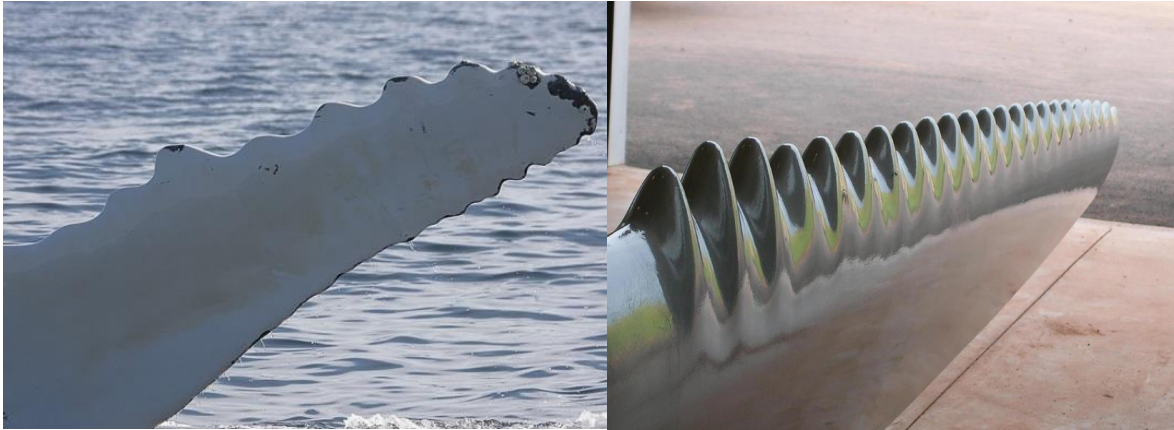
#### Energía

Aprender de las ballenas jorobadas cómo crear mayor eficiencia de la energía eólica

Una ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) hace piruetas bajo el agua, con sus 12 a 15 metros de largo y un peso aproximado de 36,000 kilos, nada en círculos lo suficientemente apretados para producir redes de burbujas de sólo 1.5 metros de ancho, esto con el fin de poder acorralar y lograr la captura de su alimento los camarones. Resulta sorprendente la destreza de la ballena, esto se debe principalmente a sus aletas, que tienen protuberancias grandes e irregulares llamados tubérculos.

Las aletas en la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) tienen bordes de ataque no lisos, sin embargo, demuestran la dinámica de fluidos superiores a los bordes de ataque con características lisas de alas, turbinas y otros tipos de cuchillas. Mientras que las hojas de agua que fluye sobre las aletas suaves rompen en vórtices turbulentos cuando cruzan la aleta, las láminas de agua que pasa entre los tubérculos de unas jorobadas mantienen incluso canales de agua el rápido movimiento, permitiendo que las jorobadas puedan mantener su "agarre" en el agua en ángulos y esquinas que se vuelven más estrictas, incluso a bajas velocidades.

Pruebas de túnel de viento con modelos de aletas de ballenas jorobadas y sin tubérculos de vanguardia han demostrado las mejoras de dinámica de fluidos que estos tubérculos hacen, con un asombroso 32% de reducción en la fricción, mejora el 8% en el ascenso, y un aumento del 40% en el ángulo de ataque más suave. Una empresa llamada WhalePower aplica estas lecciones para el diseño de las turbinas eólicas de todo tipo, ventiladores de techo industriales y otros sistemas de aire acondicionado, ventiladores de ordenador, etc. para mejorar su eficacia, seguridad y coste-efectividad.



*Ilustración 28 Desarrollo de una nueva pala de aerogenerador*

Fuente: <https://asknature.org/idea/tubercle-technology-blades/#.WA154vnhCUk>

WhalePower desarrollado un nuevo diseño de ventilador y la pala de aerogenerador utilizando tecnología de tubérculo. Esto fue inspirado por las aletas de las ballenas jorobadas, que tienen tubérculos o protuberancias en los bordes de ataque. Cuchillas diseñadas utilizando tecnología de tubérculo son más eficientes energéticamente. Las palas de turbina eólica requieren velocidades de viento bajas.

Frank E. Fish se ha dado cuenta de que el borde delantero de las aletas de la ballena jorobada tiene tubérculos o protuberancias. Esto no tenía sentido para él porque iba en contra de la forma habitual de pensar. La compañía da un guiño a la naturaleza mediante el reconocimiento de su fuente de inspiración. El desafío fue resuelto con palas de aerogeneradores que requieren de estables y fuertes vientos para generar electricidad. (Institute, 2015)

#### Transporte

Aprender de los martines pescadores cómo romper a través de las fronteras

El tren bala *Shinkansen* era el tren más rápido del mundo, viajando a 321kilometro por hora. ¿Pero cuál es el problema? La turbulencia. Los cambios de presión producidos del aire, generaban un gran trueno cada vez que el tren salía del túnel, haciendo que los residentes que residían a unos cuatrocientos metros de distancia se quejaron por la afectación. Eiji Nakatsu, jefe de máquinas del tren Shinkansen 500 y un ávido observador de aves, se preguntó: "¿Hay algo en la naturaleza que se desplaza rápidamente y sin problemas entre dos medios muy diferentes?". El pico del martín pescador, que entraba en picada desde el aire a los cuerpos de agua con muy poco chapoteo para atrapar peces. Con esta inspiración se modelo el frente y final del tren. Como consecuencia no sólo se obtuvo un tren más tranquilo, más silencioso, sino que se obtuvo un 15% menos de consumo de electricidad e incluso mientras el tren viaja es 10% más rápido.

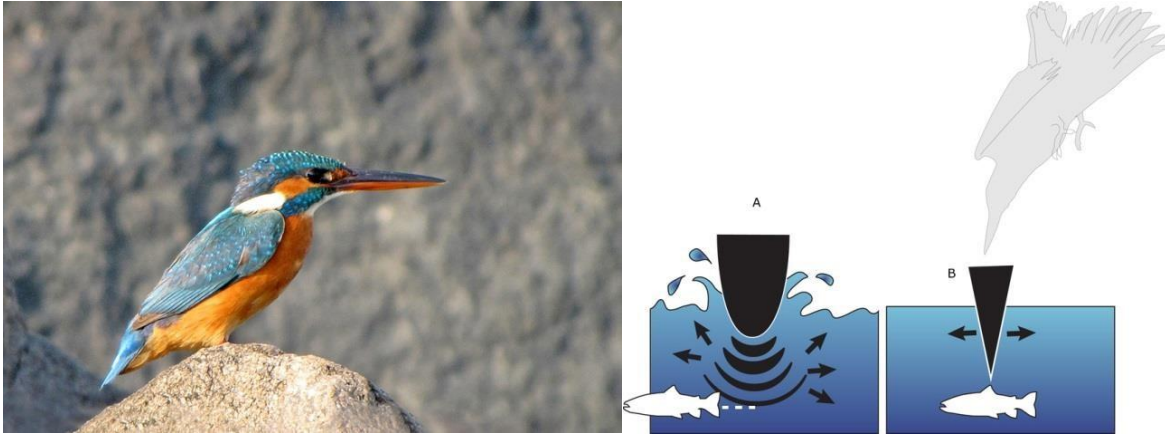


Ilustración 29 Inspiración de la naturaleza

Fuente: <https://asknature.org/strategy/beak-provides-streamlining/#.WA15dPnhCUI>

La mitad de toda la línea Shinkansen Sanyo (de Osaka a Hakata) se compone de una sección de túneles. Cuando un tren circula por un estrecho túnel a gran velocidad, lo que genera son ondas de presión atmosférica que crecen gradualmente en olas como sucede en los maremotos.

Estas llegan a la salida del túnel a la velocidad del sonido<sup>35</sup>, la generación de ondas de baja frecuencia que producen un gran auge y la vibración aerodinámica es intensa.

El martín pescador. Para atrapar a su presa, se lanza desde el aire, que tiene una baja resistencia, al agua que es de alta resistencia, y por otra parte hace sin salpicaduras. Llevado a cabo pruebas para medir las ondas de presión resultantes al disparar balas de varias formas en una tubería y después de una serie completa de pruebas de simulación de funcionamiento de los trenes en los túneles, utilizando un sistema de equipo de investigación espacial. El análisis de los datos mostró que la forma ideal para este *Shinkansen* es casi idéntico al pico de un martín pescador común.

Es aprender de la naturaleza, viendo de primera mano que una solución obtenida mediante pruebas y análisis a gran escala por parte de un súper-ordenador del estado, resultó ser muy similar a una forma desarrollada por una criatura viviente en el mundo natural. La nariz de la nueva serie 500 Shinkansens<sup>36</sup> tiene una forma aerodinámica que es de 15 m de longitud y casi redonda en sección transversal. (Institute, 2015)

<sup>35</sup> Dinámica de propagación de las ondas sonoras. En la atmósfera terrestre es de 343 m/s (a 20 °C de temperatura, con 50 % de humedad y a nivel del mar). La velocidad del sonido varía en función del medio en el que se trasmite. En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos es mayor que en los gases. Esto se debe al mayor grado de cohesión que tienen los enlaces atómicos o moleculares conforme más sólida es la materia.

<sup>36</sup> En Japón, los trenes de alta velocidad de la serie 500 pueden viajar a 300 km / hora (200 mph), pero los niveles de ruido exceden los estándares ambientales. Una fuente de ruido era una onda de presión atmosférica forzada en frente del tren, ya que viajó a través de un túnel estrecho, creando un "boom del túnel" en voz alta en la salida. La nariz en forma de bala era parte del problema.





Ilustración 30 Shinkansens serie 500

Fuente: <https://asknature.org/idea/shinkansen-train/#.WA14RfjhCUk>

### 1.2.6. Desarrollos Arquitectónicos de la Biomimesis.

#### Arquitectura

#### Aprender de las termitas cómo crear edificios sostenibles

Generalmente pensamos de las termitas como la destrucción de edificios, más no en ayudar a diseñarlos. Pero el edificio Eastgate, un complejo de oficinas en Harare, Zimbabwe, tiene un sistema de control climático interno inspirado originalmente por la estructura de los termiteros. La investigación adicional está revelando más sobre la relación entre la estructura del montículo y la temperatura interna, y podría influir en los diseños de construcción adicionales a medida que crece nuestra comprensión.

El funcionamiento de los edificios representa el 40% de toda la energía utilizada por la humanidad, por lo que aprender cómo diseñar para ser más sostenible es de vital importancia. El Arquitecto Mick Pearce colaboró con los ingenieros de Arup Associates para diseñar Eastgate, que utiliza el 90% por ciento menos de energía para la ventilación a diferencia de otros edificios convencionales de su tamaño, y ya ha ahorrado a los propietarios de edificios de más de \$ 3,5 millones de dólares en costos de aire acondicionado.

La estructura interna de los grandes montículos termiteros por encima del suelo facilita el intercambio de gases en el nido por debajo del suelo mediante el aprovechamiento de la energía eólica externa. Grandes termitas constructoras de

montículos construyen con la saliva y excrementos montículos verticales fuera del suelo, algunos montículos en África llegan a medir hasta varios metros de altura.

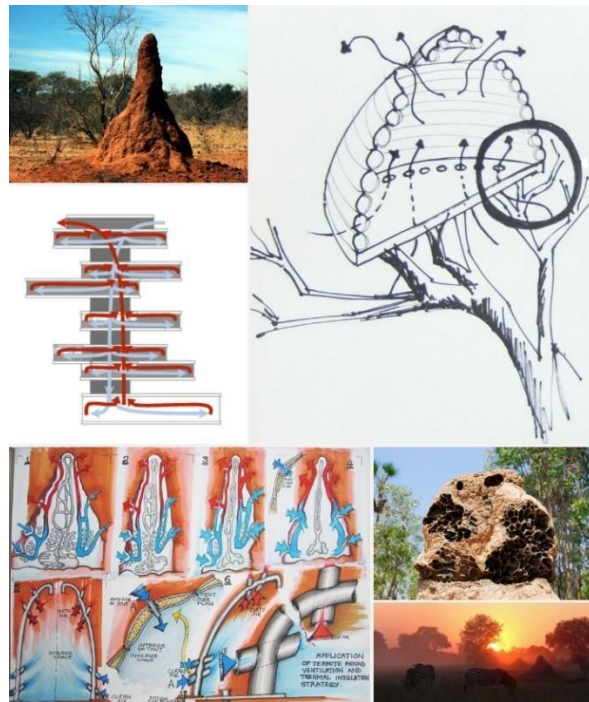


Ilustración 31 Estructura de intercambio de gases

Fuente: [https://asknature.org/strategy/mound-facilitates-gas-exchange/#.WAI\\_f\\_nhCUm](https://asknature.org/strategy/mound-facilitates-gas-exchange/#.WAI_f_nhCUm)

Si bien la estructura del montículo puede variar entre las especies de termitas, los montículos generalmente se parecen a las chimeneas, con algunos montículos que tiene orificios grandes, mientras que otros carecen de aberturas grandes, pero tienen paredes porosas. Dentro de estos montículos, las termitas obreras pueden cavar un conjunto de túneles complejo de varios tamaños. Las termitas mismas viven en nidos bajo tierra en colonias que pueden contener hasta un millón de ellas.

La investigación publicada más reciente sobre los montículos de termitas sugiere que funcionan como pulmones de mamíferos y actúan como accesorios de órganos para el intercambio de gases en los nidos subterráneos. Antes se pensaba que los termiteros funcionaron para mantener continuamente la temperatura interna del nido dentro de un rango estrecho de cara a las fluctuaciones de temperatura exteriores extremas, pero la investigación sobre el montículo de termitas (*Macrotermes michaelseni*) y su capacidad está expandiendo nuestra comprensión de la función del montículo. Durante el día, los cambios en la temperatura del nido interna son menos extremos que los cambios en la temperatura exterior, pero en el transcurso de un año, la temperatura del nido varía y sigue de cerca la temperatura del suelo circundante. El suelo tiene una gran capacidad térmica, lo que significa que puede absorber o perder grandes cantidades de energía térmica antes de experimentar cualquier cambio en la temperatura. En cierto modo, el suelo alrededor del



nido de termitas actúa como un "amortiguador" en contra de los cambios diarios de temperatura exterior.

Investigadores están estudiando activamente los montículos para entender precisamente cómo la estructura del montículo facilita el intercambio de gases en la colonia subterránea. Parece ser que la estructura dinámica de un montículo que permite aprovechar la energía eólica a partir de los flujos de aire inestable. . En lugar de generar el flujo de aire continuo a través del montículo, esta energía eólica probablemente promueve la mezcla entre aire en el montículo y aire en el nido, en última instancia, facilitando el intercambio de gas en el nido. Esta creciente comprensión de la estructura y función montículo de termitas podría inspirar nuevas tecnologías biomiméticas en sistemas de climatización de bajo consumo.

El Centro Eastgate es un edificio comercial y de oficinas situado en Harare, Zimbabwe. En lugar de utilizar un sistema tradicional de aire acondicionado a base de combustible para regular la temperatura dentro del edificio, el Centro Eastgate está diseñado para explotar los mecanismos más pasivos y energéticamente eficientes de climatización. Los materiales de construcción del edificio tienen una alta capacidad térmica, lo que le permite almacenar y liberar calor adquirido en el ambiente circundante. Este proceso se ve facilitado por los aficionados que operan en un ciclo cronometrado para mejorar el almacenamiento de calor durante el día cálido y liberación de calor durante la noche fría. El calor interno generado por los ocupantes y aparatos del edificio también ayuda a conducir el flujo de aire dentro de grandes espacios internos abiertos del edificio, ya que se eleva desde las oficinas y tiendas en los pisos inferiores hacia las azoteas chimeneas abiertas. Diversas aberturas en todo el edificio permiten más flujo de aire interno impulsado por los vientos exteriores. Estas características de diseño trabajan juntos para reducir los cambios de temperatura en el interior del edificio ya que las temperaturas fluctúan fuera.

En el clima de Harare, la compra, instalación y mantenimiento de un sistema de aire acondicionado tradicional de un edificio tiene costos inmediatos y de largo plazo. El reto era crear un sistema de ventilación autor regulable que lograra mantener el edificio a temperaturas que son cómodas para los trabajadores y residentes. El Arquitecto Mick Pearce trabajó con la empresa constructora Arup para diseñar el Centro Eastgate. Pearce este arquitecto fue inspirado por los modelos de regulación de la temperatura interna de los termiteros. En el momento del diseño del edificio, los investigadores han propuesto que los termiteros mantienen climas internos estables por tener una estructura física que permite el flujo de aire



*Ilustración 32 Refrigeración en el centro Eastgate*

Fuente: <https://asknature.org/idea/eastgate-centre/#.WA2AfPnhCUk>

interno. Mientras que la investigación posterior sobre los montículos de termitas ha cambiado nuestra comprensión de la función de la estructura del montículo, el Centro Eastgate todavía logra un clima interno controlado con la ayuda de mecanismos rentables y eficientes energéticamente inspirados originalmente por los montículos de termitas. (Institute, 2015)

### 1.2.7. Metodologías de diseño de la Biomimesis

¿Cómo sería si dentro de los fundamentos del diseño, en lugar de enseñar los preceptos del diseño sustentable, el concepto de ciclo de vida del producto, los principios de ecodiseño, (entre otros) se inculcara en los estudiantes cómo observar directamente a la naturaleza para inspirarse?

¿Qué pasaría si en lugar de mostrar a los estudiantes las últimas tendencias en el diseño, los íconos representativos del diseño, se expusiera en el diseño básico muestras de la forma de los árboles, el funcionamiento de un termitero? ¿Qué pasaría si antes de diseñar cualquier cosa se examinara la Naturaleza y nos preguntásemos como podrían resolverse problemas similares? ¿Qué tal si enseñáramos a entender la Naturaleza, no como una fuente de recursos, sino como un modelo integral del cómo vivir en la tierra?

Con estas preguntas surge la necesidad de contar con metodologías sobre el cómo aprender de la Naturaleza, la respuesta a ello es: La biomimética. ¿Por qué un oso polar tiene el pelaje hueco?, ¿por qué un pavorreal tiene esos colores sin usar pigmentos?, ¿por qué un gecko escala sin usar ningún adhesivo? y ¿Por qué de la fisionomía de las plantas? Son preguntas que empiezan a llamar la atención de los diseñadores.

A continuación se muestran las metodologías más representativas y las más utilizadas en centros universitarios sobre la disciplina de la biomimética:

#### 1.2.7.1. Proceso Lodato

Algunas metodologías utilizadas en procesos del diseño biomimético inspirados en los sistemas biológicos y la naturaleza son expuestos en este trabajo de investigación con ello apropiarse de uno o varios con el fin de lograr el objetivo de la materialización de la bioluminiscencia tratando de formalizar uno para lograr la accesibilidad a la tecnología buscada.

Según Franco Lodato<sup>37</sup> hay una primera aproximación a la metodología del diseño por cómo se desarrollan los proyectos, una observación de cómo se aplica la biomimética establece la relación entre la naturaleza y el proyecto de diseño. (Forniés, 2012)

---

<sup>37</sup> Es un americano diseñador industrial, más conocido por su trabajo en la biomimética, ha dirigido su trayectoria en el principio del diseño biónico aplicándolo en los productos más variados, desde rasuradoras,

Se plantean cinco puntos básicos a continuación:

- Emulación completa: Si lo tomamos en el estricto, como lo dice la definición es, el deseo intenso de imitar e incluso superar las acciones ajenas, la emulación se refiere a una estructura, objeto o material que es idéntico al ser vivo, un ejemplo de ello se mencionó en páginas anteriores con las maquinas voladoras de Leonardo Da Vinci.
- Emulación parcial: da cuenta de una versión modificada de un producto natural, ejemplo de ello es la estructura de la escama de piel de tiburón con el fin de reducir la fricción con el agua, en los tajos de natación de la marca speedo, con los cuales se rompieron varias marcas mundiales en los juegos de Bejín, China.
- Sin parecido biológico: se imitará simplemente la función, ejemplo de ello es el perfil del ala de los aviones o los winglets que de igual manera fueron mencionados, esto con el fin de estabilizar, ubicados en los extremos del ala.
- Abstracción: Con esta acción o efecto, implica la utilización de un mecanismo aislado. Como lo es la fibra de materiales creados en sus esfuerzos, o los caparazones que tienen composición multicapa de algunos de los animales.
- Inspiración: fundamental para desencadenar toda la creatividad, Por ejemplo, estructuras como las del “Crystal Palace” diseñado por Joseph Paxton, basadas en las nervaduras del reverso de la hoja de nenúfar que le brinda flotabilidad y le da estructura. (Forniés, 2012)

Dentro de estas metodologías del diseño biomimético, se encuentra la propuesta básica donde se definen los procesos, se divide en cuatro etapas.

- Seleccionar las características del organismo vivo que supera las posibilidades en la tecnología actual.
- Detectar y obtener los principios, así como los procesos que ofrece esta superioridad.

---

Gillette Mach 3, cuyo diseño está basado en la mano, a piquetas de hielo, inspiradas en la mecánica del pájaro carpintero, hasta uno de sus diseños más admirados, el Maserati Birdcage 75, basado en un tiburón.

- Elaborar los modelos y métodos para describir los sistemas biológicos en términos útiles.
- Demostrar la viabilidad de traducir este conocimiento en un aparato seguro y eficaz.

El proceso de esta metodología está en la búsqueda o exploración de un ser vivo con alguna característica o función, analizando los principios biológicos para la aplicación en el diseño o la creación de tecnología en un lenguaje que evidencie su aplicación. “la viabilidad de ser aplicable, no solo es exploratorio para encontrar ideas, sino que esas ideas deben de ser aplicables y válidas. Es necesario conocer las categorías en las que se encuentra el proyecto y la clasificación en función de la relación con el ser vivo y las características observadas.” (Forniés, 2012)

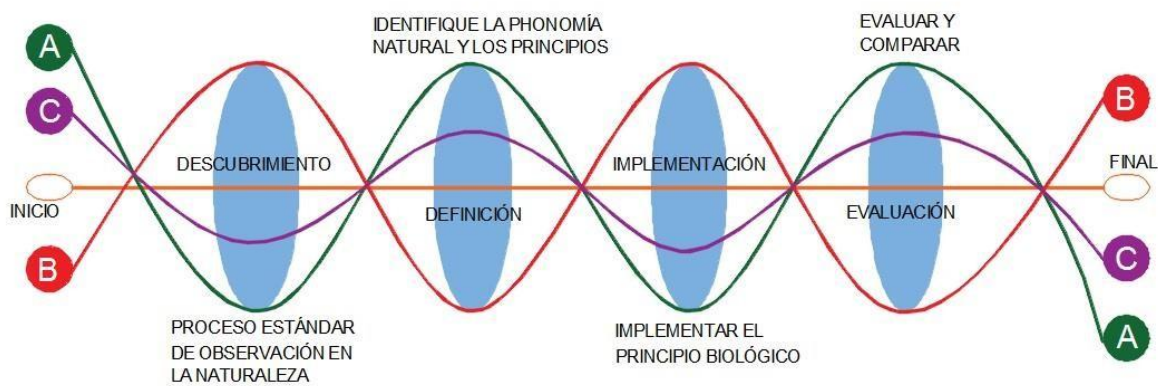


Ilustración 33 bio- diseño de F. Lodato

Fuente: Creación Pedro Saldaña retomado de Lodato

El aspecto creativo se podrá relacionarse con la inspiración, las categorías como la emulación total o parcial de una función o la utilización de sistemas aislados o un mecanismo, no es simple inspiración, debido al trabajo necesario de realización de métodos o modelos que hagan evidente la utilidad.

### 1.2.7.2. Espiral de diseño Biomimético.

El instituto que promueve el desarrollo y aprendizaje del biomimetismo imitando los procesos, las formas y los ecosistemas, es el instituto creado y fundado en el año 2012 por Janine Benyus llamado el Instituto de la Biomimesis. (Biomimicry Institute).

Este instituto apoya a los innovadores de todos los ámbitos de la vida, arquitectos, ingenieros, diseñadores entre otros más, no menos importantes por no mencionarlos, a crear diseños y tecnologías más sostenibles, con el lema “la Biomimesis es una herramienta para la innovación”.

La espiral del diseño es el proceso de la Biomimesis, sirviendo como guía para ayudar a superar un reto o crear la tecnología por medio de la imitación en la naturaleza. Usan la siguiente metodología para enseñar y practicar la biomimética.... “evaluar y garantizar que el diseño final que imita a la naturaleza en todos los niveles, forma, el proceso y los ecosistemas”... (Forniés, 2012).

En realidad el producto imita a la Naturaleza en todos los niveles –forma, proceso y ecosistema-. Esta metodología no sólo ayuda a obtener el objeto físico, sino también la forma de manufactura, el envase, la forma de distribución y hasta la toma de decisiones. Al final se evalúan estos diseños con los “principios de vida”.

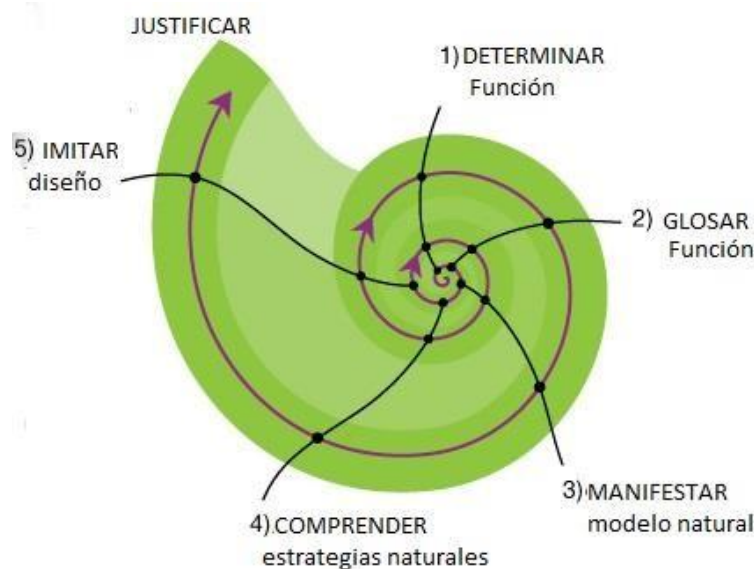


Ilustración 34 Espiral de diseño

Fuente: [http://www.svid.se/upload/Hallbarhetsguiden/Verktyg/Biomimicry\\_spiral.gif](http://www.svid.se/upload/Hallbarhetsguiden/Verktyg/Biomimicry_spiral.gif)

### 1.2.7.2.1. Determinar

Elaborar un objetivo documentado o un planteamiento de diseño sobre de la necesidad humana

- Elaborar un breve diseño con detalles sobre el problema a resolver.
- Descomponer el diseño para determinar las competencias de los problemas y las especificaciones de diseño.
- Identificar la función que se desea llevar a cabo el diseño: preguntar ¿Qué quieres que haga tu diseño? En vez de ¿qué quieres diseñar? Continuar haciendo esa misma pregunta hasta llegar al fondo del problema.
- Definir las características específicas del problema:
- Objetivo que esté involucrado en el problema y que va a participar con la solución

- Localización: ¿dónde está el problema, donde se aplica la solución?

La naturaleza emplea pequeños bancos de retroalimentación, adaptación y evolución.

- Basada en las lecciones aprendidas, desarrollada y perfecciona diseños.
- Desafíos reales.

#### 1.2.7.2.2. Glosar

Desde una perspectiva natural, hacer un diseño.

- Biológizar las preguntas.
- ¿Cómo hace esta función la naturaleza?
- ¿Cómo no lo haría la naturaleza?
- Pasar las funciones de diseño en funciones naturales.
- Traducir las funciones desempeñadas en la naturaleza en la función de diseño.
- Reformular las preguntas con las palabras clave adicionales.
- Definir el Hábitat / Ubicación
- Condiciones climáticas
- Condiciones de nutrientes
- Condicionantes sociales
- Condicionantes temporales

#### 1.2.7.2.3. Manifestar

Dar respuesta a nuestras preguntas o retos establecidos ubicando los mejores modelos naturales.

- Encontrar los mejores modelos en la naturaleza para responder a las cuestiones realizadas.
- Considerar lo literal y lo metafórico.
- Buscar casos de éxito en la pregunta ¿Qué supervivientes dependen de ello?
- Encontrar los organismos que mejor resuelven el problema que está tratando de resolver por sus capacidades.
- Observar las situaciones extremas del hábitat.
- Convertir el problema, ponerlo del revés, darle vueltas.
- Charlar con biólogos y especialistas en el campo.

#### 1.2.7.2.4. Comprender

Los patrones y procesos repetitivos con los que la naturaleza logran el éxito, tenerlos ubicados.



- Imaginar los principios y fines de una clasificación para la ordenación jerarquizada y sistemática (nombres, grupos, animal y vegetal) de estrategias de la vida.
- Elegir las más relevantes que en particular cumplan con un diseño.
- Resumen de la lista repetir los éxitos y los principios que permitan alcanzar este éxito.

#### 1.2.7.2.5. Imitar

El desarrollo de ideas y soluciones basadas en modelos naturales.

Crear ideas que apliquen las clases dadas por la naturaleza. (Forma de emular, función y ecosistema copiados)

Tratar de aplicar de estas lecciones, tan intensamente como sea posible, en el diseño:

Imitación formal:

- Conocer los detalles de la morfología.
- Comprender los efectos de la escala.
- Considerar los factores que influyen en la eficacia de la forma para el organismo.
- Considerar formas en las que puede profundizar en la conversación para imitar también procesan y / o el ecosistema.

Imitación de la función:

- Conocer los detalles del proceso biológico.
- Comprender los efectos de escala.
- Considerar los factores que influyen en la eficacia del proceso para el organismo.
- Considerar modos de profundizar en la conversación ambiental o incluso imitar el ecosistema.

Imitación de los ecosistemas:

- Conocer los detalles del proceso biológico.
- Comprender los efectos de escala.
- Considerar los factores que influyen en la eficacia del proceso para el organismo.

#### 1.2.7.2.5. Justificar

La comparación de los principios naturales exitosos con las ideas generadas. Las soluciones de un diseño comparando contra los principios de la vida.

Desarrollar preguntas adecuadas respecto a los principios de vida y cuestionar la solución planteada.

Identificar nuevas formas de mejorar el diseño y desarrollo de nuevas preguntas exploratorias. Las preguntas deben apuntar al perfeccionamiento del concepto: □ Embalaje.

- Fabricación
- Comercialización
- Transporte
- Nuevos productos
- Otros...

Esta metodología es muy similar a la segunda propuesta de Bombardelli, aunque en una versión extendida y más detallada. Partiendo de un argumento proyectual se identifican las verdaderas necesidades y se define un brief de diseño o definición de proyecto en el que se argumentan estas necesidades, después se plantea el argumento o argumentos biónicos y se hace una investigación para conocer a fondo al individuo natural y definir en detalle sus principios, sistemas, estructuras, etc., que lo diferencian y lo hacen interesante para su estudio. Con esos resultados se pasa a la fase de asimilación y traducción de esos principios y cualidades diferenciales, y posteriormente a su aplicación para poder evaluar su conveniencia, o no, respecto de la necesidad inicial planteada, ante esta situación se inicia un proceso cíclico de perfeccionamiento en el que con las soluciones planteadas se puede redefinir el brief de diseño, y tratar de extraer resultados mejores y más válidos.

Las diferencias clave en esta metodología son, en primer lugar, la utilización de bases de datos y resultados de estudios de biología, que sirven para hacer las primeras aproximaciones en la fase de descubrir los modelos naturales más idóneos, y la abstracción de los principios que mejor resuelven el problema planteado, con estos datos se clarifica la fase de investigación biónica ya que se trazan líneas de investigación que tiene más garantía de dar resultados. Y en segundo lugar, encontramos la diferencia en la definición del proyecto, en la metodología de Bombardelli se plantean uno o más proyectos en función de los resultados de la investigación biónica, y en esta metodología se plantea el proyecto en la fase inicial pudiendo desarrollar una o más soluciones en función de los resultados, y dependiendo de que el ciclo se repita y se haga un proceso iterativo.

### 1.2.7.3. TRIZ/BIOTRIZ

El método TRIZ (Teorija Reshenija Izobretatel'skih Zadach) traducida como “Teoría de resolución Inventiva de problemas”, fue desarrollada hace 50 años en Rusia. Este método es bien conocido por sus exitosos resultados en las invenciones y en soluciones en el campo de la ingeniería. T R I Z es una colección de técnicas hoy más desarrolladas por Genrich Altshuller y Rafik Shapiro de la Universidad de Mar yland, estas aseguran la definición precisa de un problema en un nivel funcional, y luego provee de fuertes indicadores hacia soluciones exitosas y a menudo muy innovadoras. Este método también es utilizado por la Universidad de Bath y la consultora BIOTRIZ que integran Julian Vincent, Olga Bogat yreva, y Nikolaj Bogat yrev; ellos indican que desde que comenzó a transferirse en el campo de la biomimética en la aplicación de funciones, mecanismos y otros principios formales el TRIZ generó resultados “realmente ideales”.

Una de las ventajas de utilizar este método es que se basa en las miles de patentes existentes. Dentro de su estructura se estandarizaron 40 características técnicas comunes asignadas en 40 frases contradictorias con la finalidad de descubrir las mejores soluciones.

- Principio 1. Segmentación
- Principio 2. Eliminar
- Principio 3. Calidad Local
- Principio 4. Asimetría
- Principio 5. Anexar
- Principio 6. Universalidad □ Principio 7. “Muñeca Rusa”
- Principio 8. Anti-peso
- Principio 9. Anti-acción Preliminar
- Principio 10. Acción Preliminar
- Principio 11. Acolchonado Previo
- Principio 12. Equipotencialidad
- Principio 13. ‘Al revés’
- Principio 14. Esferoidal/Curvatura
- Principio 15. Dinamismo
- Principio 16. Acciones Parciales o Excesivas
- Principio 17. Otra dimensión
- Principio 18. Vibración Mecánica
- Principio 19. Acción Periódica
- Principio 20. Continuidad de acción útil
- Principio 21. Saltarse/Brincarse
- Principio 22. “No hay mal que por bien no venga” o “Convertir limones en limonada”
- Principio 23. Retroalimentación
- Principio 24. Intermediario
- Principio 25. Autoservicio
- Principio 26. Copiar
- Principio 27. Objetos baratos efímeros
- Principio 28 Mecanismos de sustitución
- Principio 29. Neumática e Hidráulica
- Principio 30. Corazas flexibles u láminas delgadas
- Principio 31. Material Poroso
- Principio 32. Cambios de Color
- Principio 33. Homogeneidad
- Principio 34. Descartar y Recuperar
- Principio 35. Cambios de Parámetros
- Principio 36. Transiciones de fase
- Principio 37. Expansión Térmica

- Principio 38. Oxidantes Fuertes
- Principio 39. Atmosfera Inerte
- Principio 40. Materiales Compuestos (Mazzoleni, 2013)

Cuatro pasos son los que se tienen en esta metodología

### 1 Definición del problema

El problema debe ser planteado pretendiendo una analogía funcional.

Ejemplos:

¿Cómo me sujeto a una superficie mientras me muevo?

Pregunta biológica ¿Cómo escala un árbol un gato?

Pregunta técnica ¿Cómo retenerse en hielo?

### 2 Revelar contradicciones

Se distinguen un par de características naturales que pueden ser comparadas con otro par derivadas de otros problemas resueltos (patentes o aplicaciones). Aquí cierto número de “técnicas de inventiva” aseguran situar el problema en el contexto apropiado (cambiando el contexto puede incluso resolver el problema). Se enlistan en el lado derecho las resueltas por el mundo biológico (Biotriz) y del lado izquierdo las resueltas por el mundo técnico (Triz). Es recomendable tratar de plantear más de 2.

Ejemplos para revelar contradicciones:

Contradicción técnica a resolver: ¿Cómo incrementar fuerza de agarre en el piso sin ayuda de peso?

Solución de la naturaleza (Biotriz): Garra de gato.

- 1.- Segmentación Ej. Garra dividida acojinada.
- 2.- Cualidad local: Es filoso
- 3.- Otra dimensión: Hacer contacto en superficies de 3D

Solución técnica (Triz): Llanta Patente.

- 1.- Llanta estriada.
- 2.- Llanta inflable
- 3.- Vibración mecánica
- 4.- Uso de caucho

Contradicción técnica a resolver: ¿Cómo sostenerse solo cuando es necesario?

Solución de la naturaleza (Biotriz): Gato.

- 1.- Acción periódica: el felino puede utilizar sus garras solo cuando trepa.
- 2.- Dinámica: El movimiento acciona el mecanismo de sus garras.

Solución técnica (Triz): botas para caminar en el hielo (Patente).

- 1.- Dinámica: corazas flexibles y láminas delgadas
- 2.- El uso de navajas o picos facilita caminar.
- 3.- Eliminar: Cuando no es necesario se aprieta un botón.

Contradicción técnica a resolver: ¿Cómo caminar en puntos cuando se está pesado?

Solución de la naturaleza (Biotriz)

- 1.- Acción periódica: El tejido que el felino presenta en la parte superior, facilita su adecuación.
- 2.- Dinámica: El movimiento contraste hace que su garra tenga tal característica.

Solución técnica (Triz)

- 1.- Asimetría: La asimetría facilita el movimiento.
- 2.- Dimensión: pequeños picos facilitan soporte al peso.
- 3.- Neumática e hidráulica: Aunque integra diferentes materiales la llanta es inflable. (Bernardo, 2016)

### 3 Comparar soluciones biológicas con soluciones de ingeniería

Los problemas resueltos que conflictúan pares corresponden a aquellos que están bajo la examinación, entonces son usados como análogos de la solución que ha sido buscada. Esto provee de síntesis para completar la dialéctica de tesis-antítesis.

### 4. Generar la Solución Biomimética

En esta última fase se trata de construir un puente entre naturaleza y tecnología. Probar diferentes combinaciones entre lo sugerido por la naturaleza y por la tecnología. Se usarán principios intersectados aquellos más técnicos. Crucialmente, este método

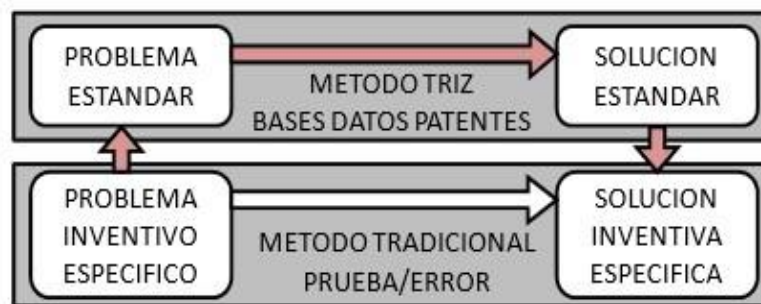


Ilustración 35 Esquema Simplificado del proceso TRIZ

Fuente: Architecture follows nature

facilita al problema un derivado análogo que se separa de su contexto inmediato, así, la solución a cualquier problema puede ser expuesta en el ámbito científico y tecnológico. En las disciplinas del diseño esta metodología resulta atractiva ya involucra el “rediseño” de las patentes existentes, las cuales pueden transformarse en mejoras que deriven a una proyección sustentable. Sin embargo no cuenta con una fase de evaluación, ni involucra una visión holística.

#### 1.2.7.4. Proceso de la cima a la base (TOP.DOWN)

El proceso de arriba abajo se inicia con la detección de un problema técnico que puede ser resuelto por medio de la aplicación de un proceso de diseño basado en la biomimética y comprende las siguientes etapas:

- Formulación del problema técnico
  - Búsqueda de las analogías en la biología
  - Identificación de los correspondientes principios
  - Abstracción del modelo biológico
  - Aplicación de la tecnología a través de prototipos y pruebas
- Modelo metodológico de diseño conceptual con enfoque biomimético.



Ilustración 36 Esquema del proceso UP-Bottom

Fuente: Innovación sustentable inspirada en la naturaleza

#### 1.2.7.5. Proceso desde el fondo hacia la punta (BOTTOM.UP)

Esquema del proceso BOTTOM.UP, de la Universidad de Friburgo es un proceso que se inicia con la identificación de un sistema biológico que ofrece una oportunidad de desarrollar un principio, función, material, etc., que plantea innovación o mejoras sobre lo ya existente, comprende las siguientes etapas:



- Identificación de un sistema biológico
- Analizar la biomecánica, morfología funcional y la anatomía
- Comprender los principios
- Abstracción del modelo biológico
- Aplicar la tecnología a través de prototipos y pruebas.

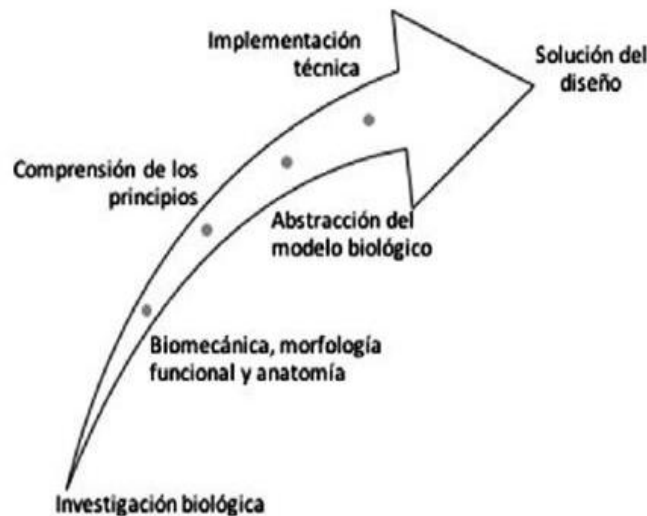


Ilustración 37 Esquema de proceso Bottom-Up

Fuente: Innovación sustentable inspirada en la naturaleza

Ambos procesos son válidos y tienen en común que para ser desarrollados es necesaria una colaboración interdisciplinar entre tecnología y biología, y esto es algo difícil de conseguir tanto para el experto biólogo como para el ingeniero, no es sencillo encontrar un especialista capaz de aplicar los resultados de ambos procesos, es difícil encontrar la información adecuada en el formato adecuado.

Para tratar de solventar estas dificultades se desarrollan herramientas y mecanismos por parte de los investigadores, la primera de ellas es el uso de sistemas basados en TRIZ en los que se considera a la naturaleza como una gran base de datos de patentes naturales, existen bases de datos de principios de biología que permiten extraer funciones, materiales, estructuras o mecanismos que pueden ser solución a los problemas técnicos planteados en ingeniería. Desarrollado por el Departamento de Ingeniería de la Universidad de Bath en el Reino Unido, han sido pioneros en la creación de una base de datos del binomio problema - solución en la naturaleza, planteando la metodología TRIZ para encontrar soluciones análogas a problemas análogos, problemas técnicos o de ingeniería con similares características a los encontrados en la naturaleza pueden tener soluciones válidas y análogas a las dadas en la naturaleza.

Esta herramienta se ha implementado en una matriz de búsqueda en la que definiendo una serie de restricciones y necesidades para el problema técnico proporciona una serie de posibles respuestas, para que este sistema funcione como una herramienta válida es necesario que la base de datos sea amplia y abarque tantos campos en biología como sea posible, y esto se consigue por medio de investigación.

Una segunda herramienta está siendo desarrollada por el Centro de Tribología para Superficies Biológicas o Bio\_inspiradas, en el Instituto Max Planck para la Investigación de Metales, basada en el sistema Selector de Materiales de Cambridge con una base de datos de unos mil materiales biológicos con sus características y definiciones para su adecuada utilización en aplicaciones concretas.

Y una tercera herramienta, que utiliza un sistema léxico de búsqueda, que se basa en la búsqueda de palabras clave en textos de biología que se corresponden con los términos en los que se puede definir un problema técnico en ingeniería. Este es un método sencillo, fácil de aplicar y rápido pero es necesario hacer una correcta definición de los términos ingenieriles, también depende de la disponibilidad y calidad de los textos de biología encontrados.

Estas herramientas son métodos para la búsqueda de ideas y soluciones dentro de alguna de las dos metodologías descritas, “bottom\_up” y “top\_down”, pero de manera general tanto las herramientas como las propias metodologías están basadas en los métodos creativos descritos como analogías.

Otro aspecto a tener en cuenta es la similitud con otras metodologías de biomimética o biónica, donde nos encontramos con dos vías para dar comienzo al proyecto biomimético, primero en el que el punto de partida es un ser vivo que destaca por tener una característica de excelencia funcional, estructural, material, etc.... del que se puede aprender y obtener resultados aplicables a nuestro proyecto para el diseño de un artefacto y un segundo en el que una necesidad técnica debe ser resuelta y se busca la abstracción de una solución natural que sea extrapolable a nuestro diseño.

En el caso del estudio de la biología y la naturaleza se enriquece el conocimiento y esas bases de datos o de referencia se incrementan y dan la posibilidad de generar nuevos conceptos de producto, teniendo mayor innovación. En el caso de partir de un problema técnico se utilizan las bases de datos como fuente de conocimiento, en el caso de no obtener respuesta se plantea una investigación biónica y se vuelve al primer caso.

## Iluminación

..."En la Naturaleza encontraremos siempre las pistas, la información, huellas y mapas para emularles directamente dentro del diseño para la sociedad del nuevo milenio. Urgentemente debemos decodificarlas y emplearlas."...

Jonhn Todd, 2002

Dentro de este capítulo II se establecerá en este trabajo a desarrollar como tengo una visión frente al tema de la iluminación y su tendencia a evolucionar. Se establece definiciones fundamentales que ayudaran a comprender que es la electroluminiscencia, quimioluminiscencia y la bioluminiscencia y su papel en la naturaleza. De la misma manera se analizarán los efectos de la iluminación en la arquitectura y en los sentidos del ser humano.

Desde que el hombre empezó a construir ciudades para habitar en ellas ha tenido que diseñar estrategias para iluminarlas. Desde los recipientes llenos de brazas que iluminaban los grandes palacios de Mesopotamia o las lámparas de aceite que permitían los desplazamientos nocturnos por las calles en la edad Media, han cambiado no solo los métodos, sino las razones del porque iluminar un espacio abierto. Una de las más antiguas y aun con vigencia en estos días es la seguridad. Si bien en épocas pasadas era necesario, pero no muy común, transitar por las calles y los jardines de noche, las formas de vida urbana prolongaron en seguida las actividades del día hasta después de la puesta del sol.

La iluminación otorga claridad allí donde hace falta y, además, resalta ciertas características de una envolvente o espacio.

El hombre sabedor de las características del mundo en que vive gracias a su sensibilidad, esta sensibilidad recibe el nombre genérico de los "sentidos" con un apellido relacionado con la naturaleza de la energía.

Estos sentidos intervienen muy eficazmente en el acopio de información. Dentro del campo de la sociología se prueba que aproximadamente el 75% del conocimiento que nos rodea en el mundo, se debe a la vista, justificando la afirmación del oftalmólogo francés Duke-Elder donde afirmo que "el hombre es un animal óptico".

Esta afirmación aceptada universalmente, reconoce la importancia que la luz tiene en nuestra existencia, siendo la energía por la que vemos.

La luz tiene principios que en conjunto son un enfoque en el diseño de la iluminación. Iluminancia, densidad, color y temperatura, luminancia, distribución, densidad y dirección estos por naturaleza son empíricos. Por sus medidas cuantificables representan gran potencial en la aplicación. En este sentido, los principios individuales no son más que fragmentos de un rompecabezas mayor que, unidos entre sí, logran una visión única a través de la interacción relativa.

Al igual que una lista de control, los principios visuales proporcionan una lista verificable de factores a considerar cuando se iluminan los espacios arquitectónicos. Sin embargo, si bien cada principio es ciertamente de importancia individual, en última instancia deben operar en conjunto, tanto entre sí como con la arquitectura circundante, para crear la experiencia espacial deseada.

La gran presencia del color podría citarse indicando la importancia en nuestras vidas dentro de la información visual debido a que el color proporciona información, ejemplo de ello solo es recordar el color del cielo que con aceptable seguridad nos predice el buen clima o la lluvia, en la fruta indicando su grado de madurez. Esto ha motivado que algunos especialistas se atrevieran a decir que realmente la visión consiste en ver colores.

Iluminación es buscar nuevas soluciones para favorecer la relación entre el usuario y el contexto. La luz se define como una onda electromagnética que nos permite visualizar todo lo que nos rodea aportando color y sentido a la vista, es esa herramienta que permite al arquitecto buscar un nuevo concepto en el proyecto. La luz parece produce un espectro imperceptible para la mayoría de las personas, pero nadie está ajeno a ella., esto es porque la luz nos atraviesa, nos choca y cuando lo hace el cuerpo reacciona de distintas maneras, permitiendo aquietar o agitar algunos de los estados de ánimo.

La luz plasmada en la obra arquitectónica la enriquece y puede ser una gran diferencia cuando se comprende la interacción de la luz y el espacio. Consiguiendo un carácter expresivo según lo que se quiera demostrar.

## 2.1 Conceptos Generales

Iluminación es verbo que hace referencia a alumbrar o dar luz<sup>38</sup> y requiere siempre de un objeto directo, de algo o alguien a quien brindar su claridad. De igual manera se conoce como iluminación, al conjunto de luces que se instala en un determinado lugar con la intención de afectarlo a nivel visual. Con la iluminación se pretende, en primer lugar, conseguir un nivel de iluminación interior o exterior, o iluminancia, adecuado al uso que se quiere dar al espacio iluminado, nivel que dependerá de la tarea que los usuarios hayan de

---

<sup>38</sup> Se llama luz (del latín lux, lucis) a la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. En física, el término luz es considerado como parte del campo de las radiaciones conocido como espectro electromagnético, mientras que la expresión luz visible señala específicamente la radiación en el espectro visible.

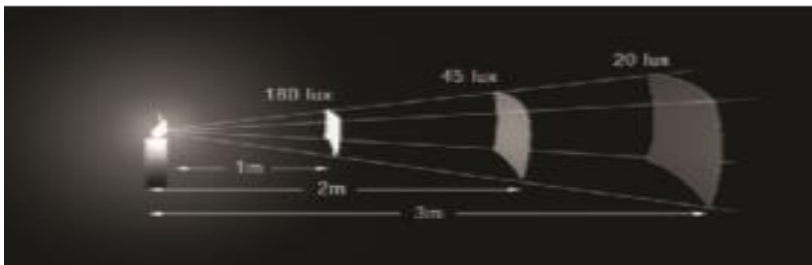
realizar. La iluminación es un término de uso frecuente en nuestro idioma y con el cual podremos expresar diversas cuestiones, siempre en relación a la presencia de luz.

La iluminación pública se encargó por primera vez en el siglo XV en Londres, y la ciudad de París pronto siguió el ejemplo, ordenando a todos los residentes cuyas ventanas daban a las calles para colgar linternas por la noche incluso en presencia de la luz de una luna llena. La visibilidad prometida por la luz artificial rápidamente se convirtió en un estándar deseado a pesar del temor continuo de que las llamas abiertas pudieran demostrar ser un peligro de incendio. La invención de la linterna de gas en el siglo XIX anunció una nueva era de luz pública y el parpadeo rítmico de las lámparas de gas se convirtió en un espectáculo familiar a lo largo de los bulevares de París, las avenidas de Londres y las calles adoquinadas de Filadelfia.

La luz es el principal medio a través del cual nos involucramos con nuestro entorno. La luz y la visión revelan una escala incomprensible y una profundidad ilimitada de nuestros mundos percibidos que ningún otro sentido puede representar.

La iluminancia describe de forma muy sencilla la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa que cae sobre una superficie dada, medida en pies o, en el sistema métrico, lux<sup>39</sup>. En el entorno construido, la iluminancia es la característica que aporta forma y claridad a una composición espacial matizada. Es capaz de controlar la intensidad de los extremos visuales, crescendos de luz y oscuridad que pueden revelar y ocultar capas de un espacio complejo. Este principio es de gran importancia práctica y fenomenológica en el diseño de la iluminación arquitectónica, ya que nos permite navegar por nuestro camino. (Descottes, 2011)

La iluminación, por otra parte, juega un papel crítico en nuestra respuesta emocional a un espacio: nuestro temor intrínseco a la oscuridad o gravitación hacia la luz ha influido en las formas en que nuestra sociedad pone fe en la luz como un medio para establecer la seguridad y proporcionar reaseguro emocional. Por último, no debe olvidarse que el término "iluminancia" describe una cantidad de luz o energía que, cuando se administra a los niveles apropiados, asegura el sustento de la vida, pero cuando se empuja a extremos, puede causar daño físico a su receptor. Por estas razones, el control cuidadoso de la iluminancia es esencial para proporcionar visibilidad, seguridad y satisfacción emocional.



*Ilustración 38 Lux*

Fuente: Architectural Lighting

<sup>39</sup> Un lux se define como la esfera de iluminación emitida por una fuente puntual de una candela en una superficie a un metro de distancia.

Iluminación en función de la distancia disminuye a medida que aumenta la distancia entre la fuente de luz y el área iluminada.

La ausencia de luz es también una herramienta muy poderosa. En la luz disminuida, la respuesta fisiológica de nuestros ojos cambia para procesar niveles de luz más bajos, y así lo que percibimos realmente experimenta una transformación visual. La retina, la capa neural de nuestro ojo, alberga dos tipos de células foto receptoras -barras y conos- que procesan diferentes intensidades y longitudes de onda de luz en señales neurales, clasificadas en imágenes por el cerebro.

En la oscuridad, cuando nuestros ojos se acostumbran a los bajos niveles de luz, descubrimos en las sombras nuevas relaciones visuales que redefinen las formas en que percibimos nuestro entorno. En la luz disminuida, la respuesta fisiológica de nuestros ojos cambia para procesar niveles de luz más bajos, y así lo que percibimos realmente experimenta una transformación visual.

En el ensayo del escritor japonés Jun'ichiro, Tanizaki, de 1933, "En el elogio de las sombras" sus observaciones sobre la forma en que la tenue iluminación revela la esencia de un material, sus texturas delicadas, su forma matizada y su pátina erosionada ilustran hermosamente cómo algunos objetos y espacios son mejor vistos y comprendidos en presencia de débiles luces

Del mismo modo, en ambientes arquitectónicos, la luz puede proporcionar una visibilidad de bienvenida, pero también puede sobre estimular o cegar.

El control cuidadoso de los niveles de iluminación a través de las trayectorias espaciales es crucial para asegurar la continuidad visual y espacial, el confort y la capacidad de ver.

En el diseño arquitectónico, la iluminancia controlada puede disimular de manera similar y revelar capas de una fachada o interior. Los edificios contemporáneos, cuyas fachadas multicapa ofrecen diversos grados de transparencia, son excelentes candidatos para el juego de la luz y la sombra y la revelación o negación del espacio intermedio y de los elementos subestructurales. A través del control cuidadoso de la iluminancia, un edificio puede transformarse en una entidad cambiante donde se ocultan y revelan diferentes rasgos, dependiendo de los requisitos programáticos o estéticos.

La luz y los elementos arquitectónicos se pueden utilizar y complementarse para determinar los límites de un espacio percibido. La luz puede sugerir la presencia de extensiones ilimitadas o fronteras definitivas, aberturas transparentes o recintos opacos. La luz es una paleta potente que puede construir aún más nuestra comprensión de un espacio arquitectónico. La luz es esa sustancia efímera e intangible en la que contamos para dar forma a nuestra visión del mundo.



Una encuesta de crímenes de la calle en los archivos del departamento de policía de Cleveland, Ohio, a principios del siglo XX, demostró una disminución del 41 por ciento en el crimen en el distrito de negocios una vez que se instaló la iluminación ornamental. El papel de la luz pública en los centros urbanos sigue basándose en ideas de visibilidad, seguridad y estética, pero el concepto de seguridad se extiende mucho más allá de la prevención de la actividad delictiva. Un estudio realizado en 1977 y nuevamente en 1997 por el Instituto Nacional de Justicia demostró que la correlación entre iluminación y crimen no es concluyente, ya que muchos crímenes se cometen durante la luz del día o en edificios vacíos iluminados por la noche. BAJ Clark en la Sociedad Astronómica de Victoria Inc., Australia, fue más allá para sugerir que el crimen nocturno era quizás más probable que ocurriera en áreas de altos niveles de luz ambiental al aire libre, ya que "la iluminación exterior excesiva parece facilitar algunos de los factores sociales que conducen a la delincuencia"... (Descottes, 2011)

La propiedad visual de la luminancia pretende explicar este fenómeno, cuantificando la intensidad de la luz emitida desde una superficie dada. La luminancia se mide en footlambert o candela por metro cuadrado. Las relaciones de luminancia describen la diferencia de brillo entre dos objetos o áreas en un entorno dado. Las yuxtaposiciones de los niveles de luminancia y el empleo de variados contrastes pueden usarse para dar un sentido de jerarquía y dirección al espacio

La luminancia y el brillo son dos conceptos que van de la mano, aunque a menudo se confunden entre sí. Mientras que la luminancia es la medida objetiva de la intensidad de la luz por unidad de área, el brillo es la sensación subjetiva que nosotros, el espectador, experimentamos al mirar un objeto o superficie.

Otros conceptos que se conocen en la iluminación son:

El ángulo de apantallamiento se refiere al ángulo medido desde el plano del techo hasta la línea de visión en que queda visible sin obstáculos la lámpara de una luminaria. Cuanto mayor es el ángulo de apantallamiento más reducido será el deslumbramiento directo.

El ángulo de radiación, el ángulo formado por dos líneas que cortan la curva de distribución de candela en los puntos en que la candela equivalente al 10% de su intensidad máxima es la distribución del haz.

## 2.2 luz visible

La luz visible reside entre las regiones ultravioleta e infrarroja del espectro electromagnético. Aunque las ondas ultravioleta e infrarroja son invisibles para el ojo humano, son no obstante dañinas y presentes en muchos tipos de luz. La luz del día contiene las longitudes de onda ultravioleta, visible e infrarroja de la luz, mientras que

varias fuentes de luz artificial contienen una combinación de dos o tres de estas longitudes de onda, por lo tanto, la luz debe ser filtrada y controlada para demostrar su seguridad.

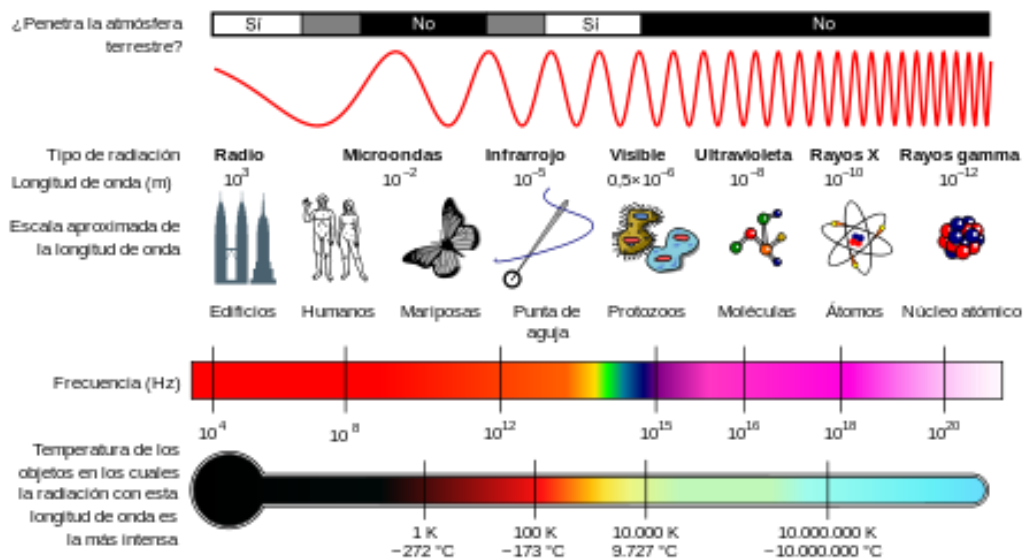


Ilustración 39 Frecuencias de luz visible

Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/EM\\_Spectrum\\_Properties\\_es.svg/1200px-EM\\_Spectrum\\_Properties\\_es.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/EM_Spectrum_Properties_es.svg/1200px-EM_Spectrum_Properties_es.svg.png)

La luz visible es simplemente la porción de este espectro cuyas longitudes de onda son reconocidas y procesadas por los receptores en nuestros ojos. Lo que percibimos como luz visible se define como el rango de longitudes de onda que caen entre la radiación ultravioleta e infrarroja, entre 380 y 780 nanómetros. Los colores dentro de este espectro visible se distinguen por una sola longitud de onda o por una gama de longitudes de onda. Los colores que se pueden definir por una sola longitud de onda se llaman colores espectrales puros, o monocromáticos, y se etiquetan por el tinte: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, y púrpura.

La luz visible reside entre el ultravioleta y las regiones infrarrojas del espectro electromagnético. Aunque las ondas ultravioleta e infrarroja son invisibles para el ojo humano, no obstante son dañinos y presente en muchos tipos de luz. La luz del día contiene ultravioleta, visible e infrarroja de la luz, mientras que varias fuentes de luz artificial contienen una combinación de dos o tres de estas longitudes de onda, la luz debe ser filtrada y controlada para demostrar su seguridad.

Sin embargo, la mayoría de los colores que vemos están compuestos realmente de una gama de longitudes de onda, y la luz blanca es la combinación de muchas longitudes de onda visibles mezcladas juntas.

El espectro cromático es denominado espectro de luz visible y es esta energía electromagnética de entre 380 nm (violeta) y 770 nm (roja) y es visible por el ojo humano.

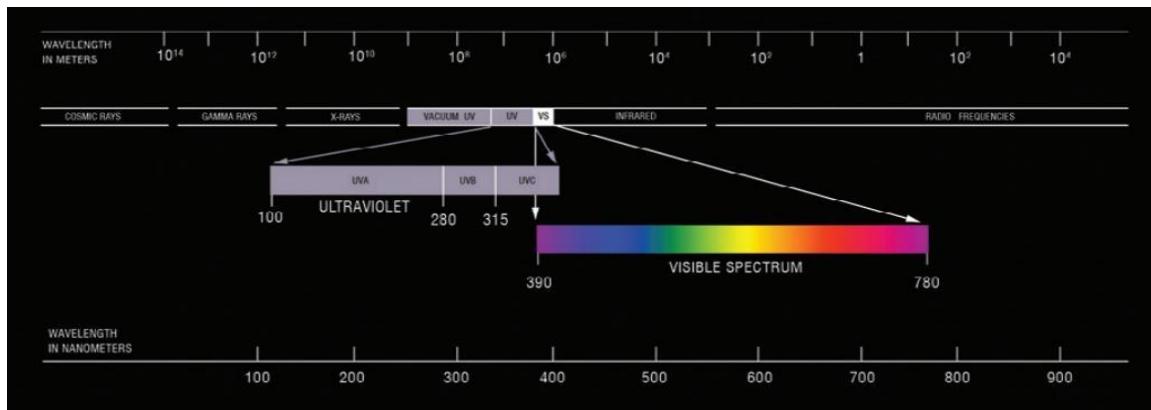


Ilustración 40 Luz visible al ojo humano

Fuente: *Architectural Lighting*

Según el color de la fuente de emisión se produce un efecto sobre el estado anímico de las personas: las fuentes de alimentación blancas (iluminación diurna) "activan" (producen un "estado de ánimo diurno"), mientras que las bombillas tradicionales, con una elevada composición de rojo, producen pasividad y un estado de ánimo de tarde-noche (de atardecer). Otra característica es que el rojo e infrarrojo son emisores térmicos, con elevada transmisión de calor, y que son las frecuencias de onda que absorben principalmente las plantas durante la fotosíntesis (de ahí que dejen las frecuencias residuales, que no procesan a energía química: el verde).

Según la temperatura de emisión se obtiene una temperatura del color, relacionada con las fuentes de calor. Bombilla tradicional: 2800 Kelvin; bombillas cálidas: 2900 K; luz blanca: 4000 K; luz diurna (al mediodía, con cielo despejado): 5200 K; luz diurna (en días nublados, que es más azul): más de 6000 K. Según el color de la luz, se clasifican las lámparas en tres categorías: luz cálida (alto porcentaje de rojo, bombilla tradicional), luz neutral (para el trabajo, oficinas, tiendas, etc.), y luz diurna (usada en elevadas necesidades de intensidad de iluminación).

Nuestra percepción del color está determinada tanto por las propiedades físicas de la luz y del cuerpo humano fisiológicas y psicológicas a la luz que entra en el ojo. Luz por definición es un tipo de radiación electromagnética que se emite cuando las partículas cargadas, o los fotones, se mueven. Esta energía, que se caracteriza por su frecuencia de longitud de onda, es parte de un rango continuo mayor de la radiación llamada espectro electromagnético. La luz visible es simplemente la porción de este espectro cuyas longitudes de onda son reconocidas y procesadas por los receptores en nuestros ojos.

En el pasado, las personas a menudo se resistían a usar bombillas fluorescentes en sus hogares por temor a la luz dura y fría que podían emitir, pero en los últimos años los avances en la tecnología han mejorado mucho el color y Las capacidades de representación de colores de las lámparas fluorescentes y las cualidades estéticas de la luz emitida son ahora más similares a las de una bombilla incandescente. Sin embargo, al igual que con la

mayoría de las tecnologías, hay aspectos positivos y negativos que deben considerarse con el desarrollo de nuevas formas de iluminación.

El color de la luz está inextricablemente ligado a la percepción del espacio y del tiempo. Muy a menudo, no recordamos los detalles arquitectónicos de un espacio, sino más bien la luz azul fría de una mañana de invierno o el cálido resplandor de un sol poniente es lo que perdura en nuestros recuerdos, formando nuestra comprensión de un espacio habitado en un momento preciso. El color de luz altera la forma en que percibimos los objetos y sus alrededores. Tiene el poder de transformar lo familiar en lo exótico, haciendo nuevas relaciones y contrastes cromáticos entre el primer plano y el fondo, la forma y la atmósfera. Debido a que cada objeto obtiene su aspecto coloreado en parte de la luz que absorbe o refleja, el color de la luz puede transformar nuestra percepción de un objeto y su entorno de tal manera que se descubren nuevas relaciones espaciales, formales o cromáticas.

Es importante recordar que la luz es por definición energía, y que puede tener un efecto sobre el material que encuentra. Cuando la luz da en un objeto, una parte de las ondas de luz se refleja y otra parte es absorbida por la materialidad del objeto mismo. Las ondas luminosas reflejadas son las que alcanzan nuestros ojos y que procesamos en una imagen del objeto. Las ondas luminosas absorbidas no son visibles, pero son potencialmente peligrosos, causando daños irreversibles daño a la materialidad del objeto.

Nosotros estamos familiarizados con el amarillamiento de una alfombra o el desvanecimiento de un patrón textil causado por la exposición al sol prolongado. Este daño puede ser limitado por el control de los niveles de luz, la exposición de un objeto a estos niveles de luz, y la minimización de la radiación ultravioleta e infrarroja.

### 2.3 Efectos de la iluminación

En aspecto psicológico destacable en lo que se refiere a los niveles de iluminación es el comportamiento humano, a mayor temperatura de color de nuestras fuentes luminosas, mayor estimulación se produce en nuestros sentidos. Un lugar iluminado con 180 o 100 Lux automáticamente “sugiere” la necesidad de bajar el tono de voz creando un clima más íntimo, mientras que en el mismo sitio iluminado con luces más intensas nos dan la sensación de estar en un lugar más abierto y por lo tanto nuestro tono de voz, así como nuestro comportamiento es más activo. La apariencia en color de las lámparas viene determinada por su temperatura de color ordenada. Se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: - Luz fría para las que tienen un tono blanco azulado - Luz neutra para las que dan luz blanca - Luz cálida para las que tienen un tono blanco rojizo.

Temperatura de color	Apariencia de color
Tc mayor a 5.000 K	Fría
3.300 < Tc < 5.000 K	Intermedia

Tc menor a 3.300 K	Cálida
--------------------	--------

A pesar de esto, la apariencia en color no basta para determinar qué sensaciones producirá una instalación a los usuarios, el nivel de iluminancia (lux), también desempeña un papel importante en la elección.

Los tonos fríos producen una sensación de tristeza y reducción del espacio, aunque también pueden causar una impresión de frescor que los hace muy adecuados para la decoración en climas cálidos. Los tonos cálidos son todo lo contrario. Se asocian de exaltación, alegría y amplitud del espacio y dan un aspecto acogedor al ambiente que los convierte en los preferidos para los climas cálidos. De todas maneras, a menudo la presencia de elementos fríos (bien sea la luz de las lámparas o el color de los objetos) en un ambiente cálido o viceversa ayudarán a hacer más agradable y/o neutro el resultado final.

La luz ha afectado a los seres humanos durante miles de años. La humanidad se desarrolló bajo condiciones de luz diurna, y Dios dijo: Que se haga la luz y hubo luz, pero entonces llegó Edison e inventó la luz eléctrica. La luz se hizo disponible para la gente durante el día y la noche, allanando el camino para la sociedad de 24 horas.

Hoy en día, la industria de la iluminación conlleva una responsabilidad enorme para la iluminación artificial. En vista de que las personas pasan la mayor parte del tiempo en su trabajo, en ocasiones tienen un limitado acceso a la luz natural. Esta situación constituye la base para nuevas investigaciones sobre cómo la luz afecta a los humanos en su vida cotidiana.

Los efectos de la luz en los seres humanos se pueden dividir en tres categorías: visual, emocional y biológica. Los efectos visuales son conocidos y en parte han encontrado su camino en estándares y guías de luz. Los arquitectos y los artistas están muy familiarizados con los efectos emocionales de la luz. Recientemente, los efectos biológicos de la luz se han convertido en un importante foco de interés.

Como una disciplina de investigación, la cronobiología<sup>40</sup> ha explorado las relaciones entre el tiempo y los ritmos de vida en la tierra desde el siglo XIX. Los ensayos llevados a cabo por Bunker Weaver y Aschoff del Instituto Max Planck para la investigación del Comportamiento en Andechs, Baviera, en la década de los sesenta, representó un hito. Los investigadores fueron capaces de demostrar que, aun cuando en un aislamiento total, los participantes del estudio tenían un ritmo interno de más de 24 horas. La luz ha demostrado ser un importante motor para la sincronización con el día.

---

<sup>40</sup> La cronobiología es una disciplina de la fisiología que estudia los ritmos biológicos, incidiendo tanto en su origen como en sus características y sus implicaciones. Posee especial interés en endocrinología, neurociencia y ciencia del sueño. Estudia la organización temporal de los seres vivos, sus alteraciones y los mecanismos que la regulan. En términos prácticos, la cronobiología se ocupa de estudiar los mecanismos por los que se producen los ritmos biológicos y sus aplicaciones en biología y medicina. En términos generales la cronobiología es la ciencia que estudia los procesos biológicos que siguen unas secuencias temporales previsible, y centra su estudio en los ritmos biológicos y en los relojes biológicos que generan dichos ritmos.

En la 23<sup>a</sup> reunión de la CIE<sup>41</sup> en Nueva Delhi en 1995, el profesor Brainard presentó un abordaje revolucionario que estableció un vínculo sólido entre la cronobiología y la luz en la arquitectura. En 2001, dos grupos de trabajo encabezados por Brainard y Thapan publicaron los resultados de sus investigaciones sobre la gama de efectos sobre el ritmo circadiano.

Mientras tanto, los efectos de la luz en los seres humanos han sido incorporados en las normas. Algunos argumentan que puede ser demasiado pronto para la estandarización, los expertos son muy conscientes del hecho. Por otro lado, un proceso de legislación fuertemente motivado por la normalización de la eficiencia energética está en curso. Las especificaciones definidas para los efectos de la luz en los seres humanos podrían actuar como un importante contrapeso a las normas destinadas exclusivamente al ahorro energético.

La cuestión es si la iluminación artificial puede mejorar el rendimiento y al mismo tiempo aumentar el bienestar emocional. Durante el período comprendido entre octubre de 2006 y marzo de 2007, los criterios en la calidad de la iluminación, colores luminosos y dirección de la luz cambiaron de forma dinámica en diferentes ambientes luminosos.

Si la luz puede mejorar la calidad de vida promoviendo el rendimiento durante el día y el sano sueño durante la noche, entonces todos los avances en la investigación y, en última instancia, todas las inversiones a la luz valdrán la pena

## 2.4. Fuentes de Luz

Las fuentes de luz pueden ser primarias o secundarias. Las primarias producen la luz que emiten, las secundarias reflejan la luz de otra fuente; por ejemplo, la luna no emite luz, sino refleja la luz emitida por el Sol. A su vez, entre las fuentes primarias se puede distinguir entre fuentes naturales (el Sol) o artificiales (una lámpara).

Una fuente de luz puede ser difusa o puntual. La luz difusa incide sobre los objetos desde múltiples direcciones, proporcionando sombras menos nítidas cuanto más lejos esté un objeto de la superficie que oscurece. La luz puntual se origina en un punto más o menos reducido respecto al objeto que ilumina, pudiéndose hablar de una direccionalidad más o menos similar entre los rayos que emite, haciendo las sombras que un objeto proyecta mucho más nítidas o recortadas y que se hagan más grandes cuanto más cerca se sitúe el objeto de la fuente de luz y más lejos de la pantalla que recibe la sombra.

Mención aparte merece la luz solar que, debido a la distancia que separa al Sol de la Tierra, posee una fuerte direccionalidad, pero al mismo tiempo es una fuente luminosa de

---

<sup>41</sup> Comisión Internacional de la Iluminación, autoridad internacional en luz, iluminación, color y espacios de color.



tamaño notablemente mayor que cualquier objeto terrestre. Sus rayos inciden sobre un punto de la Tierra con una apertura de aproximadamente 32' haciendo que la sombra de cualquier objeto acabe completamente difuminada al situarlo a una distancia de más de 107,47 veces su tamaño horizontal respecto a una superficie. Unido al efecto difusor de la atmósfera y los gases en suspensión como el vapor de agua, especialmente en forma de nubes, la iluminación por luz solar puede variar desde una puntualidad de 32' hasta una dispersión de casi 180° en la superficie, o incluso más a cierta distancia de ella.

Se puede representar una fuente de luz difusa como una superficie emisora de luz de mayor o menor tamaño angular con distintos ángulos y distribuciones angulares de emisión a lo largo de dicha superficie. Esta representación puede simplificarse si sólo se desea calcular la iluminación de un objeto concreto. También hay luz propia y reflejada.

Como hemos dicho antes, la luz es una forma de energía. Para crear luz, otra forma de energía debe proporcionarse. Existen dos tipos básicos de fuentes de luz: Incandescencia y luminiscencia. La incandescencia involucra la vibración de átomos enteros, y la luminiscencia involucra sólo a los electrones.

La incandescencia es luz obtenida de la energía de calor. Si calentamos algo a una temperatura lo suficientemente alta, esto empezará a brillar. La luz incandescente se produce cuando los átomos se calientan y empiezan a liberar alguna de su vibración termal como radiación electromagnética. Éste es el tipo de luz más común que nosotros vemos todos los días, como la luz solar, las bombillas o focos regulares (no fluorescentes) y el fuego. La luz es producida por la incandescencia cuando la luz viene de un sólido que se ha calentado.

La luz incandescente también es conocida como la "radiación de cuerpos negros". Este nombre surge de estudios que científicos han realizado con este tipo de luz. Ellos basaron sus teorías en materiales ideales que absorberían todos los colores de luz y por lo tanto parecerían "cuerpos negros". Los fotones liberan diferentes energías y diferentes colores dependiendo de qué tan caliente esté el material. Entre más baja esté la temperatura, estos materiales emiten radiaciones en longitudes de onda infrarrojas, las cuales sentimos como calor. Por ejemplo, la mayoría de la energía emitida por el fuego es infrarroja. Al aumentar la temperatura, estos materiales brillarían en tonalidades rojas, después naranjas, luego amarillas y finalmente blancas. En la realidad, estos materiales ideales de cuerpos negros de los que hemos hablado no existen, sin embargo, la mayoría de las sustancias son similares a estos y podemos observar la secuencia de tonalidades con los cambios de temperatura. A continuación vamos a analizar los tipos de luz incandescente:

El Sol es el miembro central del sistema solar. Este gobierna los movimientos de los otros miembros en la órbita debido a su fuerza gravitatoria. El Sol proporciona casi todo el calor y toda la luz y otras formas de energía que son necesarias para la vida en nuestro planeta. Aunque el sol es una estrella bastante ordinaria, es muy importante para los

habitantes de la Tierra, ya que es la fuente de la energía de toda la Tierra. El Sol y las Estrellas brillan por incandescencia.

El fuego y los focos incandescentes (bombillas) proporcionan luz por el mismo proceso, la incandescencia.

Las reacciones químicas que ocurren en el fuego, emiten calor cuando liberan gases y aumentan la temperatura de los materiales. El fuego produce diferentes temperaturas que resultan en diferentes colores.

Los focos utilizan electricidad para producir calor. Un foco incandeece o "prende" debido a que dentro del foco, diversas corrientes eléctricas corren por un alambre delgado y lo calientan a altas temperaturas, ocasionando que este alambre incandesca, o brille. Entre más alta esté la temperatura, la luz será más blanca y más brillante. En las lámparas incandescentes, el filamento del foco está hecho de tungsteno, un metal especial que puede permanecer a altas temperaturas por cientos de horas sin quemarse.

Para determinar la cantidad de energía que utiliza un foco podemos utilizar la siguiente regla: Un watt es igual a un julio (joule) de energía por segundo, así que un foco de 60 watts utiliza 60 julios por segundo, o 216,000 julios por hora.

La luminiscencia es "luz fría", es luz de otras fuentes de energía que puede tener lugar en temperaturas normales o más bajas. La luz luminiscente ocurre a temperaturas más bajas que la luz incandescente. Esta se produce cuando un electrón suelta o libera alguna de su energía a la radiación electromagnética. Los electrones necesitan tener cierta energía para mantenerse a ciertos niveles, entonces cuando un electrón desciende a un nivel de energía más bajo, este libera una cantidad específica de energía, la cual se convierte en un fotón o en luz de cierto color. Para tener luminiscencia continua, es necesario tener algo que continuamente dé un empujón a los electrones a un nivel de energía más alto para mantener funcionando el ciclo. Este empujón puede ser proporcionado por diferentes fuentes, tales como corriente eléctrica, como en la luz florescente, luz de neón, iluminación exterior de vapor de mercurio, diodos que emiten luz, pantallas de televisión y monitores de computadora, animales como las luciérnagas, etc.

Existen varios tipos de luminiscencia, cada uno de estos tipos recibe su nombre de acuerdo a la fuente de energía o a lo que ocasiona la luminiscencia:

#### Luces Florescentes y Televisión:

Tres de las aplicaciones más comunes de luminiscencia ocurren en los monitores de computadoras, en las televisiones y en las luces fluorescentes. La televisión y las luces fluorescentes trabajan con el uso los fósforos -químicos especiales que liberan luz cuando son excitados por la electricidad, radiación u otros métodos. Las luces fluorescentes utilizan dos tipos de luminiscencia, electro luminiscencia y photoluminiscencia.

### Luces de Neón:

Las luces de neón producen su luz por medio de la electro luminiscencia, la cual es el voltaje que empuja a la corriente a través del gas que la excita y causa que emita luz. A continuación presentamos una lista con los colores más comunes y los gases que se asocian con estos:

- \* Para obtener rojo, o naranja, utilizamos neón
- \* Para obtener azul, utilizamos mercurio
- \* Para obtener verde, utilizamos vapor de mercurio \* Para obtener dorado, utilizamos helio en un tubo ámbar \* Para obtener amarillo, utilizamos sodio.

### Bio-luminiscencia:

La Bio-luminiscencia se define como la generación de luz por organismos vivos, como ciertos tipos de calamares de aguas profundas, pulpos, gusanos y moluscos y las luciérnagas. La luz de la bioluminiscencia también es producida por ciertas bacterias, o por ciertas células que viven dentro de los peces.

## Bioluminiscencia

..."El único conocimiento que muchos tenemos de la bioluminiscencia es la emisión de luz por algunos organismos vivos. O probablemente para otros sea un momento casi mágico en un cuadro fosforescente donde miles de fuentes microscópicas emiten luz al movimiento de las olas."...

Noviembre de 2016

En este capítulo III “bioluminiscencia” se dará una visión general sobre la bioluminiscencia introduciendo al lector a un conocimiento más amplio sobre este fenómeno, en que sistemas se da y los tipos de bioluminiscencia existentes, buscando definir el más conveniente para aplicar la espiral del diseño biomimético.

Uno de mis objetivos es describir, analizar e imitar los principios y procesos de la bioluminiscencia en las bacterias principalmente o en sus diversas manifestaciones como en los hongos, protistas unicelulares, gusanos, moluscos, cefalópodos, insectos y peces. Imitando este proceso y orientarlo a elementos para el uso en la arquitectura ya sean como elementos de ornato o de señalización o de información, el uso podría ser muy variado, pero en estricto uso en la arquitectura, e informar los resultados que esta investigación arrojen.

Este estudio revela el mecanismo detrás de este bello fenómeno esto me ayuda a su comprensión, ahora está en mi imitar y desarrollar la investigación del proyecto para aplicarla y crear la tecnología que se utilizara en bien y a favor de nosotros, del medio ambiente y la arquitectura.

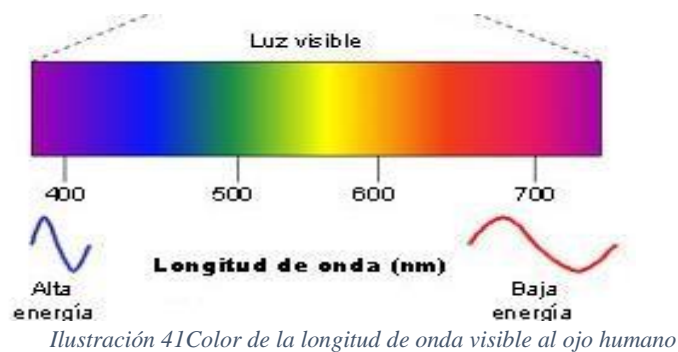
La intencare realizar con bacterias bioluminiscentes, estas bacterias tienen una especie de comunicación entre sí, esto es como si una bacteria se posara en una superficie, si esta superficie es apta para la bacteria se comunicará con las otras bacterias para realizar lo que se le conoce como cuórum perfecto, continuara la comunicación y cuando sean bacterias suficientes en número, comenzaran a crear una capa o una bio-película así activando su sentido de señalización.

Se trata de crear una superficie en la cual las bacterias bioluminiscentes se posen para lograr se adhieran a la superficie y trabajen conjuntamente con el elemento y así auto iluminarse.

Hasta el momento hemos visto la base de mi proyecto que es la Biomimesis y la bioluminiscencia, ahora necesito el material con el cual lograr el elemento para la utilización en la arquitectura.

Es la luz producida por una reacción química dentro de un organismo. Puede ser activada por un movimiento o mecánicamente. Es un fenómeno principalmente marino. En agua dulce ocurre en algunas excepciones como en algunos insectos. Al menos dos elementos se requieren, el que produce la luz "luciferina" y otro que cataliza la reacción "luciferasa." algunas veces la luciferina y la luciferasa (así como el oxígeno) se unen en una "fotoproteína", la cual puede producir luz cuando un ión particular (calcio) se añade al sistema. Debe quedar claro que la Bioluminiscencia no es igual a "fluorescencia" o "fosforescencia". La fluorescencia que es la energía de una fuente de luz es absorbida y reemitida como otro fotón. Bioluminiscencia: la energía para la excitación proviene de una reacción química y no de una fuente de luz.

En el espectro de luz muchos organismos emiten luz entre 440 nm y 479 nm. La luminiscencia de un dinoflagelado es visible en la oscuridad para el ojo humano. Muchos dinoflagelados emiten cerca de  $6 \times 10^9$  fotones en 0.1 segundo. Algunas medusas emiten cerca de  $2 \times 10^{11}$  fotones por 10 segundos.



Fuente: [http://4.bp.blogspot.com/\\_ZiPg49wsE8/TTnVIVk7yhI/AAAAAAAAACK/M4ow5FQNaE/s1600/Espectro+electromagn%25C3%25A9tico.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_ZiPg49wsE8/TTnVIVk7yhI/AAAAAAAAACK/M4ow5FQNaE/s1600/Espectro+electromagn%25C3%25A9tico.jpg)

Algunos organismos emiten luz continuamente, pero muchos lo hacen en un período entre 0,1 a 10 segundos. Algunos dinoflagelados pueden responder repetidamente a la excitación en un período corto de tiempo. En algunos peces el sistema nervioso simpático controla la luminiscencia por un neurotransmisor.

### 3.1. Ecosistema Aprender de la naturaleza.

La bioluminiscencia es el resultado de un fenómeno químico natural en los seres vivos capaces de producir luz propia ya sea utilizada con las funciones de referencias sexuales y ayuda al emparejamiento como lo hacen las luciérnagas, como defensa o para la supervivencia actuando como cebo, que es utilizado por los pejesapos, también como

distracción, para la comunicación o el camuflaje, más adelante hablare un poco de cada uno de ellos.

En algún momento se descubrió que las características de la bioluminiscencia en intensidad y eficiencia podrían ser usadas en aplicaciones tecnológicas de vanguardia, que es básicamente exclusivo de materiales inorgánicos. (Darwin, 2000)

La bioluminiscencia se define como la producción de luz en ciertos organismos vivos derivados de las palabras “BIOS” (griego) que es vida y del latín “LUMEN” que significa luz, generada por la reacción química de los elementos Luciferina la cual es oxidada por una enzima llamada luciferasa que actúa como catalizador.

¿Cómo funciona la luciferina y luciferasa en la bioluminiscencia?

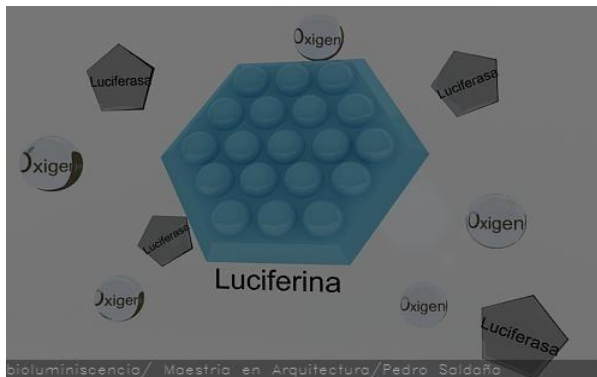


Ilustración 42 Luciferina

Fuente: Pedro Saldaña basado en el proceso de bioluminiscencia.

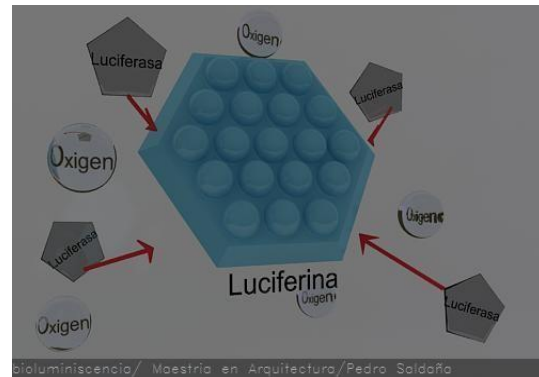


Ilustración 43 Proceso de oxidación

Fuente: Pedro Saldaña basado en el proceso de bioluminiscencia.

En bioluminiscencia una luciferina produce luz, y la luciferasa permite que la luz que se produce tenga lugar en una reacción química. En esta acción la luciferasa actúa como un catalizador y permite que el oxígeno se combine con la luciferina.

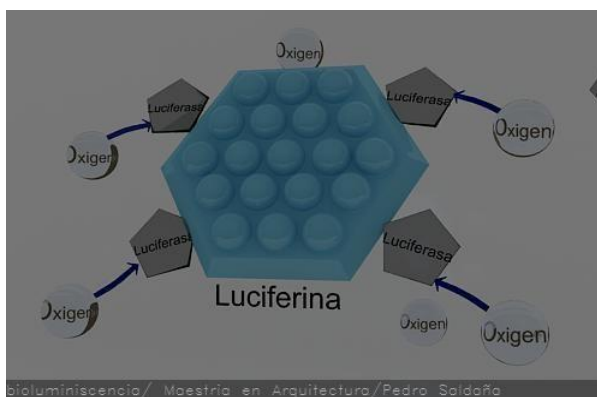


Ilustración 44 Oxidación

Fuente: Pedro Saldaña basado en el proceso de bioluminiscencia.

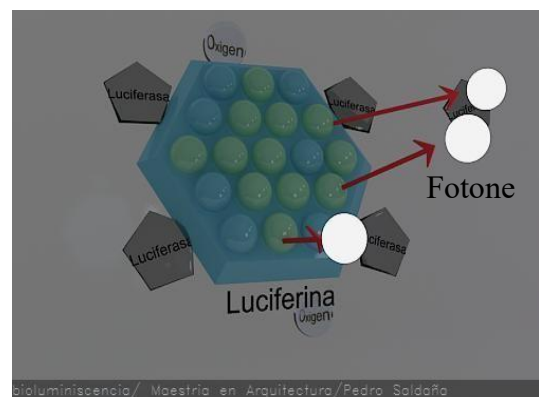


Ilustración 45 Producción de fotones

Fuente: Pedro Saldaña basado en el proceso de bioluminiscencia.



Con esta reacción se producen fotones de luz.  
Una oxiluciferina es la sustancia luminiscente, responsable de la luminosidad, producida por la oxidación de la luciferina.

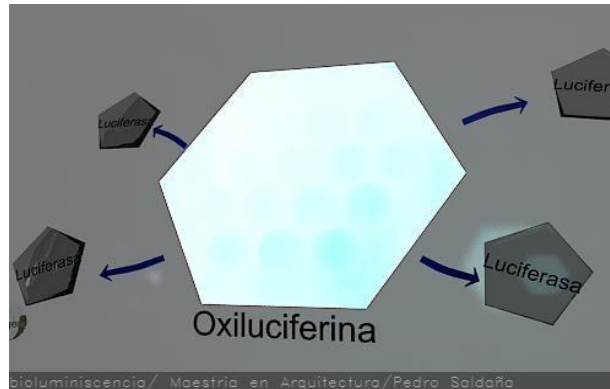


Ilustración 46 Oxiluciferina

Fuente: Pedro Saldaña basado en el proceso de bioluminiscencia.

La generación de luz es la conversión de energía química a energía lumínica.

Teniendo en cuenta que la bioluminiscencia tiene diferentes tipos de los cuales tendré que elegir el mejor esto después de una investigación y análisis para su elección, a continuación, se mostraran los tipos de bioluminiscencia: La de bacterias simbióticas, la extracelular y la intracelular.

Bacterias Simbióticas luminiscentes.

Este fenómeno se encuentra solamente en animales marinos tales como los gusanos, celentéreos, moluscos, peces y equinodermos. Es el fenómeno de luminiscencia de origen biológico más extendido en el reino animal. Estos animales disponen de pequeños fotóforos, aquí se alojan bacterias luminiscentes.

Bioluminiscencia extracelular.

La bioluminiscencia extracelular se genera con la reacción química entre la luciferina y la luciferasa fuera del organismo. Estos componentes se sitúan en glándulas de la piel o por debajo de esta. Esta mezcla produce nubes luminosas y es común en crustáceos y algunos cefalópodos.

Bioluminiscencia intracelular.

La intracelular se produce por células especializadas del propio cuerpo de algunas especies pluricelulares o unicelulares donde la luz se emite al exterior a través de la piel y se intensifica mediante lentes y materiales reflectantes como los cristales o las placas de guanina.

Desde tiempos pasados los marinos mencionaban sorprendidos el resplandor de luz verde en el mar, fenómeno de origen bioluminiscente. También se conoce el origen de la bioluminiscencia marina a nivel celular producida por los dinoflagelados que es un micro organismo.

Darwin en su viaje a Beagle dejó registro en su diario de este fenómeno: “Mientras navegábamos al sur de Plata, en una noche muy oscura, el mar presentó el más bello y maravilloso espectáculo. Había una brisa fresca y en cada parte de la superficie en la que durante el día se veía espuma ahora se emitía una luz pálida. La nave apartó dos nubes de fósforo líquido, y su estela era seguida por un séquito lechoso.” (Darwin, 2000)

Estudios recientes descubren el mecanismo por el cual producen bioluminiscencia los seres vivos.

Susan Smith y Thomas DeCousey Publicaron un estudio en el cual explican:

El aspecto clave de la bioluminiscencia de los dinoflagelados viene del voltaje de las bombas de protones de sus membranas, las cuales se abren o cierran por efectos químicos o eléctricos.

Recordemos las funciones que cumplen los complejos proteínicos en las células, pero algunas de ellas tienen formas cilíndricas huecas en las cuales sirven como vías por donde se bombean iones o protones.

Según el estudio la luz generada tiene el siguiente mecanismo: el dinoflagelado flota en el agua, el movimiento del agua actúa como estimulación y envía unos impulsos eléctricos hacia la vacuola en la cual existe gran cantidad de protones, con los impulsos se abren bombas de protones, las cuales llevan estos protones de la vacuola a los scintillos, al entrar los protones en los scintillos se activa la luciferasa, el proceso de la luciferasa ya lo conocemos debido a la mención anterior. Dependiendo de la cantidad de estos microorganismos se verá la emisión de luz.

La emisión de luz en los seres vivos llega a ser o presentarse en dos tipos como lo son la fotoluminiscencia (fosforescencia y fluorescencia) esto por la presencia de moléculas foto-excitables, estas absorben la luz con una determinada longitud de onda y emiten a una mayor longitud ( $h\nu'$ ), en cambio en los seres vivos es la bioluminiscencia o también conocida como quimioluminiscencia, debido a que la energía procede de una reacción química exergónica que se transforma en energía luminosa.

En los microorganismos algunas bacterias protistas (fundamentalmente dinoflagelados<sup>42</sup>) y hongos tienen las propiedades de la bioluminiscencia. La emisión de luz

---

<sup>42</sup> Dinoflagelados. Son animales microscópicos, casi siempre unicelulares clasificados como protistas. Tienen flagelos, los cuales le permiten la locomoción y la alimentación. Integran el Fitoplancton marino y son cosmopolitas. El tamaño oscila entre 50 y 500  $\mu\text{m}$ , por lo que se les ubica dentro del microplancton, se

en la fotoluminiscencia ( $h\nu'$ ) depende de la previa absorción de luz por especies químicas, en cambio en la bioluminiscencia la emisión se da por la existencia de una reacción química (A+B).

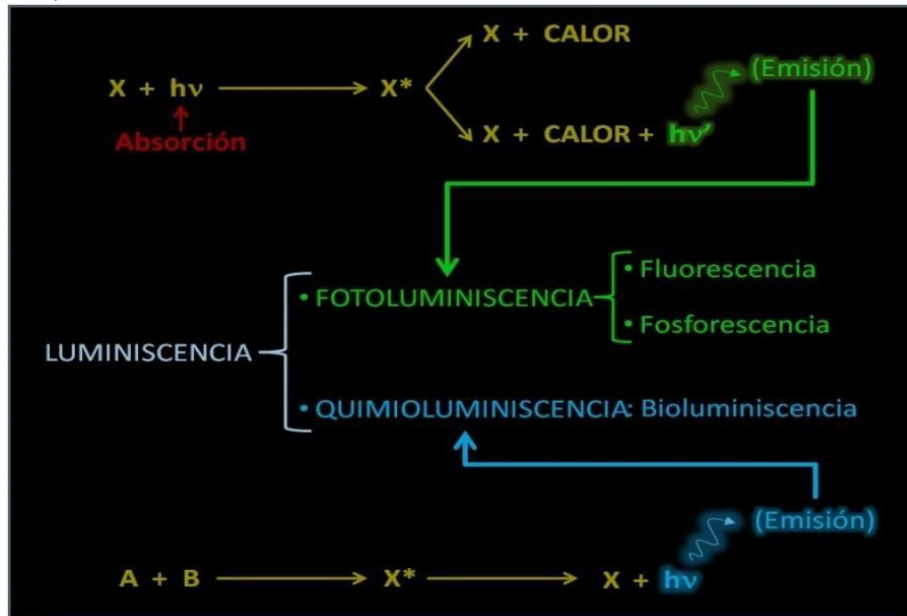


Ilustración 47 Emisión de luz por bioluminiscencia

Fuente:

[https://lh3.googleusercontent.com/4\\_AZiUe30F0ZnIgjwrjh1bexe69Pde6UEGokMpbJ4jyxFYxtGqwrDkFIU2oh9dpZ6oV5exX3Rmn4YzGCoL8\\_GDcmtQ8u8S3v\\_y6lauAQnjV8fHLeGJqm9B5GQo-Ow2k3SU1YW0Iv](https://lh3.googleusercontent.com/4_AZiUe30F0ZnIgjwrjh1bexe69Pde6UEGokMpbJ4jyxFYxtGqwrDkFIU2oh9dpZ6oV5exX3Rmn4YzGCoL8_GDcmtQ8u8S3v_y6lauAQnjV8fHLeGJqm9B5GQo-Ow2k3SU1YW0Iv)

### 3.2. Bacterias bioluminiscentes, hábitats y diversidad.

La diversidad de bacterias bioluminiscentes es grande en ambientes marinos, la mayoría son Gram-negativas, aunque también se han detectado algunas en aguas dulces y medios edáficos. En el género de bacterias bioluminiscentes marinos son *Vibrio*<sup>43</sup>, *Photobacterium*<sup>44</sup> y *Alteromonas*<sup>40</sup>, estas como las más comunes de las especies, siendo *V. Harveyi*, *V. Fischeri*, *P. Phosphoreum*, *P. leiognathi* y *A. Hanedai*.

---

dividen en dos grandes grupos diferenciados por la presencia o ausencia de placas de naturaleza celulósica en la Pared Celular. Constituyen el segundo grupo en importancia del fitoplancton, responsable de la producción de energía en la cadena alimentaria oceánica.

<sup>43</sup> Género de bacterias, incluidas en el grupo gamma de las proteobacterias.

<sup>44</sup> *Photobacterium* es un género de gram-negativas bacterias en la familia Vibrionáceas. Los miembros del género son bioluminiscentes, es decir, tienen la capacidad de emitir luz. Muchas especies, incluyendo *Photobacterium leiognathi* y *Photobacterium phosphoreum*, viven en simbiosis con organismos marinos. <sup>40</sup> *Alteromonas* es un género de eubacterias perteneciente al filo de las proteobacterias. Las representantes del Género *Alteromonas* se encuentran comúnmente en el agua de mar, en mar abierto, como en las costas. Se trata de organismos Gram-negativos, con morfología bacilar curvada y motilidad por parte de un sólo flagelo, que se halla en posición polar.

Estos son quimioorganotrofas y aerobias facultativas encontrándose en zonas costeras y mar abierto. Estos hábitats alcanzan altas densidades que están entre  $1$  a  $6 \times 10^3$  células por metro lineal. Es por eso que se encuentran ampliamente distribuidas.

Existen también una serie de especies parásitas de crustáceos y patógenos para el ser humano es la *V. Vlnificus* la cual puede infectar heridas y en el 50% de los casos causar la muerte.

Desde el punto cuantitativo, las bacterias bioluminiscentes que tienen hábitats más importantes están en el tracto digestivo de peces e invertebrados marinos donde su población es de  $5 \times 10^7$  células por metro lineal. Las únicas sepas de bacterias bioluminiscentes que han sido aisladas de aguas dulces son identificadas como *Vibri Cholerae* biotipo *albensis*.

Como hemos visto a lo largo del documento en la bioluminiscencia existe la reacción catalizadora por la luciferasa, en las bacterias consiste en la oxidación por oxígeno molecular de un aldehído mirístico o tetradecanal ( $RCHO$ ) y un flavin monocleotido reducido ( $FMNH_2$ ) esto da como resultado la emisión de luz de color verde-azulado llegando a una emisión de luz de 490 nm.

Los procesos fisiológicos en las bacterias como (bioluminiscencia, conjugación, formación de biopelículas) están regulados por el *quorum sensing* o percepción de cuórum.

Anteriormente se mencionó que el responsable de este fenómeno es el conjunto de células independientes que bajo la comunicación extracelular son capaces de tener conocimiento de la densidad de población celular de su entorno, terminando el desarrollo de comportamientos coordinados.

Considerando la emisión de luz como un proceso que depende de una alta concentración celular, es decir, implica quorum sensing, pareciera que las bacterias no son bioluminiscentes en condiciones de vida libre; pero existen datos en los cuales mencionan la aparición de masas bioluminiscentes en las costas o zonas costeras. A este fenómeno se le conoce como “*milky sea*”.

Existen observaciones por satélite de estas formaciones efímeras tan sorprendentes.

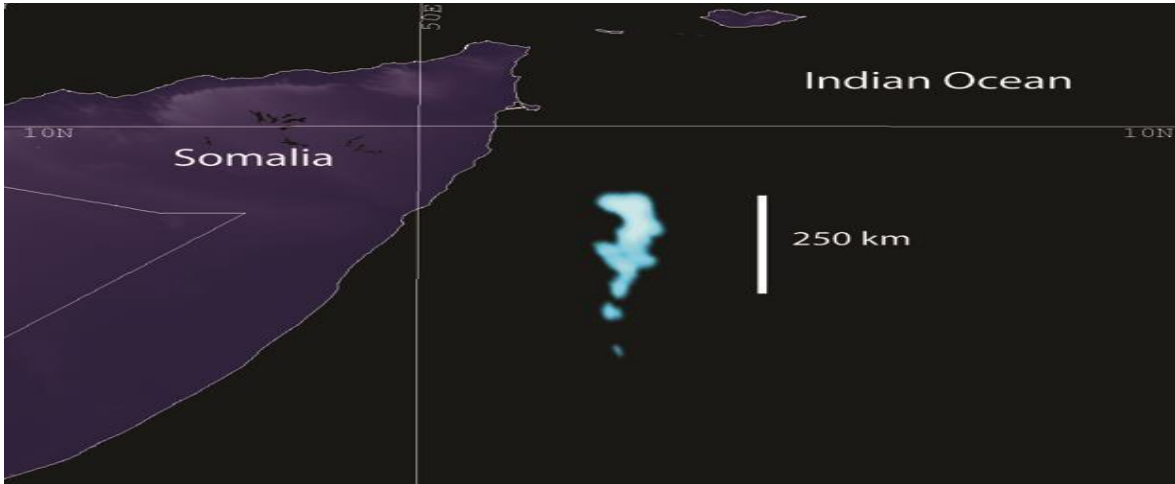


Ilustración 48 Foto satelital "Sea Milk"

Fuente: [http://matiascallone.blogspot.mx/2008\\_06\\_01\\_archive.html](http://matiascallone.blogspot.mx/2008_06_01_archive.html)

Datos indican que podría tratarse de micro-algas phaeocystics sp. En cuyo interior, se encuentran asociadas en estado colonial las bacterias bioluminiscentes como las *V. harveyi* o similares.

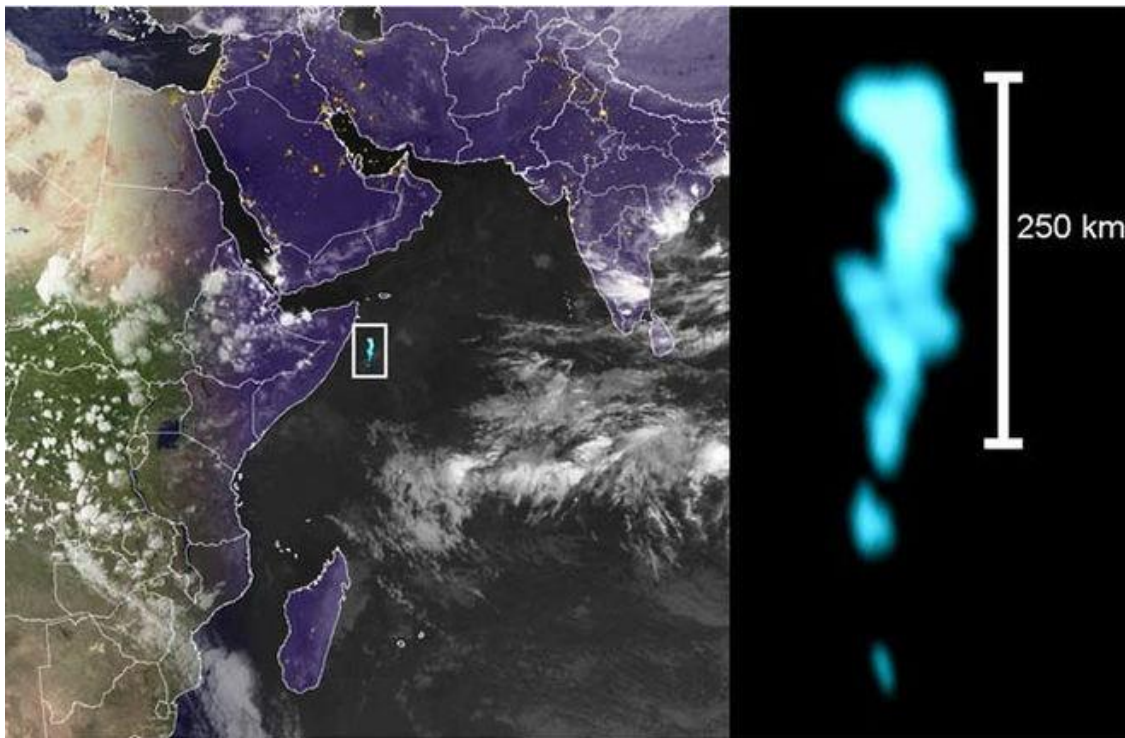


Ilustración 49 Foto satelital "Sea Milk"

Ilustración 13 [http://matiascallone.blogspot.mx/2008\\_06\\_01\\_archive2.html](http://matiascallone.blogspot.mx/2008_06_01_archive2.html)

*Vibrio harveyi* es una gam negativa, siendo uno de los más importantes agentes etiológicos de las mortalidades masivas. Entre los *Vibrio Harveyi* aislados, algunos son virulentos y otros no. Así surgen una variedad molecular y genética en este grupo de bacterias. Sabemos que la emisión de luz por estas bacterias depende de la luciferasa, donde la actividad catalítica de esta enzima requiere de tres sustancias: luciferina, oxígeno y ATP<sup>45</sup>. El producto de la catálisis es la emisión de un fotón siendo que por cada molécula de ATP consumida emite un fotón.

La realidad está en que la bioluminiscencia esta en muchas partes de la tierra, principalmente en océanos, sobre todo en lo más profundo donde la luz solar no pasa la superficie.

La emisión de luz es una función que fue inventada y reinventada por razones distintas, al igual que distintas composiciones químicas, en diferentes especies. En esta evolución se perdió incontable número de ocasiones a lo largo de la misma.

## Animales

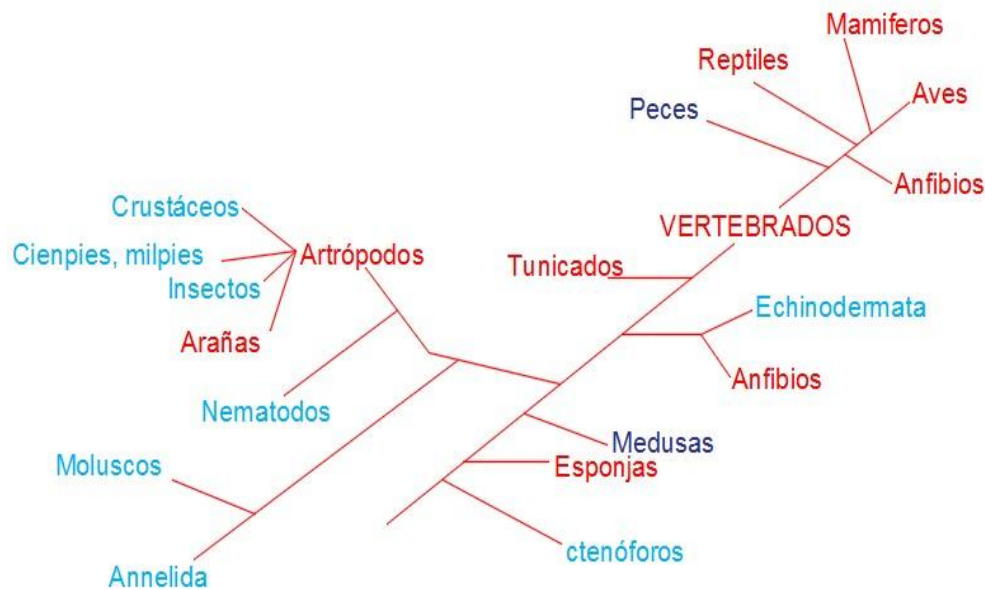


Ilustración 50 Árbol filogenético de animales

Fuente: Autor Pedro Saldaña

<sup>45</sup> El trifosfato de adenosina (adenosín trifosfato, del inglés adenosine triphosphate o ATP) es un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular.



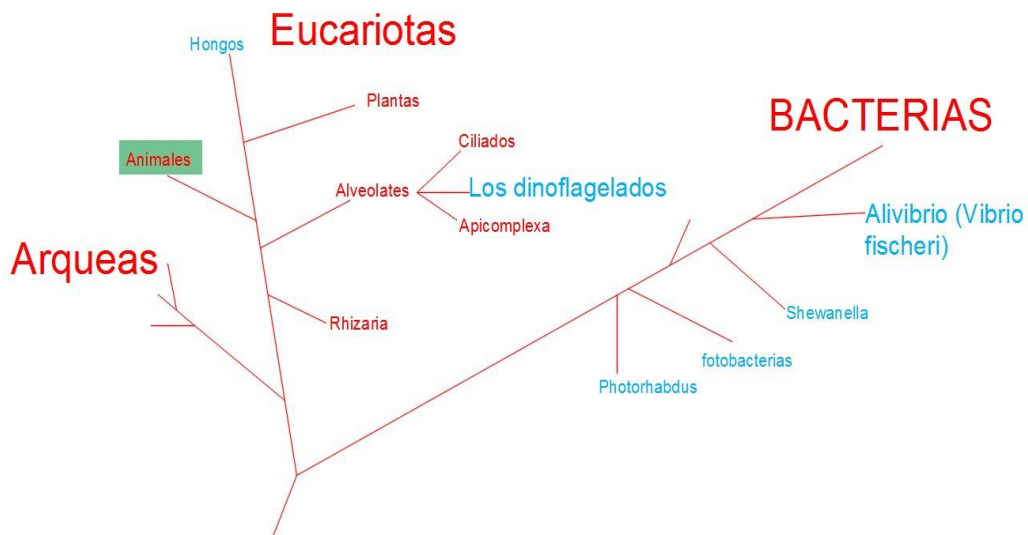


Ilustración 15 árbol filogenético

Fuente: Autor Pedro Saldaña

Como podemos ver en el árbol filogenético o árbol de la Vida (en dos partes conectadas), los textos azules marcan los taxones<sup>46</sup> en el que se ha observado bioluminiscencia. No todas las especies de un taxón marcado con azul son luminiscentes, lejos de ello, por ejemplo de más de 10.000 especies de milpiés conocidas, sólo 8 se han encontrado que pueden emitir luz, mientras que menos de 100 de los 1,5 millones de especies de hongos, se han descrito como luminiscentes hasta la fecha.

Existen hongos bioluminiscentes, pero no existen plantas, hay insectos que emiten luz, pero ninguna araña. Entre los vertebrados solo en los peces se a encontrado la luz pero ¿Qué hay en las ranas, salamandras, aves, reptiles o mamíferos? Una de las razones es que la comunicación de estas ranas, salamandras, aves y mamíferos es por medio del sonido, olores, señales visuales y el tacto.

La cuestión es ¿Por qué existen especies que no son capaces de emitir luz o incapaces de aprovechar la simbiosis<sup>47</sup> con bacterias bioluminiscentes?

Se requiere de energía para la emisión de luz visible, nosotros sabemos que tan caliente debe estar una bombilla antes de emitir luz, en la bombilla la corriente pasa a través del filamento y lo calienta, entonces la energía es irradiada como luz. Cuanto más caliente sea el filamento, más intenso y blanco en lugar de rojo es su incandescencia, "blanco-caliente"

<sup>46</sup> Biol. Cada una de las subdivisiones de la clasificación biológica, desde la especie, que se toma como unidad, hasta el filo o tipo de organización.

<sup>47</sup> Acción íntima de organismos de especies diferentes para beneficiarse mutuamente en su desarrollo vital.

Del griego (σύν, syn, 'juntos'; y βίωσις, biosis, 'vivir') y que en la biología se trata de un vínculo asociativo en el cual los organismos involucrados obtienen en beneficio de esta existencia en común.

En una reacción bioquímica una molécula específica es la fuente de la emisión, se genera en un estado de alta energía, fuera del equilibrio térmico con su entorno; esta molécula "excitada" irradia como luz inmediatamente su excedente de energía, usualmente dentro de un nanosegundo (una billonésima de un segundo), y se produce muy poco calor.

La bioluminiscencia es compleja porque, a pesar de ser parte de los sistemas biológicos complejos, la luz misma resulta de un único y muy específico paso, en un proceso de reacción bioquímica.

Todas las bioluminiscencias son sin excepción reacciones de oxígeno (O<sub>2</sub>) con moléculas específicas de un grupo parietal de organismos, catalizadas por enzimas específicas. Todos implican la producción de peróxidos, donde el enlace O-O entre los átomos de oxígeno es débil y fácilmente se rompe. Este paso genera un producto con un fuerte enlace carbono-oxígeno, por el contrario, la energía es liberada por este tipo de reacción que lleva a un producto a un "estado excitado", del que se emiten fotones de bioluminiscencia cuando el producto retrocede a su nivel inferior, "estado fundamental".

Lo que hace tan fascinante la bioluminiscencia es que la diversidad está en todos los niveles, de los propios organismos y del uso que tienen de la luz que emiten ya sea como defensa, ofensa, o comunicación. La luz puede comportarse bien como una corriente de partículas de energía (fotones).

También por las ondas electromagnéticas que se pueden dispersar por un prisma para producir un espectro como lo es el arcoíris. La luz del sol o la reacción química que emite luz como la bioluminiscencia, es una corriente de fotones. Para esto cada fotón lleva cierta cantidad de energía específica, con la fórmula  $h\nu$  donde  $h$  es una constante y  $\nu$  es la frecuencia de la luz. Es por lo tanto inversamente proporcional a su longitud de onda. Es decir, los fotones de luz violeta llevan cuatro veces más energía que los fotones de luz roja.

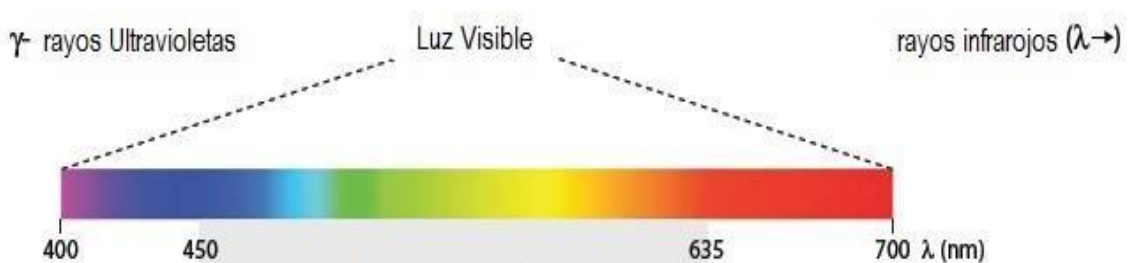


Ilustración 51Rngo de frecuencia de la bioluminiscencia

Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/EM\\_spectrum\\_es.svg/1280px-EM\\_spectrum\\_es.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/EM_spectrum_es.svg/1280px-EM_spectrum_es.svg.png)

La parte visible del espectro electromagnético se intercala entre los ultravioleta y los infrarrojos. La luz bioluminiscente está entre los 450 a 600 nm, que son los fotones de la luz verde, que es normalmente el color de la bioluminiscencia.

### 3.3. Especies, sistemas y procesos

La bioluminiscencia es una característica relativamente rara en animales terrestres, pero muy común entre las criaturas marinas. En las profundidades abisales del océano viven bacterias, protozoos, hongos, medusas, calamares, lombrices, crustáceos, moluscos y tiburones que poseen este don de producir luz en una reacción química tan eficaz que apenas si libera calor; una luz fría que puede servir de señal de alarma, disfraz de escapista, objeto de seducción y farol para hallar alimento.

Los organismos bioluminiscentes más notables del océano son los dinoflagelados, cuya única célula a veces puede verse a simple vista. Estos organismos son los responsables de las hermosas estelas azul-verdosas que transforman las playas de noche en paisajes surrealistas. Los dinoflagelados hacen brillar la espuma e iluminan el paso de los peces como si en el agua hubiera saetas de luz.

"Yo sabía que para determinar la estructura química de la luciferina que causa el resplandor de la Cypridina iba a necesitar el compuesto en estado totalmente puro para luego cristalizarlo", dice Shimomura con el rostro bañado de azul. "Pero no tenía idea de qué tipo de molécula se trataba. ¿Un azúcar? ¿Una proteína? ¿Un aminoácido? ¿Algo desconocido?". (Posada)

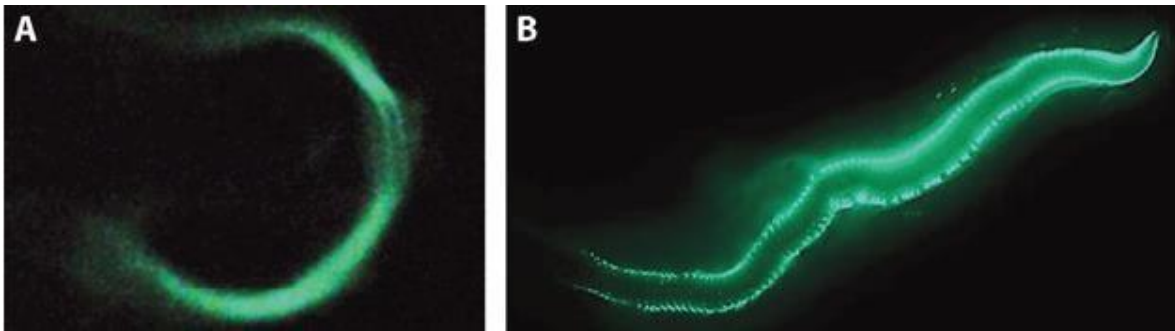
La tarea era titánica porque tendría que extraer sólo las moléculas de luciferina de entre miles de moléculas diferentes que componen al crustáceo. Por si fuera poco, la luciferina es extremadamente inestable y se degrada inmediatamente cuando está en presencia de oxígeno. Crear cristales de una sustancia requiere ir produciendo un extracto cada vez más puro. Cada intento de purificación requería siete días y siete noches de trabajo continuo. Al cabo de 10 meses de preparaciones cada vez más puras, no se había conseguido producir un solo cristal de luciferina.

Un día, frustrado con otro experimento fallido, dejó abierto accidentalmente un recipiente con una solución de luciferina en contacto con un medio ácido. Al día siguiente vio con asombro que se habían formado pequeños cristales rojos en la superficie de la solución. Eran cristales de luciferina pura, y el tratamiento que los hizo crecer fue el ácido. La luminosidad de los cristales resultó ser 37 000 veces mayor que el polvo seco del crustáceo.

El campo de la bioluminiscencia es, de muchas maneras, una tienda de curiosidades de arte, lleno de bellas obras de origen ligero pero todavía misterioso. Los sistemas de bioluminiscencia, de los animales que han optado por tales sistemas o modelos. Como los pequeños calamares Euprymna scolopes, con su bolsa ventral llena de luminescencia. Las bacterias, por ejemplo. Son una una historia realmente fascinante, con emocionantes y novedades a la vuelta de la esquina.

Cómo funciona el flashlight Photoblepharon mantiene su cultivo de bacterias luminosas en las bolsas debajo de los ojos, todavía no está entendido. En la oscuridad total, la luz atrae pequeñas imágenes fototácticas. Los crustáceos que permite a los peces verlos y capturarlos, mientras evitan la depredación por la técnica de parpadear y correr. Y todavía en el tema de las bacterias bioluminiscentes, se pueden demostrar los Milky Seas para ser de origen bacteriano.

El gusano de las Bermudas (*Odontosyllis Enopla*) y otros anélidos marinos bioluminiscentes. En el caso de varios organismos bioluminiscentes, sabemos algo sobre cómo emiten luz, pero no sabemos realmente por qué. (Los hongos bioluminiscentes vienen a la mente); en muchos otros casos, es posible que no sepamos exactamente cómo lo hacen, pero sí sabemos por qué. El gusano de las Bermudas y sus aliados a este último grupo: lo hacen para atraer a los compañeros siguiendo el más asombroso de escenarios.



*Ilustración 52 El gusano de las Bermudas, *Odontosyllis enopla*. Un gusano, hembra, durante un apareamiento Danza en el mar (A), y otro gusano, también femenino, en agua de mar en un plato en una foto Tomado en el sitio (B).*

*Fuente: Bioluminiscencia luces dela vida*

Otra especie de gusano poliqueto bioluminiscente, el *Eusyllis blomstrandii*, Aparentemente no se involucra en rituales de apareamiento bioluminiscentes como su pariente cercano y parecido, el gusano de las Bermudas; emite repetidos destellos evidentemente como una forma de disuadir a los depredadores. Esta especie es recogida fácilmente alrededor de la isla de Helgoland en el Mar del Norte, vive en tubos de seda hechos en casa en el tálamo de algas rojas y se pueden mantener vivos durante meses en el laboratorio, donde las grabaciones de vídeo de alta velocidad muestran su emisión que se puede obtener bajo el microscopio. Estas películas muestran cómo la luminiscencia se propaga a lo largo de la longitud del gusano cuando se toca. Bajo fuerte estímulo, el tronco entero del gusano se ilumina como una serie de destellos procedentes de parches simétricos en cada segmento del gusano. Cada uno de estos parches está compuesto aparentemente de fuentes de luz más pequeñas, y las flamas se propagan a lo largo del gusano a una velocidad mayor que 1 microsec por segmento.

El gusano puede retirarse suavemente de su tubo a un plato; cuando es perturbado, el tercio posterior del gusano emite un Flash de luz azul y secreta un limo luminoso. La emisión de color azul está en el rango de los 457 nm.

Ctenophores, mientras que la sé nada en aguas costeras poco profundas en la mayor parte del mundo, se puede sentir a menudo, pero no ver fácilmente, un objeto gelatinoso contra el propio cuerpo. Estos son animales parecidos a jaleas, las denominadas nueces de mar o jaleas de peine; en algunas ocasiones, pueden ocurrir en números masivos, una flotilla de gelatinas balanceándose en las olas. Todos son ctenóforos, miembros del filo Ctenophora.

Cuando se estimulan por la noche, los ctenóforos emiten brillantes flamas, podría decirse ser la más brillante de todas las emisiones luminosas. Estos se originan a partir de células fotogénicas situadas a lo largo de ocho bandas, denominadas peine placas o placas de paletas, dispuestas circunferencialmente como las costuras de un balón de fútbol. Por el día las placas exhiben una iridiscencia llamativa, algunas veces confundido con bioluminiscencia. Los platos son hileras de cilios fundidos, utilizados para la locomoción, que es lento en el mejor de los casos, pero implacable.



*Ilustración 53 Ctenóforo a la luz del día; Las paletas de peine son correas que discurren longitudinalmente, Algunas de las cuales exhiben la iridiscencia;*

*Fuente: Bioluminiscencia luces de la vida*

## DINOFLAGELADOS

Los relojes chispeantes de los océanos bioluminiscentes son los pequeños agelados unicelulares dinofílicos, que ocurren ubicuosamente en los océanos, son responsables la bioluminiscencia del océano en las hermosas flamas que ocurren cuando el agua de mar es perturbada por la noche, la química de su bioluminiscencia es completamente diferente de los otros sistemas principales. Pero aquí de nuevo, como en los casos de los pequeños Crustáceo y de la jalea bioluminiscente.

Estas pequeñas fuentes de luz son células monocelulares bioluminiscentes, algas, denominadas dinoflagelados. Comprenden miles de especies, en la mayoría de los océanos, muchos con luminiscia, pero también existen muchas especies de agua dulce también, los "Dino" parte del nombre proviene del griego deinos, lo que significa girando la parte "aglomerada", del latín, es obvia. El aglomerado bioluminiscente parietal de dinoflagelado que conocemos más, *Lingulodinium polyedrum* (anteriormente llamado *Gonyaulax polyedra*), usualmente responsable de las mareas rojas y la bioluminiscencia en el océano a lo largo y la costa del sur de California, tiene un diámetro de aproximadamente 40  $\mu\text{m}$  y posee placas celulares rígidas denominadas armaduras, y dos aglomerados, uno que rodea su faja muy impresionante y el otro en ángulo recto.

Es fotosintético, como muchos agellates de dinoflagelados. Sobre la mecánica estimulación, emite destellos de luz azul llegando a 470 nm. ¿Por qué ellos emiten esta luz? Una idea es que las flamas disuaden directamente a los pequeños asaltantes; otra, llamada teoría es la de la alarma antirrobo, es que los destellos revelan la presencia de pequeños depredadores, el verdadero enemigo de los dinoflagelados, a los más grandes, como los crustáceos que se alimentan de los pequeños. En *L. polyedrum*, la bioluminiscencia es emitida por pequeños organelos, tienen un tamaño de 0,4  $\mu\text{m}$  de diámetro, varios cientos por célula; Estos se llaman "scintillos",

Innumerables experimentos y la microscopía electrónica ha demostrado que los scintillos se localizan periféricamente en el citoplasma, que cuelgan como pequeñas gotas en la vacuola ácida, rodeadas por la membrana vacuolar, tras la ruptura de las células a pH 8, los scintillos se rompen como pequeñas vesículas, con cuellos resellados, y se pueden aislar con actividad de bioluminiscencia; se puede hacer que emitan un flash de luz simplemente acidificando el medio a pH 6. Los scintillos contienen principalmente luciferina y dos proteínas densamente empaquetadas, una de la luciferasa y la otra una proteína de unión a la luciferina (LBP), que no tiene actividad catalítica.

Como en otros casos, los términos "luciferasa" y "luciferina" son genéricos, relacionados sólo funcionalmente, no estructuralmente, con los de cualquier otro organismo bioluminiscente. Igual que en otros casos, las luciferasas de los dinoflagelados estudiados hasta ahora son capaces de catalizar la emisión de luz y la oxidación de no sólo su propia luciferina sino también la de otros dinoflagelados. Como la especie fotosintética *Pyrocystis lúnula*, a partir de la cual se purificó la luciferina y su estructura determinado.

Curiosamente, el espectro de emisión de bioluminiscencia es la fluorescencia de la luciferina sin reaccionar, mientras que el producto de la reacción no es fluorescente in vitro. Esta paradoja apunta a la ignorancia; El emisor puede ser un intermedio fluorescente inestable, o un intermedio que es fluorescente sólo cuando está unido a proteína, o, de hecho, una molécula de luciferina sin reaccionar por transferencia de producto oxidado que es excitado.



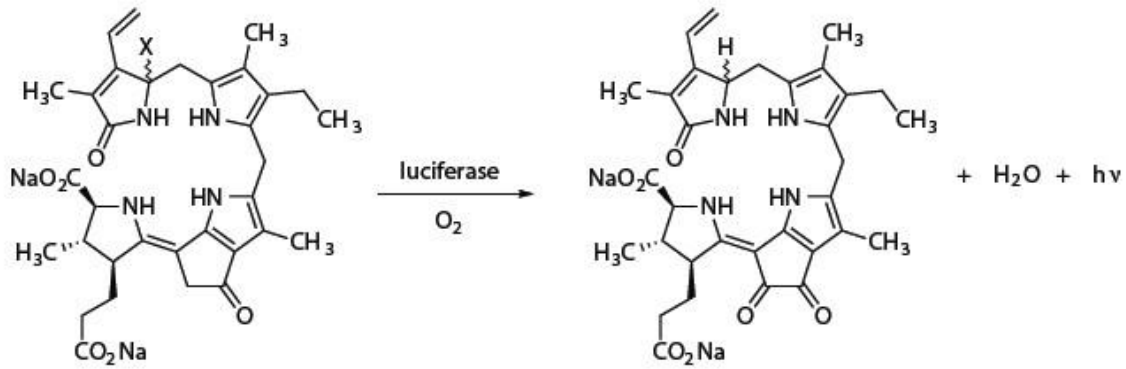


Ilustración 54 luciferina del dinoflagelado y reacción del producto

Fuente: Bioluminiscencia luces de la vida

## BACTERIAS

### Comunicación bacteriana, simbiosis

Si muchos peces han optado por los sistemas emisores de luz de los cipridinido y coelentrados, muchos otros habitantes del océano, así como especies terrestres, adquieren su bioluminiscencia al acoger bacterias al hacerlo, adquieren un sistema de luciferinaluciferasa y entrar en una relación bidireccional, muy específica y simbiótica entre los huéspedes, con costos y beneficios para ambos.

Las bacterias luminescentes son aproximadamente mil veces más pequeñas y también más simples que las células de otras eucariotas. El ADN bacteriano está en una maraña, no en un núcleo rodeado por una membrana, y no se granizan en los cromosomas. Sin embargo, explorar la bioluminiscencia de bacterias nos ha enseñado lecciones que tienen muchos aspectos de la vida, incluyendo nuestra propia salud.

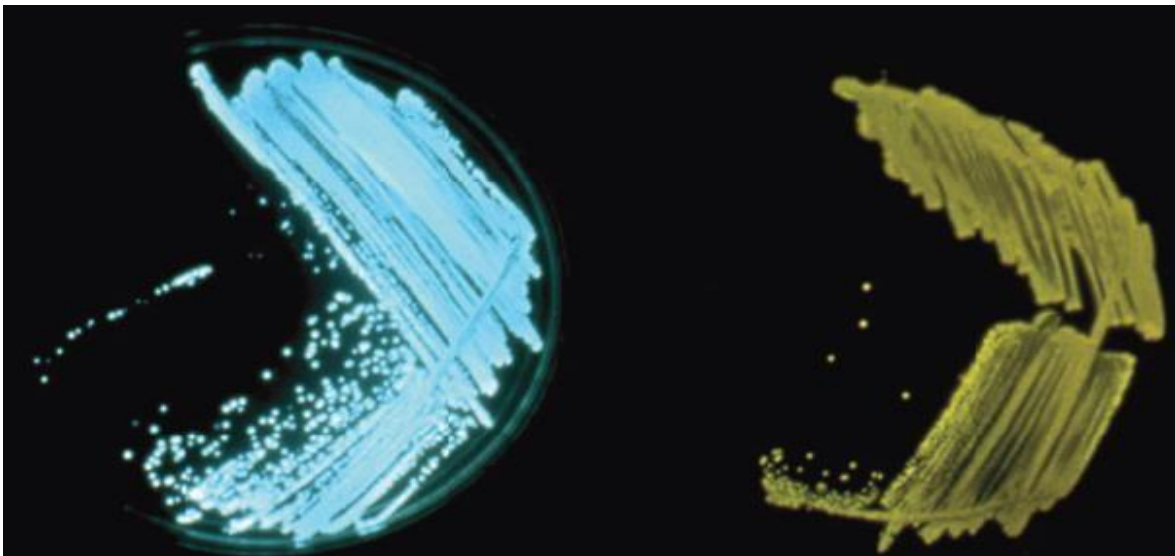


Ilustración 55 bioluminiscencia bacteriana

Fuente: Bioluminiscencia luces de la vida

La bioquímica de la reacción de luciferasa bacteriana, compartida por todas las especies, como *Vibrio fischeri*, sigue un sistema complejo que ahora se describe el mecanismo. El papel de la luciferina es desempeñado por una molécula fluorescente, el fosfato de riboflavina reducido, también llamado mononucleótido de flavina (FMN), que participa en la cadena respiratoria de todas las células aeróbicas. La luciferasa bacteriana tampoco es una enzima simple, que cataliza la oxidación de no uno sino dos sustratos, la flavina y un aldehído de cadena larga (RCHO). La reacción global, con todos los intermedios.

En algunas especies o cepas el color de la luz emitida por las células de vida es significativamente desplazada en azul o rojo, aunque la reacción con luciferasas aisladas todavía con picos en el azul a 490 nm. En cepa *V. fischeri*, la emisión en vivo es amarilla ( $\lambda_{max}$ ) ~ 540 nm; pero el de la reacción de luciferasa aislada es Azul. Esto se atribuye a una segunda proteína, una "antena"

## Tecnología y Materiales

El alumbramiento urbano no se ha desarrollado de igual manera y modo en todas las ciudades, aunque las diferencias tiendan a desvanecerse a raíz de la mundialización. Aún quedan ciudades (pocas) que se sumergen cada noche en una profunda e insólita oscuridad..."

Roger Narboni 2009

Dentro de este capítulo IV se establecerá un análisis del avance tecnológico en el material de construcción empleado en la arquitectura como lo es el vidrio y su tendencia a evolucionar teniendo una visión en la aplicación de la biomimesis en particular el posible uso de la bioluminiscencia en este material. Se establecen conceptos y tendencias, así como un enfoque al desarrollo y avance del material aplicado en la arquitectura como envolvente del espacio, proponiendo un modelo de posible desarrollo posterior.

Esta investigación pretende crear o proponer un material con un potencial en innovación teniendo la característica de captación de la energía solar aportando una pequeña parte a la disminución del impacto ambiental que genera la iluminación con energía eléctrica debido a que este elemento se auto iluminará pretendiendo utilizar la bioluminiscencia integrada a este.

Por estas razones, se cree que el vidrio resulta adecuado como material de estudio para este proyecto sin dejar de lado algunos otros que pudieran cumplir y aportar por sus características físicas.

Probablemente uno de los vidrios que pudiera utilizar sería el vidrio fotosensible, analizándolo para la adaptación al proyecto, este fue desarrollado por la marca Corning Glass en su producto Louverre®, el cual consiste en una composición del vidrio donde su estructura contribuye a la protección solar, la cual se podrá modificar para no solo la protección, sino que adquiriera la característica de captación de energía solar.

### 4.1 El Vidrio, material de construcción en la arquitectura

El progreso en la tecnología del vidrio nos ha proporcionado un gran material de construcción que tiene muchas ventajas arquitectónicas, económicas y ecológicas. A causa de la crisis del petróleo de los años 70s, se incrementó un desarrollo que motivo la

búsqueda que minimizara el gasto energético en un tipo de arquitectura de vidrio por así llamarla.

El potencial de innovación en este sector no está en absoluto agotado por esta razón, el vidrio resulta cada vez más adecuado como material para la innovación y la construcción.

Como producto de fusión inorgánica, el vidrio, definido como líquido solidificado, debido a la técnica de refrigeración controlada que se emplea en su producción, esto se refiere a que el material pasa de un estado líquido a un estado sólido sin cristalización.

Esta carencia de estructura cristalina implica que la luz penetra en el vidrio sin difusión dando una apariencia transparente.

El vidrio más común utilizado en la edificación, es el llamado de silicato de calcio alcalino que contiene arena de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ , 60-74%), sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ , 12-16%), calcio ( $\text{CaO}$ , 5-12%), aunado a un porcentaje de ciertos materiales que llegan a afectar sus propiedades o su color. Los vidrios de borosilicato se producen añadiendo boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ , 75%) en lugar de calcio. Esto dilata térmicamente dando gran resistencia a los cambios de temperatura.

En una condición molecular de solidificación aleatoria que se presenta durante la fabricación del vidrio, que se calienta la materia prima hasta llegar a un estado viscoso y posteriormente, se procesa y se enfría lentamente. En este proceso de enfriamiento, la elevada viscosidad del vidrio fundido impide que las moléculas se ordenen en una estructura cristalina, dando como resultado a lo que se le conoce como solidificación “congelada”.

En un momento de la historia el vidrio fue un producto fortuito de la naturaleza. Se forma dentro de la tierra debido a las altas temperaturas y es arrojado al exterior cuando se produce una erupción volcánica.

Las civilizaciones antiguas utilizaron este producto natural, así como la obsidiana en flechas, joyas o recipientes. Las excavaciones arqueológicas en Egipto ponen en manifiesto la fabricación de estos productos desde hace más de 7.000 años. Los artesanos mesopotámicos de hace unos 5.000 años descubrieron que la sílice de calcio y los óxidos de metálicos podrían convertirse en masa vítrea aplicándoles altas temperaturas. Finalmente los fenicios descubrieron el vidrio soplado en el siglo I a. de C. En la misma época, los romanos fueron capaces de producir hojas de vidrio de hasta 70 x 100 cm de tamaño, a través de un proceso de colada. (Kaltenbach, 2004)

Con la caída del imperio romano las técnicas de producción del vidrio se perdieron. Más adelante en el siglo XIV se desarrollaron las nuevas técnicas para la elaboración de cristales y botellas. El soplado y el estirado cilíndrico se descubrieron en el siglo X, el desarrollo y avance de estas técnicas permitió que en siglos posteriores como el XVII se pudieran producir hojas de vidrio planas de 180x230 cm a 210x130 cm.

A principios del siglo XX la mecanización del proceso de soplado cilíndrico posibilitó la producción de cristales con dimensiones de 190 x 1000 cm. El proceso de estirado mecánico fue el primer método de fabricación continuo, significando que se podría producir una hoja continua de vidrio de 120 cm. Este método fue patentado por Irwin W. Colburn casi simultáneamente por Emile Fourcault. Alistair Pilkington desarrolló el proceso de flotado en 1959. En este método de producción el vidrio fundido flota sobre un baño de estaño fundido, logrando una hoja de vidrio de 125 cm de ancho, conteniendo grandes propiedades ópticas de gran calidad.

#### 4.1.1. Tipos de vidrio

En la arquitectura se utilizan varios tipos de vidrio, comúnmente el vidrio flotado, es el tipo de vidrio plano más utilizado, las dimensiones máximas de estas hojas llegan a ser de 321 x 600 cm y su grosor va desde los 2mm hasta los 19mm. La posibilidad de fabricarlo de mayores dimensiones es viable, sin embargo, resultaría más caro. El vidrio para ventanas de 1.8 a 3.8mm así como el grueso y el delgado suelen fabricarse por medio de un proceso de estirado.

##### Vidrio perfilado

Es un vidrio colado que se puede fabricar con superficies texturizadas diferentes, así como contar con revestimientos para la protección frente al sol y calor. Este tipo de vidrio tiene anchuras estandarizadas y longitudes de hasta 6 m. También está la opción de fabricarse con mallas de alambre incorporadas para proporcionar una mayor protección a la rotura.

##### Vidrio colado<sup>48</sup> y ornamental

Este tipo de vidrio se produce en forma de banda continua. El vidrio fundido se calibra con rodillos y se stampa con una estructura superficial a uno o a ambos lados. Este vidrio es translucido esto se da por que la superficie de la textura provoca la difusión de la luz, que puede ser más o menos marcada. Algunas de estas superficies se han desarrollado especialmente para difundir la luz. Las dimensiones varían según el fabricante o el diseñador, esto en su grosor máximo.

##### Vidrio armado pulido

El pulido de las superficies produce un vidrio armado transparente, con superficies planas y paralelas. Estas hojas se utilizan comúnmente por cuestiones ópticas, aunque no está clasificado como vidrio de seguridad. Como dimensiones máximas de este tipo de vidrio son de 198 cm de ancho, 165 a 382 cm de largo y 6 a 10 mm de grosor.

---

<sup>48</sup> Este vidrio se obtiene mediante el vertido de la masa vítrea sobre una mesa metálica caliente y la acción de un rodillo que da lugar a la lámina. En la actualidad se denomina laminado y es la técnica que se emplea para obtener las grandes planchas de vidrio industrial. Es un vidrio que se caracteriza por ser de bajo coste, es bastante demandado y diverso.

### 4.1.2 Generalidades y propiedades

La composición y la estructura del vidrio influyen y afectan en consideración las propiedades constructivas del vidrio. Dentro de estas propiedades están las térmicas, las ópticas, de reflexión y físicas.

Tradicionalmente se ha considerado que la materia podía presentarse bajo tres formas: la sólida, la líquida y la gaseosa. Nuevos medios de investigación de su estructura íntima –particularmente durante el siglo XX– han puesto al descubierto otras formas o estados en los que la materia puede presentarse. Por ejemplo el estado mesomorfo<sup>49</sup> (una forma líquida con sus fases esmécticas,<sup>50</sup> nemáticas<sup>51</sup> y colestéricas<sup>52</sup>), el estado de plasma (o estado plasmático, propio de gases ionizados a muy altas temperaturas) o el estado vítreo, entre otros.

En España, así como en otras partes del mundo, el término "cristal" es utilizado muy frecuentemente como sinónimo de vidrio, aunque es incorrecto en el ámbito científico debido a que el vidrio es un sólido amorfo (sus moléculas están dispuestas de forma irregular) y no un sólido cristalino.

Las propiedades físicas hablamos en términos de reflexión, absorción y transmisión, se refiere a la permeabilidad de las hojas de vidrio, sea una o sean varias de ellas. Expresado como un porcentaje de la radiación incidente total.

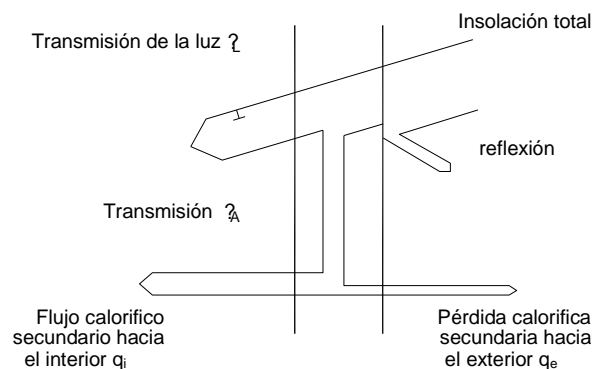


Ilustración 56 Diagrama transmisión de la luz

Fuente: Autor Pedro Saldaña basado en la tecnología del vidrio

<sup>49</sup> Mesomorfo: Estado de la materia intermedio entre un sólido y un líquido.

<sup>50</sup> Esmético: Es la fase de cristal líquido de ordenamiento siguiente a la fase nemática conforme se incrementa la temperatura partiendo del líquido. El término se deriva del griego que significa limo o grasa. La estructura esmética se encuentra estratificada, con las moléculas organizadas en capas.

<sup>51</sup> Nemático: Se dice del estado de la materia más cercano al estado líquido que al cristalino, en el cual las moléculas se disponen de forma alargada y se mueven manteniéndose paralelas unas a otras: el estado nemático es un tipo de los dos estados mesomorfos que puede presentar la materia.

<sup>52</sup> Cristales líquidos colestéricos: También conocidos como nemáticos girados. Similar a la fase nemática, sin embargo, en la fase colestérica, las moléculas en las diferentes capas se orientan con un desfase en un leve ángulo de unas capas respecto a otras (en vez de paralelas como en el nemático). Cada molécula consecutiva se gira ligeramente con relación a la anterior. Por lo tanto, en vez del tener un vector director constante como el nemático, el vector director colestérico gira helicoidalmente en todas las partes de la muestra. Muchos ésteres colestéricos exponen esta fase, de ahí el nombre colestérico.



El coeficiente  $t$  que es el grado de transmisión de la luz y define el porcentaje de la luz incidente vertical que admite verticalmente. El denominado coeficiente  $q$  que es el grado de transmisión total de la energía solar y es la suma de la radiación vertical transmitido directamente que penetra por el vidrio y es el resultado de la radiación calorífica.

El coeficiente  $U$  denominado así por la transmisión térmica y es la pérdida de calor a través de un elemento de  $1m^2$  por cada hora teniendo entre el aire interior y el aire exterior una diferencia de 1 Kelvin.<sup>53</sup>

Las propiedades ópticas se dan debido a que las moléculas se solidifican sin formar cristales, por ello que es transparente, así la luz atraviesa sin que se produzca difusión.

En el vidrio la transmisión de las longitudes de onda que son desde los 315 y 2500 nm, es decir, desde el rango ultravioleta, 315-389nm pasando por el visible, 380-780nm hasta la mayoría del infrarrojo que va 780-2500nm. Esta impermeabilidad a las radiaciones de onda larga explica el efecto invernadero del acristalamiento.

La dilatación térmica dependerá de la composición química del vidrio y un factor decisivo en términos de pérdidas térmicas a través del vidrio, es la conductividad. Existe un efecto secundario y es que el grosor de la hoja de vidrio y es que el grado de radiación se puede controlar con recubrimientos y por convección a través de su estructura.

#### La resistencia a la flexión

La dureza y la resistencia a la flexión del vidrio están determinadas por el dióxido de silicio que se encuentran en una elevada cantidad, dando como resultado a esta composición una fragilidad indeseada, esto es que, cuando se supera un límite elástico es un valor mínimo, la hoja de vidrio se rompe.

La resistencia teórica a tracción del vidrio es de  $104N/mm^2$  en la práctica se consiguen como máximos valores de 30 a  $60 N/mm^2$ . Esta resistencia a tracción puede incrementarse por templado térmico o químico.

#### Vidrio templado

El templado térmico o químico añade un pretensado por acumulación de esfuerzos a compresión en la superficie del vidrio, creando una sobrepresión en las grietas y en las fisuras. De esta manera cuando la carga actúa sobre el vidrio y se ve sometido a esfuerzos de tracción, quedaran absorbidos por el pretensado de compresión, sin que supere la resistencia de tracción del vidrio.

---

<sup>53</sup> El kelvin (antes llamado grado Kelvin), simbolizado como K, es la unidad de temperatura de la escala creada por William Thomson, Lord Kelvin, en el año 1848, sobre la base del grado Celsius, estableciendo el punto cero en el cero absoluto ( $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$ ) y conservando la misma dimensión. Lord Kelvin, a sus 24 años introdujo la escala de temperatura termodinámica, y la unidad fue nombrada en su honor.

En el templado térmico, la hoja de vidrio se calienta hasta llegar a unos 680°C, y a continuación se le aplica bruscamente aire frío por soplado para que el endurecimiento de la superficie del vidrio se produzca de inmediato, mientras que la contradicción del núcleo sigue un proceso más lento. De este modo se crean esfuerzos de tracción en el núcleo y de compresión en la capa superficial, que es lo que caracteriza el templado del vidrio. La rotura de una hoja de vidrio templado térmicamente se produce en forma de esquirlas sin aristas.

El templado químico se consigue mediante un intercambio de iones en la superficie del vidrio. Para este proceso, el vidrio se sumerge en un baño caliente de sales de fusión. Los iones de sodio del exterior se intercambian con los grandes iones del potasio, lo que crea fuerzas de compresión en una delgada capa de la superficie. La resistencia a flexión del vidrio templado químicamente es de 200N/mm<sup>2</sup> En general, el vidrio templado no permite en procesador adicional posterior, como por ejemplo cortes o perforaciones.

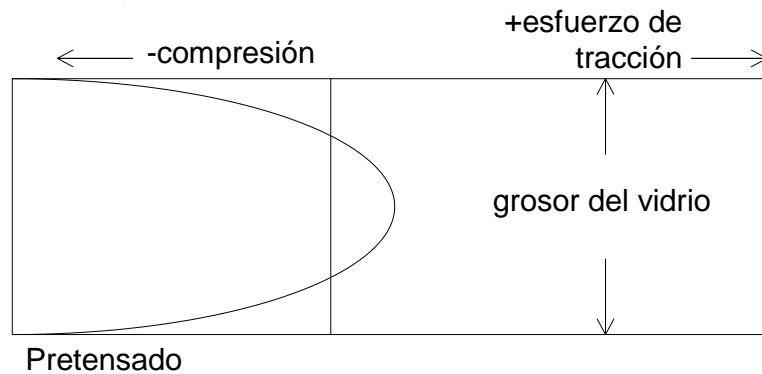


Ilustración 57 Diagrama resistencia del vidrio

Fuente: Autor Pedro Saldaña basado en la tecnología del vidrio

## 4.2 Tendencias y avances

Otros métodos que están disponibles para la modificación de las propiedades del vidrio son los procesos denominados como acabado. Estos procesos de sustracción se realizan en la superficie del vidrio. Por ejemplo, la creación de una superficie mate así como el pulido o el devastado.

El devastado y pulido se aplicaba al vidrio claro y libre de distorsiones que se creaba por medio del método de cilindro de vidrio colado, se pulían por ambos lados.

Una superficie rugosa dispersa la luz incidente y, así, reduce la transparencia del vidrio, estas superficies mate se pueden crear por medios químicos o medios mecánicos. La hoja puede tratarse por partes o en su totalidad. El grado químico es un tratamiento con ácidos e la superficie. Para determinar la calidad del mate será proporcional al tiempo de

aplicación de ácido. El deslustrado por chorro de arena es un proceso mecánico para crear una superficie mate.

Los revestimientos delgados consisten en capas delgadas de metales preciosos u óxidos de metal que se aplican a los vidrios claros o teñidos para modificar sus propiedades de transmisión de la luz. Inmediatamente después de la fabricación del vidrio los revestimientos delgados pueden aplicarse en la misma línea de producción o también posterior a la fabricación.

Los revestimientos que se realizan en el momento de su fabricación se crean usando una reacción química. Esto consiste en que el material del revestimiento se aplica a la hoja caliente del vidrio flotado en forma de líquido o vapor, o bien en forma sólida pulverizada. Dicha reacción produce un revestimiento duro resistente a los efectos del desgaste o a agentes químicos.

Para mejorar el aislamiento térmico se utilizan las capas de revestimiento de baja emisión, que reduce los índices de emisividad de la superficie del vidrio y, por tanto, sus pérdidas de calor por radiación. Los revestimientos se pueden conseguir utilizando capas de metales. Los revestimientos de plata son los más aceptados ya que ofrecen la mayor transmisión de luz posible, utilizando revestimientos de plata reflejante, principalmente sobre bases de níquel-cromo, acero inoxidable y otras aleaciones. Estos revestimientos metálicos incrementan la reflexión, y reducen la transmisión y la radiación totales. La estructura de la capa puede incluir las propiedades selectivas que garanticen una elevada transmisión en el espectro visible.

Los revestimientos ópticos son apropiados para usos especiales en iluminación. Los revestimientos de espejo frío funcionan como sistemas de baja emisión “inversos”, reflejando las longitudes de onda visible y transmitiendo las de infrarrojos. Se utilizan para reflectores en lámparas dicróicas.

Los revestimientos anti reflejantes reducen la reflexión de las hojas de vidrio del 8% al 1% aproximadamente, incrementando así la calidad de la luz transmitida. Se utilizan para acristalamientos de paneles publicitarios

Los revestimientos dicróicos producen una transmisión y reflexión del espectro de luz visible. El arquitecto y especialista en vidrio James Carpenter utilizó vidrio dicróico en muchos de sus proyectos del arte en edificios.

Los revestimientos resistentes a la suciedad evitan que el vidrio se ensucie como resultado de la influencia ambiental y son más fáciles de limpiar. Este efecto se produce cambiando las propiedades de humectabilidad de la superficie vítrea. Los revestimientos hidrófugos provocan que el agua forme gotas que resbalen rápidamente.

Al vidrio también puede incluirse motivos esmaltados en el interior de paneles luminosos. En este caso, la luz artificial proviene de emisores de diodo que se introducen a través del borde de la hoja y es visible por medio del esmalte.

Los rellenos con propiedades deflectantes de la luz, son sistemas que están basados en propiedades ópticas tales como la reflexión, la transmisión y la refracción. Un sistema de deflexión puede incluir una cámara entre dos vidrios, en ella unas secciones acrílicas ligeramente curvadas. Esta forma redondeada permite la reflexión compuesta de un rango de luz incidente, tanto en horizontal como en vertical.

### 4.3 Fachadas de vidrio

Un proyecto para una fachada puede llegar a modificar la visión de un barrio o convertirse en emblema de una marca, incluso de una ciudad. También en los casos más extremos, una nueva construcción o la rehabilitación de un edificio puede hacerse que este se convierta en un faro que transforma el espacio deshabilitado y semidesértico en un área llena de vida y con ello la actividad.

La permeabilidad a la radiación de un paño de vidrio determina tanto la cantidad de calor y luz solar que entra en un edificio como la que sale de él. En verano, aprovechar al máximo la iluminación solar pero evitando las ganancias térmicas indeseadas es el objetivo principal. Por el contrario en invierno las ganancias térmicas son bienvenidas, ya que se compensan parte de las pérdidas de calor que se producen a través de la fachada.

Hasta el momento, los acristalamientos han tenido que complementarse con protecciones adicionales contra luz solar y el calor. Para las fachadas de cristal están disponibles vidrios con revestimientos o sin ellos, vidrios combinados como laminados y aislantes.

A continuación se presentaran obras arquitectónicas que utilizan la fachada de vidrio con una iluminación que da carácter e identidad no solo a la obra sino al sitio y en ocasiones a la ciudad.

Los proyectos que aquí se presentan permiten apreciar de muy diversas formas la simbiosis entre arquitectura y la iluminación: una obra arquitectónica se convierte en una inmensa figura de luz, de manera que su silueta y su contorno devienen plenamente apreciables en la oscuridad.

En ocasiones, la luz crea un juego de claroscuros, de luces y sombras que otorgan imágenes únicas y evocativas. La luz, pues, en casos como estos, un elemento esencial del concepto arquitectónico, pero también en un gran aliado cuando se trata de resaltar aspectos y de crear formas.

Situado en una amplia zona pavimentada en un polígono a las afueras de la ciudad, el pabellón *Le Prisme*<sup>54</sup> construido en el 2007 y una envolvente de bloques de vidrio receptores de luz solar, de uso deportivo con más de 5.000 m<sup>2</sup> de superficie forma parte de la estrategia de regeneración del área que conecta la estación de trenes con el centro histórico.



*Ilustración 58 Pabellón Le Prisme*

Fuente: <https://i.pinimg.com/736x/d3/bf/fe/d3bffeaf94d8379b1b0a42c7f1507a7--le-prisme-concert-hall.jpg>

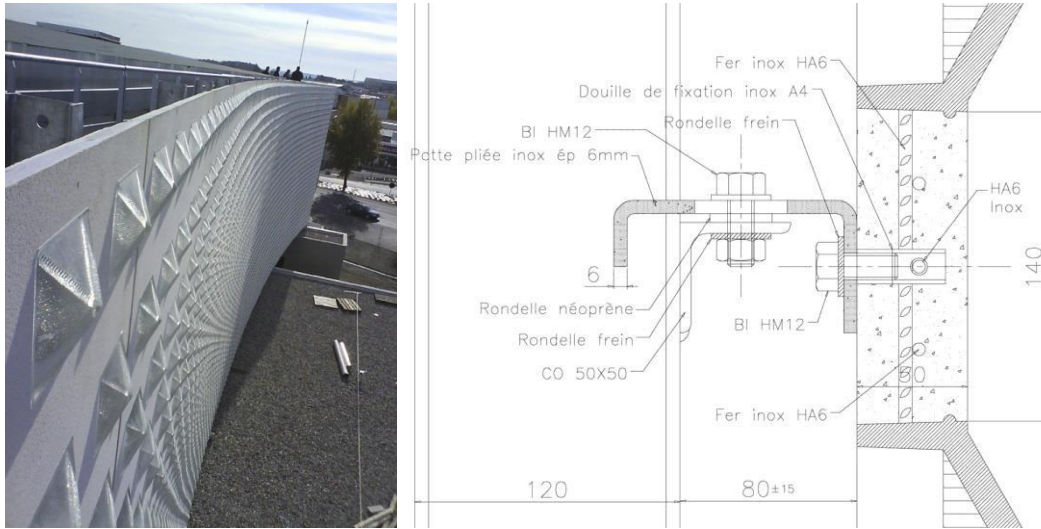
El edificio posee un volumen fácilmente reconocible, formado por tres cintas de hormigón que varían en altura y textura y delinean zonas de entrada, almacenes, instalaciones, equipamiento, etcétera.

Durante el día, la luz del sol actúa sobre 25.000 bloques de vidrio con forma piramidal y produce múltiples reflejos y también sombras, según la curvatura del volumen del edificio. Durante la noche cambia completamente, ya que la luz interior de diferentes colores, que varían según el espectáculo que tenga lugar el pabellón, es proyectada por los mismos puntos translucidos que actúan ahora como lentes, lo cual genera una fachada radiante.

La forma piramidal de los bloques fue estudiada y contrastada con otras alternativas y resulto ser la que difundía la luz de modo más satisfactorio.

Cuenta sencillamente con una iluminación a contraluz a partir de fuentes situadas en las partes inferior y superior de la fachada. Por las noches, los ladrillos de cristal iluminados a contraluz enriquecen la imagen del edificio. Su forma tridimensional de los bloques juega con la luz durante el día, refractando la luz de color tras los cristales. La curvatura de la fachada, junto con los bloques piramidales, crean gran variedad de interesantes sombras.

<sup>54</sup> El proyecto es el resultado de los arquitectos Brisac Gonzalez, Alain Safati, Henri Gaudin



*Ilustración 59 Detalle de bloque pidamiral*

Fuente: <https://i.pinimg.com/236x/f1/2b/ed/f12bedd874f0bb2ae9e5eeeff9c44e37--le-prisme-concert-hall.jpg>

Los bloques de cristal en forma de pirámide cuentan en su superficie interior con ranura destinadas a crear un lente similar a la fresnel<sup>55</sup>, que magnifica la luz que en ella incide, ampliando el patrón de iluminación, formando una fachada brillante.



*Ilustración 60 Maqueta de Le Prisme*

El Nelson-Atkins Museum of Art ubicado en Kansas City, Missouri, Estados Unidos, construido en el año de 2007, es uno de los proyectos más recientes de Steven Holl, fusiona la arquitectura con el paisaje para crear un concepto experimental, debido a que los visitantes perciben el edificio con cada movimiento. El edificio se extiende a lo largo del borde del campus y se distingue por cinco volúmenes de vidrio, los cuales atraviesan el emplazamiento a través del parque de esculturas y emergen de la tierra por medio del juego luminoso.

<sup>55</sup> La lente de Fresnel, llamada así por su inventor, el físico francés Augustin-Jean Fresnel, es un diseño que permite la construcción de lentes de gran apertura y una corta distancia focal sin el peso y volumen de material que debería usarse en una lente de diseño convencional. Fue inventada en 1822 y probada por primera vez al año siguiente en el faro de Cordouan.



La innovadora fusión del paisaje, arquitectura y arte se ha ejecutado mediante una estrecha colaboración con museos y artistas. Esta extensión incrementa un 70% el área de exposiciones y comprende galerías llenas de luz.

El diseño de esta obra incluye conceptos de arquitectura bioclimática, como lo son las cubiertas verdes para controlar la radiación solar y reutilizar las aguas pluviales. Con un diseño óptimo de iluminación, contemplando niveles lumínicos para todo tipo de instalaciones multimedia, siendo el material translucido de las fachadas controlado fácilmente por sistemas computarizados.

Con cinco volúmenes luminosos en las fachadas están realizados con un doble cristal, ensamblado mediante una cámara de aire presurizado entre las dos capas. La capa exterior consiste en unas planchas de vidrio okalux translucido con protección solar; la capa interior es vidrio laminado con un acabado base de acidos y un alto rendimiento térmico.

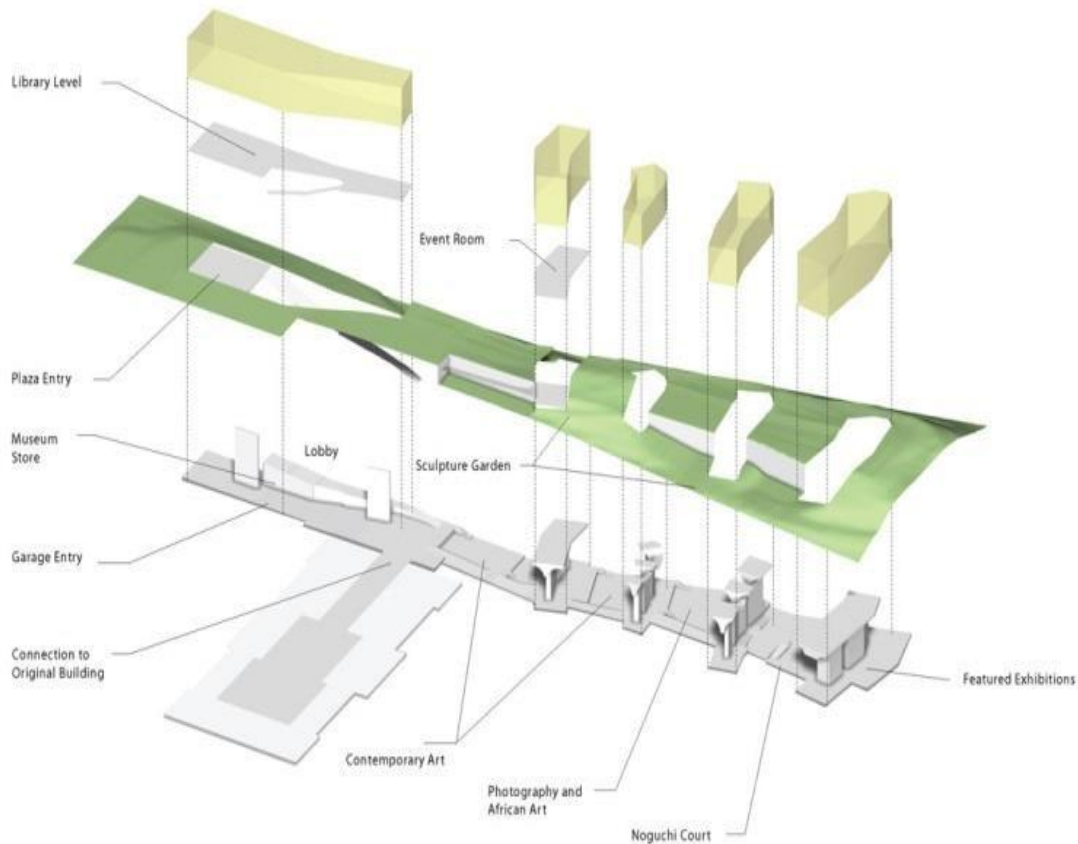


Ilustración 61 Museum of Art

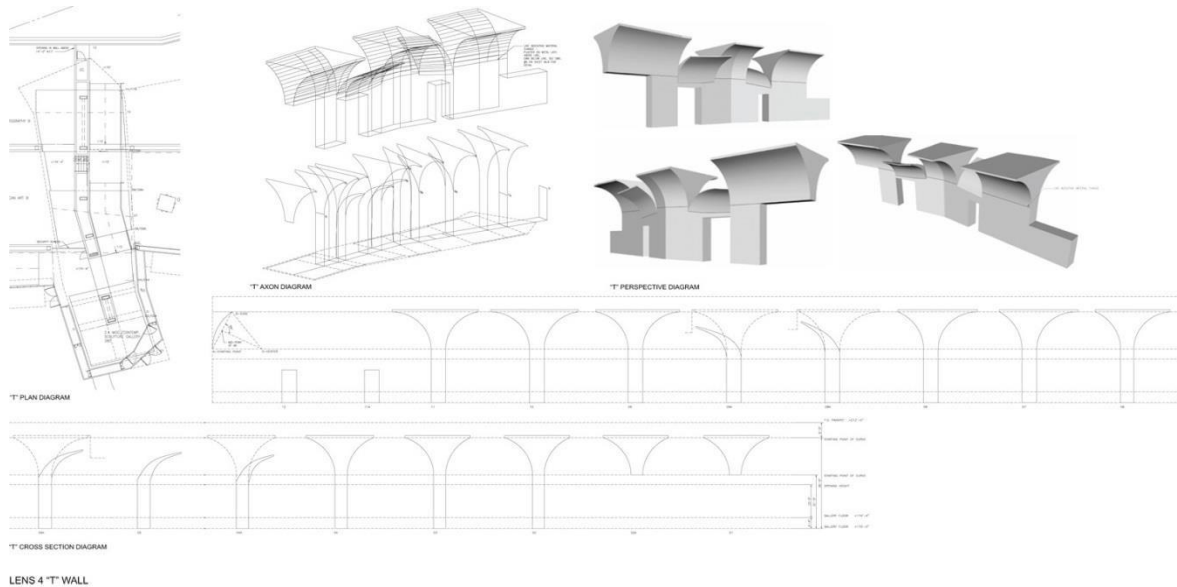
Fuente: <http://www.archdaily.com/4369/the-nelson-atkins-museum-of-art-steven-holl-architects/500ef2d528ba0d0cc7000f2dthe-nelson-atkins-museum-of-art-steven-holl-architects-image>



*Ilustración 62 Nelson-Atkins Museum of Art*

Fuente [http://www.stevenholl.com/media/files/Nelson-Atkins/2006831NAMA\\_0004new---W-PR.jpg](http://www.stevenholl.com/media/files/Nelson-Atkins/2006831NAMA_0004new---W-PR.jpg)

Al pasear por el espacio, el visitante experimenta el equilibrio entre la luz, el arte, la arquitectura y el paisaje, con vistas de uno a otro nivel. El movimiento hilvanado entre las lentes colectoras de luz de la nueva ala crea un dinamismo fluido entre el edificio nuevo y el paisaje.



*Ilustración 63 Museum of Art*

Fuente <http://images.adsttc.com/media/images/500e/f2e6/28ba/0d0c/c700/0f31/slideshow/stringio.jpg?1413951901>

La primera de las cinco lentes forman un vestíbulo brillante y transparente, con una cafetería, una biblioteca de arte y una librería, que invitan al público a visitar el museo y favorecen el movimiento a través de las rampas hacia las galerías, en su descenso hacia el jardín. Durante las noches, el volumen de cristal brillante del recibidor proporciona una seductora transparencia que atrae al público a los eventos y actividades.

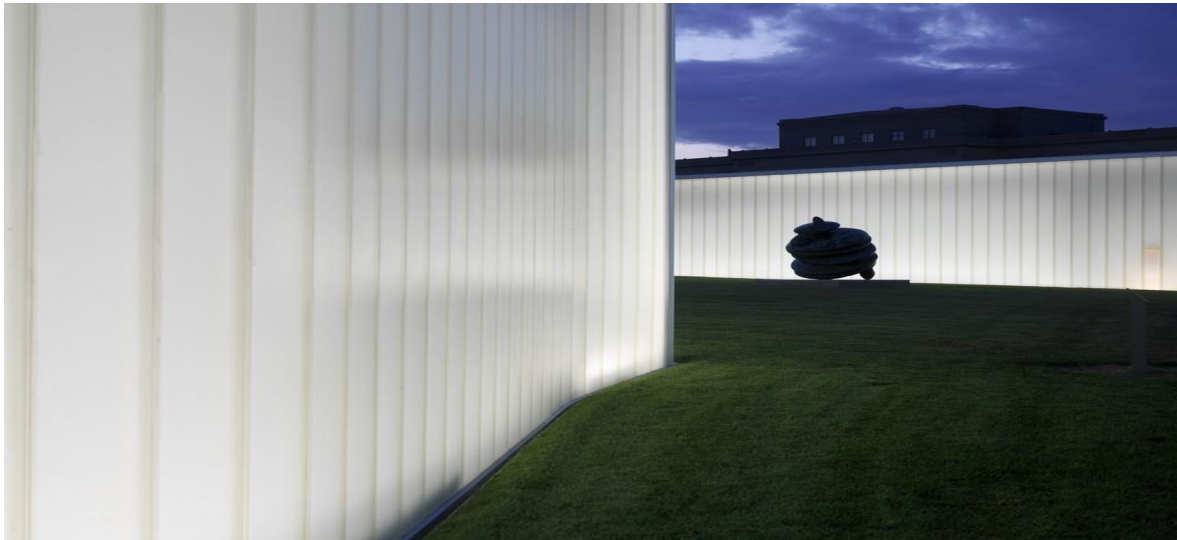


Ilustración 64 Fachada con iluminación

fuelle: [http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building3521/media/2006831NAMA\\_%200351.jpg](http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building3521/media/2006831NAMA_%200351.jpg)

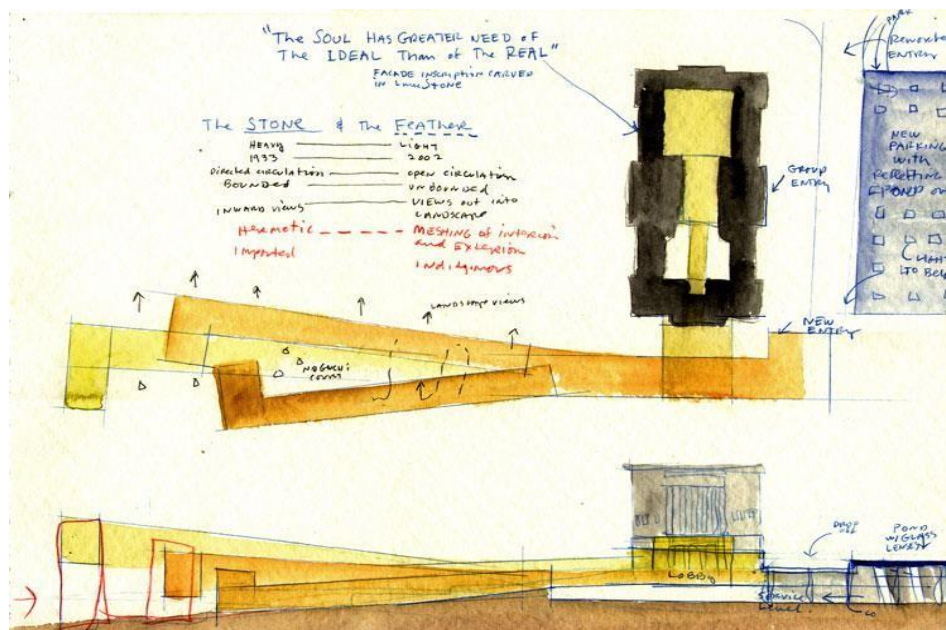


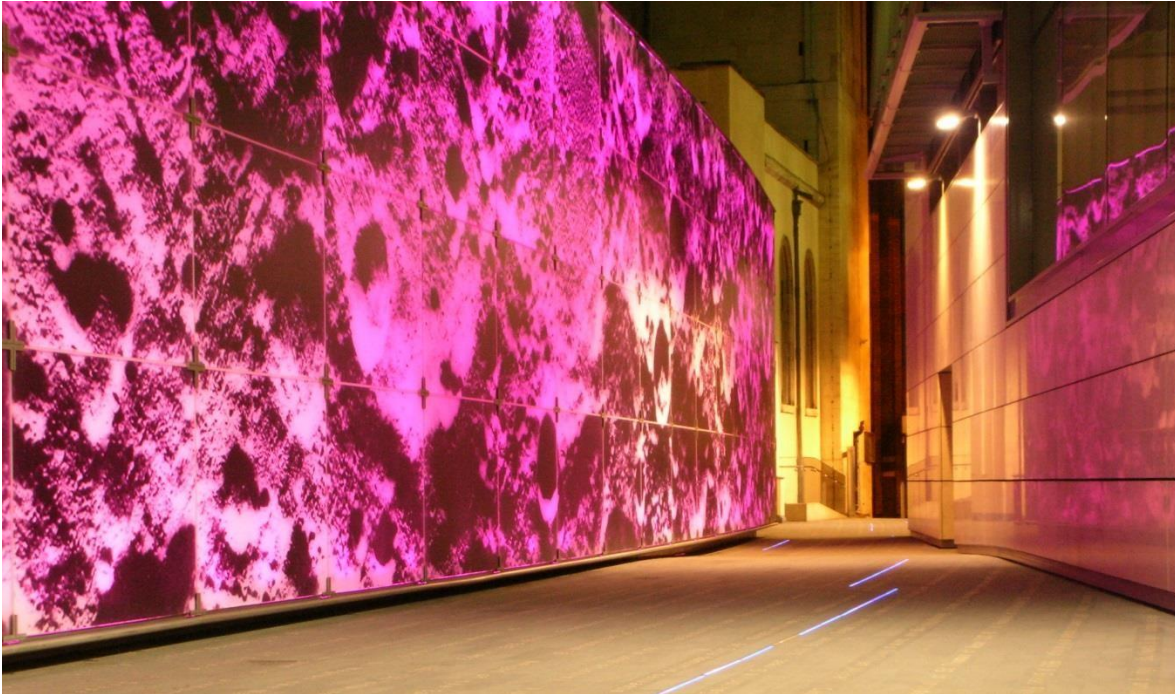
Ilustración 65 Esbozos del concepto de iluminación

Fuelle: [http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building6099/media/media\\_2.jpg](http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building6099/media/media_2.jpg)

Las múltiples capas de cristal translucido recogen, propagan y refractan la luz, que se materializa en ocasiones en forma de bloques de hielo.



Con una pantalla larga de vidrio, de 41 m de largo y 6 metros de altura, con un fondo como la luna, en diferentes colores. El Plantation Lane construido en 2007 fue el resultado de la idea concebida por Arup Associates, siendo esta pantalla un complemento al proyecto de Plantation Lane , dos nuevas torres de oficinas ubicadas en el centro de Londres.



*Ilustración 66 Pantalla del Plantation Lane*

*Fuente: <https://davisla5.files.wordpress.com/2014/06/plantation-lane-london-moon-print-on-glass-panel-backlit-pink.jpg>*

La pantalla se ubica a un costado del callejón que une la iglesia de St Margaret Pattens con Mincing Lane. La nueva ruta personal, que atraviesa la manzana. Como



contrapunto se ha colocado la imagen de la luna, para ello se han empleado 102 luminarias tipo Color Kinetics ColorBlast 12, con accesorios LED. Con ello, la luz de pared se extiende por todo lo largo de la recién creada obra de arte.

*Fuente: <https://davisla5.files.wordpress.com/2014/06/plantation-lane-london-moon-print-on-glass-panel-back-lit-red.jpg>*

*Ilustración 67 Pantalla Plantation Lane.*

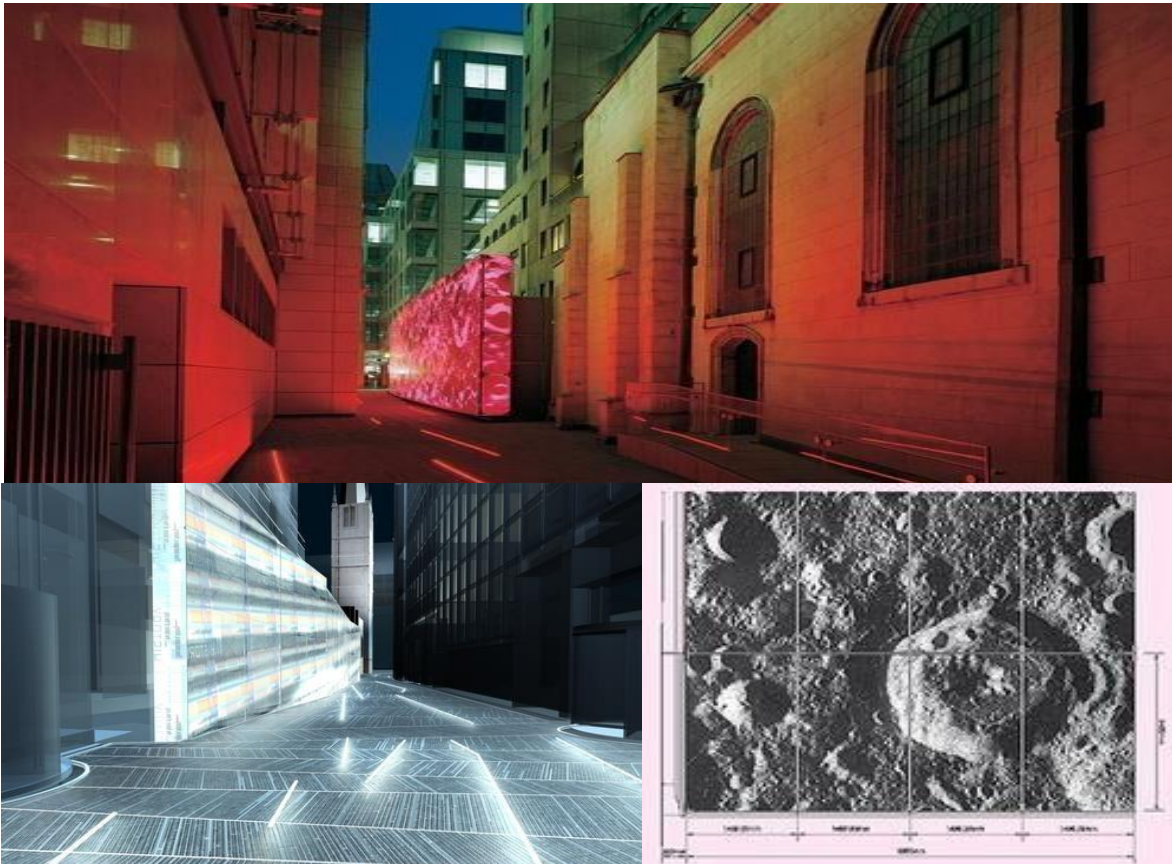


Ilustración 68 Pantalla Plantation Lane

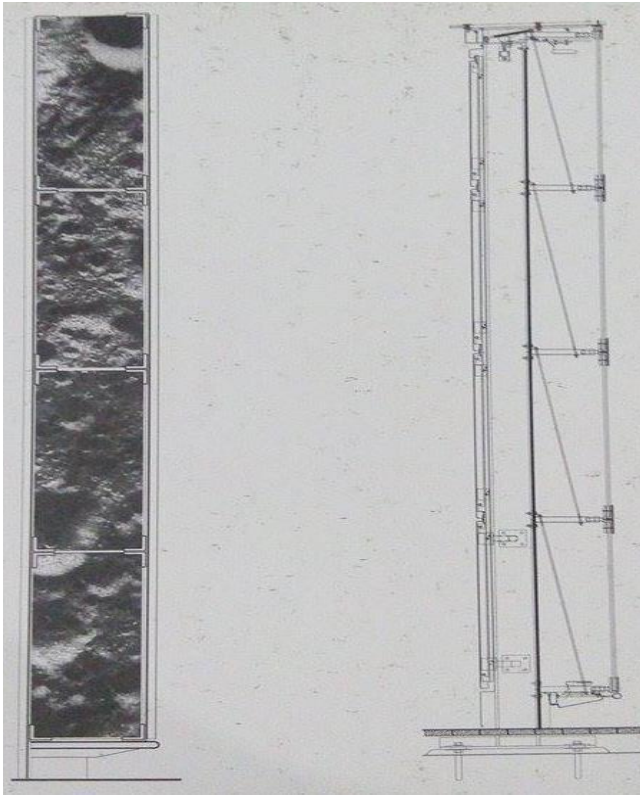
Fuente: <http://www.arupassociates.com/media/cache/d2/f6/d2f68594e5b584be9940811c42faded7.jpg>

El artista Simon Patterson<sup>56</sup> creó una colección de textos que se han grabado en la piedra del nuevo pavimento. El texto se extiende a lo largo de una serie de grandes arcos, que parecen deslizarse bajo la masa de los nuevos edificios. Cada curva del texto representa una línea temporal distinta, desde los dioses romanos hasta datos de la historia de Londres, trazando eventos y misceláneos, de la gran plaga de la jerarquía de los masones. Este trayecto es una oportunidad para reflexionar sobre el pasado, antes de precipitarse de nuevo en el presente.

Si se sigue una línea de tiempo de principio a fin, o por inmersión en la corriente de las palabras de una pequeña muestra de la historia de la zona, un paseo por Plantation Lane ofrece el antídoto perfecto para la comercialización de espacios públicos.

<sup>56</sup> Simon Patterson, 1996 Premio Turner Su interés por la combinación de referencias visuales y textuales formó la base de diseños donde la luz, el arte, la arquitectura y el lenguaje combinan a la perfección.





Se construyó una maqueta a escala de una sección de la pared para que los arquitectos y diseñadores de iluminación pudieran probar distintas fuentes de luz antes de su elección definitiva. Estas iluminan un grabado fotográfico al aguafuerte de la cara oscura de la Luna tintado en sepia, que se extiende longitudinalmente a lo largo de la pared, creando sombras y contrastes y un efecto 3D ilusorio al combinarse con la imagen.

*Ilustración 69 Sección de la pantalla.*

*Ilustración 30 Fuente: <http://www.arupassociates.com/en/case-studies/plantation-lane/>*

#### 4.4. El futuro del material translucido

Basta con dar un vistazo a la arquitectura contemporánea para darse cuenta de la gran variedad de productos innovadores de vidrio disponibles para su uso en el exterior. Lo fundamental en estos casos no es solo la transparencia y las ventajas de diseño, sino también el desarrollo de la física de la construcción. Sin embargo, existen limitaciones técnicas que afectan a la fabricación y se deben tener en consideración para el proyecto, así como a los formatos de material acabado.

El progreso más reciente en la física de la construcción ha sido el uso de vidrio aislante, que puede conseguir pérdidas de calor muy bajas y, en ocasiones, generación de energía pasiva encaminada al aprovechamiento de la ganancia calorífica.

Aunque se han desarrollado revestimientos selectivos, el objetivo sigue siendo una mejor adaptación a los cambios de las condiciones ambientales. Esto quiere decir que es preciso acristalamientos con propiedades variables.

El desarrollo tecnológico potencial del sector del vidrio aún no se ha explotado, por ello, lo más probable es que el vidrio como material constructivo seguirá impresionándonos con sus innovaciones técnicas en el futuro.



#### 4.4.1. La luz Materializada

En tiempos recientes se ha tratado de crear espacios increíbles llenos de pasión por la arquitectura, aunado a esto el interés particular en el diseño de las envolventes o superficies junto con las características sensoriales como táctiles, de color, de textura y de iluminación.

Viendo estas características reflejadas en la mejora sensible de las **fachadas**, llegando a ser estructuras artísticas que entran en comunicación con su entorno según el grado de abstracción. Los materiales translucidos han logrado que se pueda trabajar con la luz del día, pero de noche se pierden en la oscuridad.

Al ser iluminados se muestran con otra fase artística pero esto sin aprovechar esa luz natural de día o más bien esa energía finita pero que sabemos será duradera por muchísimos años más.

El tema arquitectónico de la fachada ya no existe en relación y proporción entre vanos y macizos sino en su manifestación de capacidad para reflejar y transmitir su luz.

¿Será posible que en esta época cultural de virtualidad, la arquitectura de el paso al cambio del material al de la luz? Así como en su momento lo definiera Le Corbusier en la arquitectura. “el libre juego de los volúmenes bajo la luz” dando paso así a la materialización de la luz de manera conceptual como componente de la desmaterialización del cuerpo de un edificio.

La definición de translucidez viene del latín “*TRANS*” a través de y “*LUX*” que es luz, ¿por qué manifiesto esta definición? Derivado de la importancia que tendrá en el proyecto ya que se pretende la materializar la luz con un material translucido capaz de captar la energía solar y utilizarla para su uso en la iluminación propia, sabiendo que los materiales translucidos se clasifican como materiales diáfanos (del griego *διαφανς*, “mostrar a través de”), buscando mostrar luz a través del material durante la noche o la oscuridad.

La manipulación de la luz en la arquitectura ha sido desde siempre, en la prehistoria, en la arquitectura religiosa, en oriente etc. Casi siempre por medio de materiales.

Hoy día los arquitectos tenemos a nuestra disposición nuevos materiales, los cuales satisfacen requisitos y regulaciones existentes, siendo estos los que ofrecen un potencial de diseño aún por explorar.

Nuevas técnicas demuestran que el vidrio es un material versátil en su empleo, notable por sus propiedades constructivas y físicas, además de sus funciones de protección o aislamiento. Dejando a un lado el aprovechamiento de la energía solar y no solo cumplir requisitos meramente creativos.



Edificio de administración/ Maestría en Arquitectura/ Pedro Saldaña

*Ilustración 70 Propuesta de cristal con bioluminiscencia*

*Fuente: Autor: Pedro Saldaña*



Edificio de administración/ Maestría en Arquitectura/ Pedro Saldaña

*Ilustración 71 Propuesta de cristal con bioluminiscencia*

*Fuente: Autor: Pedro Saldaña*

## 4.5. Experimentación

La laguna de Manialtepec está ubicada en el estado de Oaxaca; Es un sitio de excepcional belleza, en la población de San Jose Manialtepec, distrito de Juquila; Rodeado de manglares<sup>57</sup>, su nombre se deriva de los vocablos náhuatl manine (animal que se arrastra) y tepetl (lugar); lo cual se interpreta como "lugar de lagartos".

La Laguna se encuentra a 12 kilómetros de Puerto Escondido de aproximadamente 6 kilómetros de longitud. Su ubicación tropical y sus derivados ecosistemas favorecen la presencia de fauna silvestre y marina, por lo cual Manialtepec es un lugar de anidación de innumerables aves. También llegan a esta laguna diferentes especies de aves migratorias, como patos silvestres, garzas y tijerillas. La Laguna de Manialtepec se ha convertido en un importante centro turístico, donde la extensión del agua y la vegetación de manglar constituyen un fascinante paisaje natural. La vegetación de la zona la constituye principalmente: bosque tropical caducifolio, palmar, bosque espinoso y matorrales xerófitos, manglar y vegetación de dunas. Los manglares son hábitat de aves acuáticas y canoras, así como de iguanas. Por ser un lugar ecoturístico cuenta con paradores como “Las Hamacas”, “La Alejandría”, “El Paraíso”, “La Isla del Gallo”, y la Comunidad de “Las Negras”. (Oaxaca Mio)

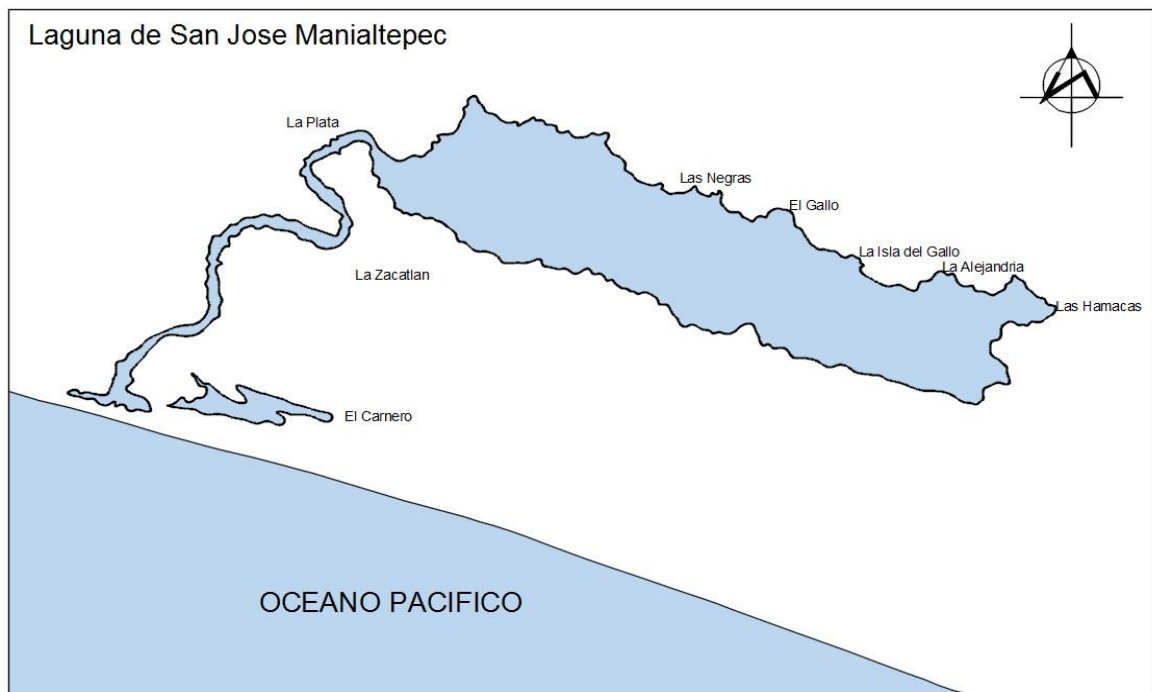


Ilustración 72 Mapa laguna de Manialtepec

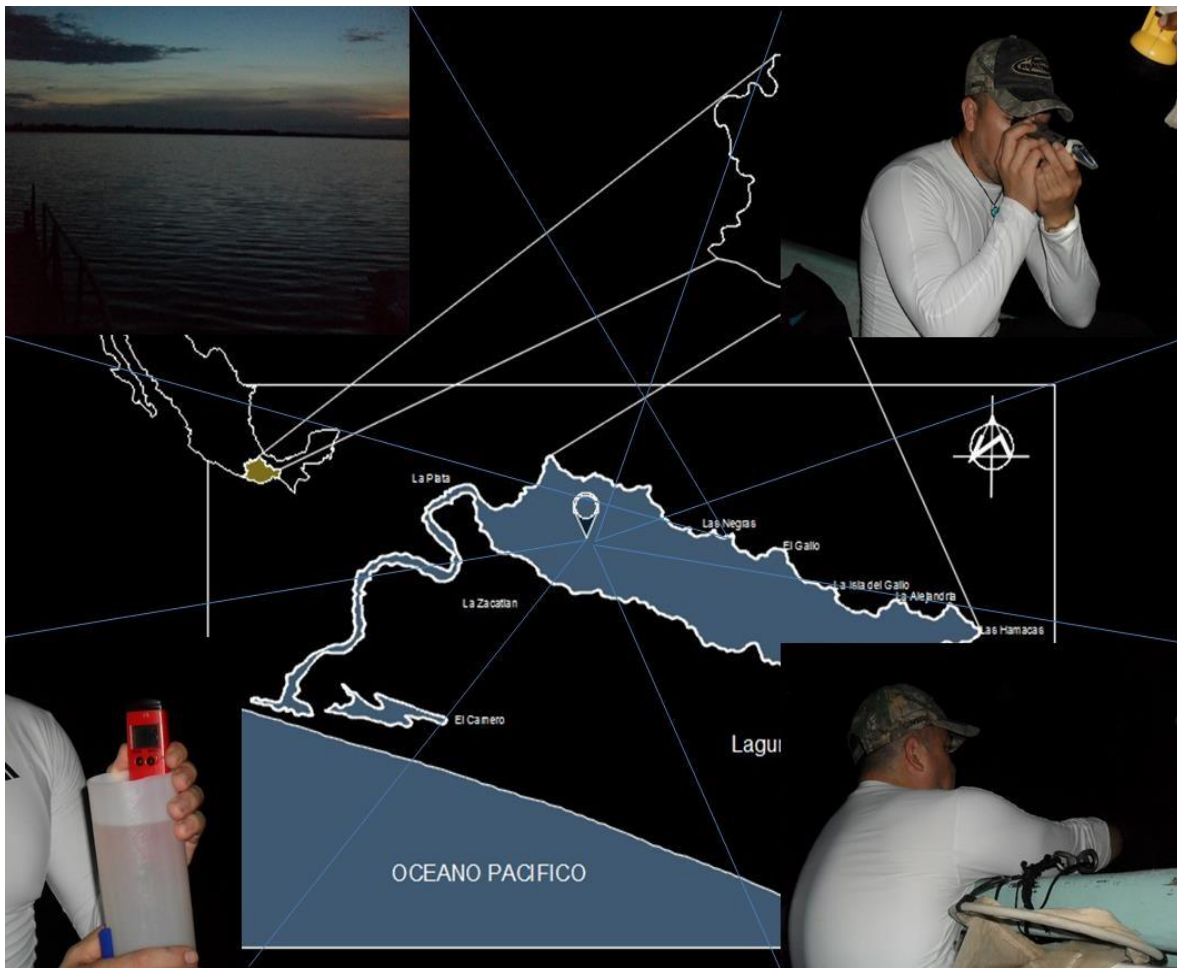
Fuente: Autor: Pedro Saldaña

<sup>57</sup> Establecidos típicamente en el sistema lacustre, las especies características observadas en este ecosistema son *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. En algunas zonas alcanzan alturas de más de 20 m; esto se debe a que la zona se encuentra protegida de la acción de los ciclones.

#### 4.5.1. Muestreo

Se realizó el muestreo en la laguna de Manialtepec en la estación llamada “las negras”. Este muestreo se realizó en la noche con el fin de localizar y observar el fenómeno de la bioluminiscencia que se presenta en la laguna. Se recolectan datos de temperatura, pH del agua, salinidad y oxígeno. Se realiza con arrastre con red de 20 micras y 50 micras así como muestreo de profundidad a 5 y 10 metros.

Posterior se marcan las muestras vivas y muestras fijas en sitio, esto con el fin de llevar al laboratorio y realizar un estudio minucioso de identificación.



*Ilustración 73 Collage del muestreo en sitio*

*Fuente: Autor: Pedro Saldaña*

## 4.5.2. Características de la laguna de Manialtepec.

### 4.5.1.1 Latitud

La laguna de san José Manialtepec se encuentra entre los paralelos 15°56' y 15°57' de latitud norte y 97°10' y 97°13' latitud oeste, con una superficie aproximada de 1,640 ha; la comunicación con el mar es efímera y se realiza durante la época de lluvias entre julio y octubre por medio de una boca. El origen es de plataforma barrera interna y está conformada por 5 pequeñas lagunas que localmente se conocen como: La Plata, El Zacatal, El Corozal, Puerto Suelo, y El Carnero. La profundidad promedio es de 5.40m.

### 4.5.1.2. Temperatura

El clima que presenta la zona pertenece al tipo Awo(w) isotermal, con frecuencia entre la temperatura más fría y más caliente >5°C.

	Enero-Febrero		Junio-Julio		Octubre-Noviembre	
Parámetros	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Salinidad %	9	11	12	14	12	16
Temperatura	14°C	18°C	29.60°C	32.40°C	26.80°C	32.50°C
oxígeno Dis. MI/l	0.58	4.22	1.2	4.64	0.9	3.1
pH			7.8	9.2	7.3	8.8

Tabla 1 comportamiento de los principales parámetros

El clima de la región hace que las temperaturas en el agua sean elevadas y que los procesos de evapotranspiración sean muy importantes en el balance hídrico de los sistemas acuáticos; lo anterior provoca, entre otras cosas, que cuando se manifiesta un desequilibrio en las cantidades normales de agua (por razones naturales o inducidas), se altere significativamente este precario balance de agua. Por ejemplo, la carencia de un aporte de agua dulce que provoca también el cierre de la comunicación con el mar, se traduce casi inmediatamente en un incremento de la salinidad. Las lluvias abundantes así como el aislamiento, también pueden causar la oligohalinidad de agua.

En la laguna de Manialtepec se presentan problemas de eutrofización derivado de que el cauce principal fue desviado y actualmente no descarga sobre la laguna. Lo anterior provoca que, por un lado, no exista presión hacia la barra y esta se mantenga cerrada la mayor parte del año, por otro lado, genera el aislamiento del cuerpo original con constantes suministros de nutrimentos, que auspicia que se manifiesten procesos heterotróficos de considerable magnitud. La tendencia a la eutrofización se corrobora con los altos valores de amonio<sup>58</sup>.

<sup>58</sup> Nitrógeno en su variedad de amoniacal



### 4.5.3. Medios de cultivos empleados y procedimiento

Los medios de cultivo que se emplearon fueron con el fin de identificar y lograr localizar la bacteria *Vibrio* h. debido a que se tenía la teoría de que la bioluminiscencia producida en la laguna de Manialtepec podría ser causada por dicha bacteria.

Agua Peptonada Alcalina (APA), se emplea como medio de enriquecimiento en la búsqueda de *Vibrio* sp. a partir de diversas muestras que van desde clínicas, alimentos o en el agua. Se basa en que los *Vibrios* son viables a pH alcalino, por lo que se emplea como medio para incrementar la recuperación de dichos microorganismos en las muestras. (Torres,2016)

Para su preparación (250 mL) empleamos:

250 mL de agua destilada

0.25 g de triptona

2.125 g de Na Cl

Una vez preparado se ajusta el pH a 7.0

Se esteriliza a 15 lb de presión y 121°C, durante 15 min

Una vez esterilizado se vaciaron 9 mL del medio APA en tubos de ensayo estériles. Las muestras de agua colectadas en la Laguna de Manialtepec se inocularon en una dilución de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  y se incubaron a 30-35°C durante 12 horas para luego ser transferidas a medio Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa (TCBS).

El medio Agar TCBS (marca DIFCO), o como Agar Selectivo para *Vibrios* (TCBS), es un medio selectivo para el aislamiento y cultivo de bacterias tipo *Vibrio* a partir de diferentes muestras (heces, agua y alimentos contaminados).

Los componentes del medio (extracto de levadura, peptona de carne y la tripteína) aportan nutrientes para el desarrollo bacteriano de las especies de *Vibrio* e inhibidor para la mayoría de las enterobacterias. Esta inhibición se basa en las altas concentraciones de tiosulfato y citrato, la presencia de bilis y un pH fuertemente alcalino. La degradación de la sacarosa es variable entre las especies de *Vibrio* y las colonias son verdes para las cepas que no la utilizan y amarillas para aquellas que producen ácido a partir de este azúcar, debido al viraje del color de los indicadores de pH azul de timol y azul de bromotimol, del color azul al amarillo en medio ácido. Es importante tener en cuenta, que la proporción de sacarosa en el medio está equilibrada de forma tal que no inhiba el crecimiento bacteriano por exceso de ácido.

El cloruro de sodio favorece el crecimiento de microorganismos. El tiosulfato de sodio aporta azufre y junto con el citrato férrico permiten la detección de producción de ácido sulfhídrico. Aumentando la concentración de cloruro de sodio y disminuyendo la temperatura de incubación, pueden aislarse especies marinas sin importancia sanitaria.



El medio TCBS es un prueba presuntiva para bacterias como *V. cholerae*, *V. parahemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. fluvialis* y *V. vulnificus*. La idea de probar este medio se basó en confirmar la presencia de bacterias del género *Vibrio* spp. (Se coloca spp para indicar que son varias las especies de ese género)

Con base en los resultados obtenidos después de la inoculación, se observó lo siguiente:

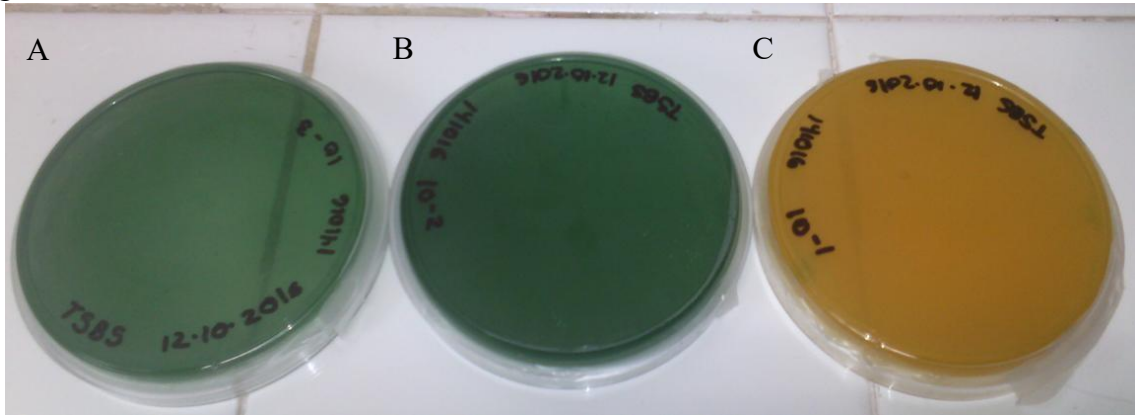


Ilustración 74 Crecimiento bacteriano en agar TCBS de muestras de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca en las diluciones 10-3 (A), 10-2 (B) y 10-1 (C).

Fuente: Autor: Darla Torres A.

En la placa más diluida ( $10^{-3}$ ), no se observó crecimiento y por tal no hubo cambio en la coloración del agar. En la dilución intermedia ( $10^{-2}$ ), se observó crecimiento microbiano de coloración verde azulosa sin cambio en la coloración del agar, mientras que en la concentración mayor ( $10^{-1}$ ) hubo crecimiento microbiano y cambio en la coloración del agar de verde a amarillo (Ilustración 74).

A partir de dichas cajas se tomó una asada (Ilustración 75, flecha) con asa bacteriológica y se estrió mediante la técnica de siembra por cuadrantes radiales para la separación de las colonias y poder realizar la visualización macroscópica de las colonias.

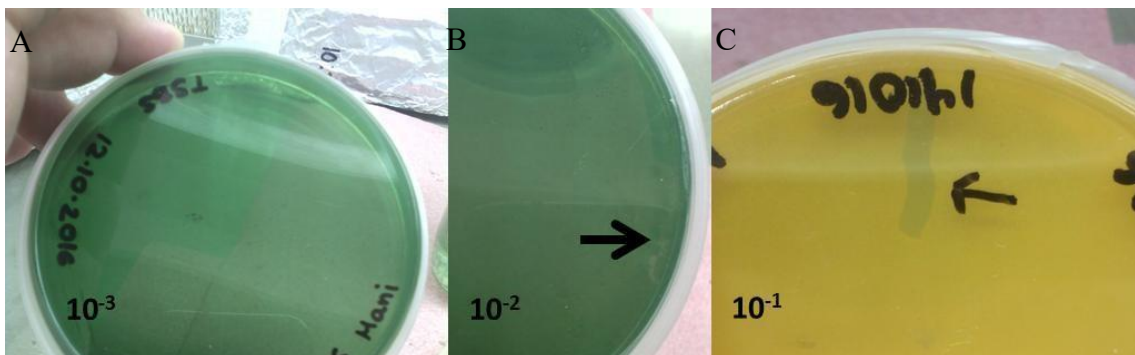


Ilustración 75 Sitio de toma de muestra para posterior siembra en caja de agar TCBS de muestras de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca en las diluciones 10-3 (A), 10-2 (B) y 10-1 (C).

Fuente: Autor: Darla Torres A.

El crecimiento de las colonias se muestra a continuación:

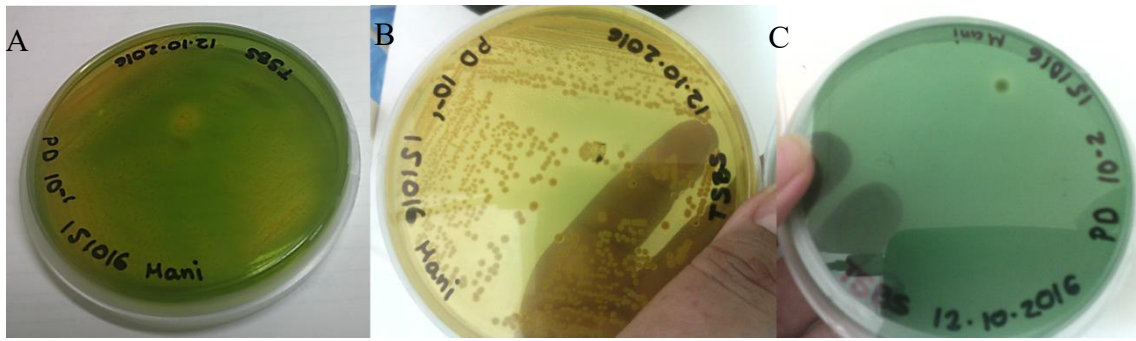


Ilustración 76 Colonias bacterianas posterior a la siembra en caja de agar TCBS de muestras de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca en las diluciones 10-1 a las 12 h, 10-1 (B) a las 24 h y 102 (C) a las 24 h de incubación.

Fuente: Autor: Darla Torres A.

La Ilustración 76A en la concentración menos diluida ( $10^{-1}$ ) muestra el inicio del crecimiento a las 12 h de incubación en donde apenas se está dando el vire de color verde a amarillo, mientras que la Ilustración 76B ya presenta el crecimiento de las colonias separadas con todo el vire de la caja. En ambas cajas se aprecian colonias pequeñas de 2-3 mm amarillas y con un halo transparente alrededor. Para la concentración intermedia, sólo observó una única colonia verde azulosa con halo translúcido alrededor. Por las características coloniales se intuye la posible presencia de:

Cepas	Resultado del crecimiento	
<i>V. cholerae</i>	Crecimiento de regular a excelente; colonias amarillas 2-3 mm con cambio de color o presencia de zonas amarillas alrededor de las colonias.	Presuntivo y positivo
<i>V. parahemolyticus</i>	Crecimiento de regular a excelente, colonias de color verde azulado de 3 a 5 mm y el medio prácticamente sin cambios.	Positivo
<i>V. alginolyticus</i>	Crecimiento de regular a excelente, zonas amarillas alrededor de las colonias. Fue evidente el vire total de la caja.	Positivo
<i>E. faecalis</i>	Inhibición de parcial a completa, colonias pequeñas de color amarillo (1-2 mm)	Posiblemente

<i>E. coli</i>	Inhibición de parcial a completa, colonias pequeñas y translúcidas	No se presentaron
----------------	--	-------------------

Tabla 1 Características macroscópicas de las colonias al incubarse 24 h en agar TCBS, en atmósfera aeróbica a 35°C.

Fuente: Autor: Darla Torres A.

El Agar TCBS no es un medio diferencial para todas las especies del género *Vibrio*, dentro de las que se encuentra *V. harveyi*, el cual varía en la utilización de la sacarosa y por ende no se puede distinguir de otras especies que usan y no sacarosa (Simidu & Tsukamoto 1980).

A partir de estos resultados, se tomó una alícuota del crecimiento en los tubos con medio APA y se inoculó en medio modificado BOSS, el cual ha sido referido como medio para el crecimiento para *V. harveyi* y *V. fisheri*. En la Tabla 2 se especifica la modificación realizada al medio.

Cantidad	Reactivos	Medio BOSS	BOSS modificado (m)
30 g	NaCl	√	√
1 g	Glycerol	√	√
10 g	Bacto Peptona	√	√
3 g	Extracto de carne	√	-
15 g	Agar	x	x
1000 mL	Agua destilada	√	√

Tabla 2 Reactivos para la preparación del medio líquido BOSS sugerido para el aislamiento de *V. harveyi*.

Fuente: Autor: Darla Torres A.

(-) No se contaba con Extracto de carne por lo que se empleó la misma proporción con base en la formulación de extracto de carne del medio Brila (Caldo-verde brillante-bilis-lactosa, laboratorios MERCK).

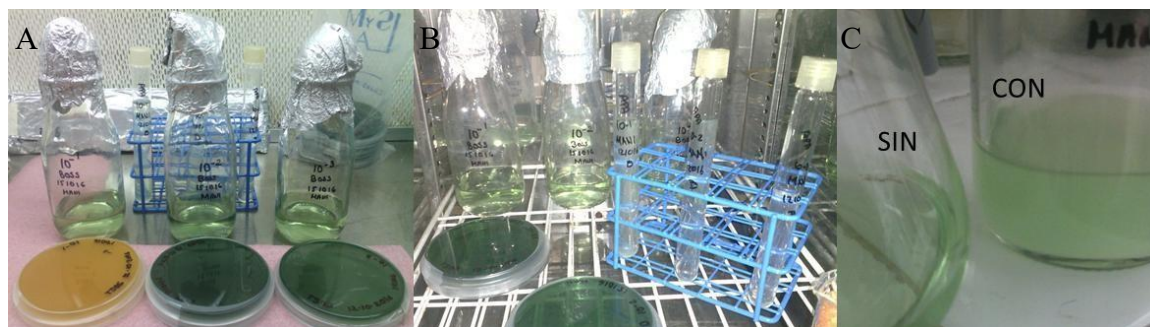


Ilustración 77 Medio de cultivo BOSS m previo a la inoculación (A) en la campana de flujo laminar y una vez inoculado e incubándose a 20°C (B), medio sin y con crecimiento (aspecto turbio).

Fuente: Autor: Darla Torres A.

Estos cultivos con el medio BOSS presentaron crecimiento microbiano, los cuales se encuentran mantenidos en refrigeración para su posterior análisis morfológico. Para tal efecto, se están preparando los reactivos necesarios para desarrollar la tinción de Gram y poder evidenciar la morfología microscópica y el tipo de pared celular (negativa o positiva) de las bacterias aisladas tanto en el medio TCBS como en el medio BOSS.

### Plancton de Manialtepec

Respecto al plancton de la Laguna de Manialtepec, se muestran a continuación algunas de las fotografías y se está en proceso del registro del resto de los organismos que habitan en la laguna y al momento no se puede decir cuál de ellos es el productor de la bioluminiscencia.

El organismo que aparentemente es el dominante es un dinoflagelado unicelular denominado *Prorocentrum minimum* (Pavillard) J.Schiller 1933 (este es el nombre de la autoridad que lo describió y el año), el cual es una especie nerítica, produce proliferaciones en muchos ambientes costeros y estuarinos. Su importancia radica en que es potencialmente dañino para los seres humanos a través de la intoxicación por mariscos; que tiene efectos perjudiciales, tanto a niveles del organismo y el medio ambiente; al parecer su aumento se relaciona con el aumento de la eutrofización costera. Contiene compuestos neurotóxicos y los efectos perjudiciales de los ecosistemas relacionados con la proliferación van desde los peces y las mortalidades del bentos (moluscos), ambos efectos son vía indirecta por la acumulación de biomasa (influyendo en el oxígeno disuelto) y los efectos tóxicos. Además, sus proliferaciones ocurren en condiciones de altas temperaturas y bajas irradiancias incidentes y con salinidad moderada en los ambientes costeros y de estuario, a menudo caracterizadas como eutróficos (Heil *et al.* 2005).

Lo que se observa en la ilustración 78, son organismos del zooplancton y en su mayoría dinoflagelados. En la ilustración 78A, D y E, se aprecia a *P. minimum*, cercano a un rotífero, un dinoflagelado y un copepodito, respectivamente.

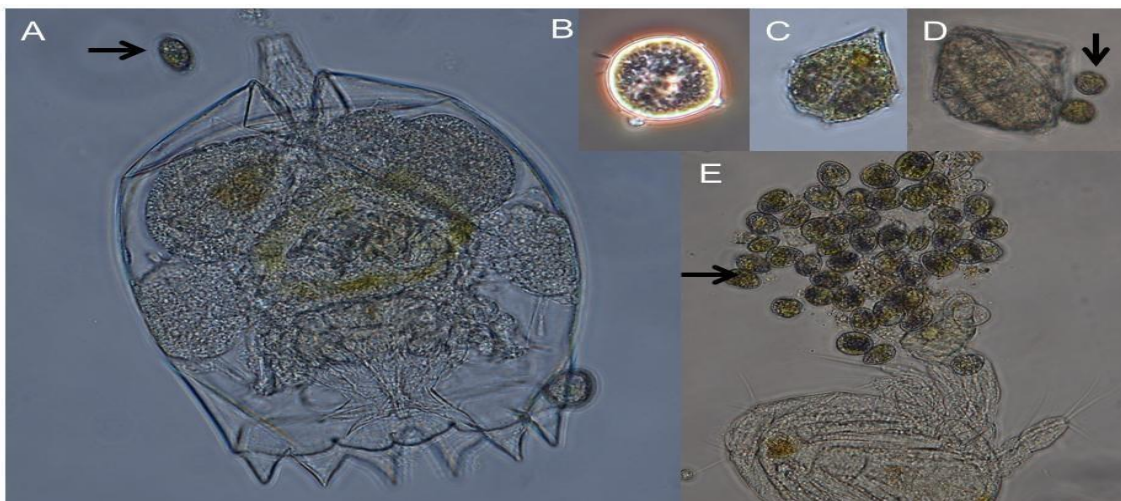


Ilustración 78 Microorganismos zooplanctónicos y dinoflagelados de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca.

Fuente: Autor: Darla Torres A.



En el caso de los organismos de las ilustración 79B y C, se trata de dinoflagelados de los géneros *Protoperidinium* y *Scropsiella*, respectivamente. Se sabe que en el caso de los dinoflagelados bioluminiscentes pertenecen a representantes de los géneros *Protoperidinium*, los cuales están presentes en la Laguna de Manialtepec.

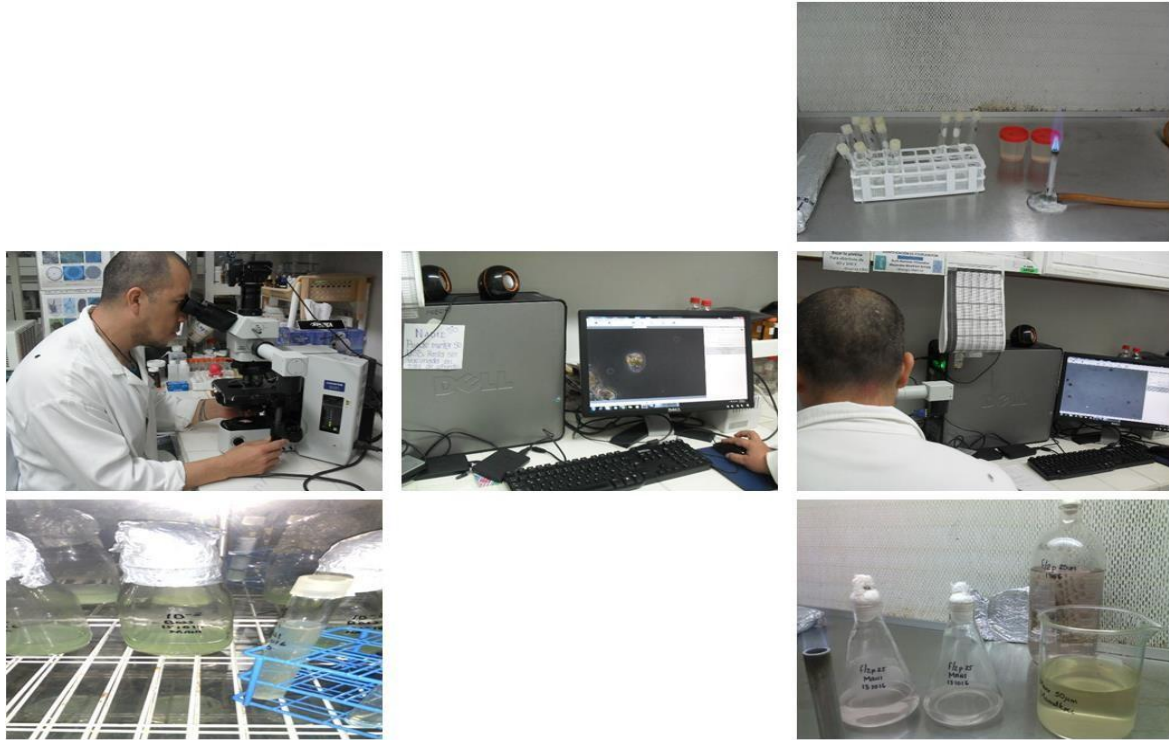


Ilustración 79 Proceso de experimentación

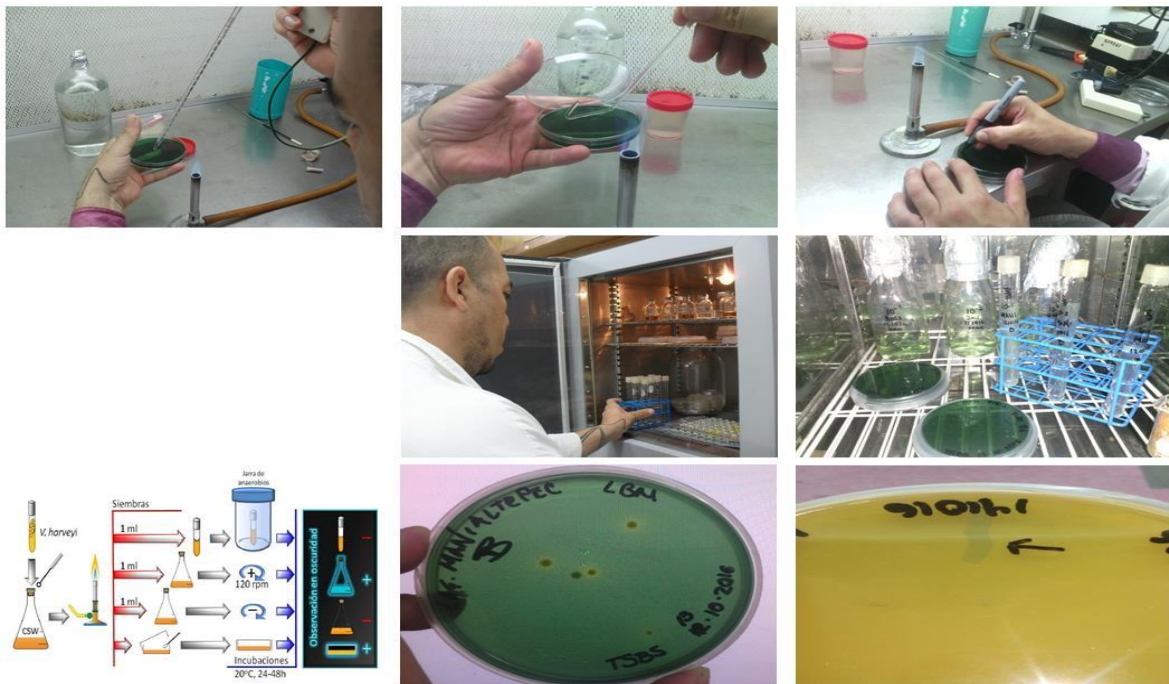


Ilustración 80 Proceso de experimentación

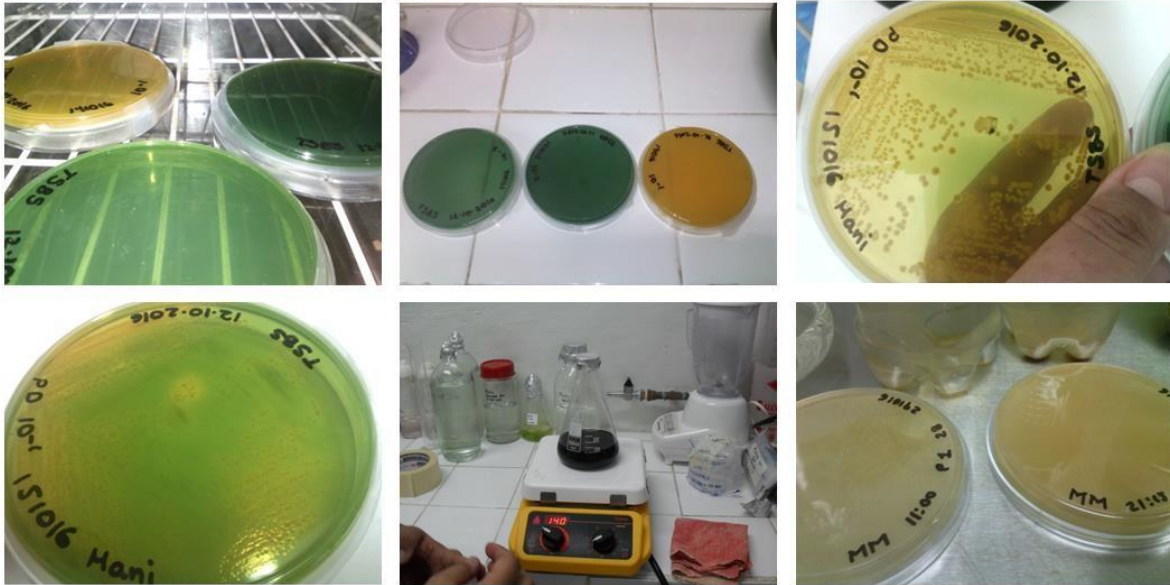


Ilustración 81 Proceso de experimentación

#### 4.6. Resultados

Al Agitar el tubo incubado en condiciones de anaerobiosis y se comprueba que el cultivo no emite luz. Estos resultados negativos indican la dependencia de oxígeno que presenta la bioluminiscencia bacteriana.

Al observar los dos erlenmeyer sembrados, la intensidad de la bioluminiscencia será muy notable en el cultivo en agitación mientras que la intensidad de la luz emitida por el no agitado será mucho menor. La intensidad de luz aumenta si se agitan manualmente los matraces y disminuye progresivamente cuando estos se dejan en reposo. Con esto comprobamos el manifiesto que la reacción catalizada por la luciferasa depende de la presencia de oxígeno.

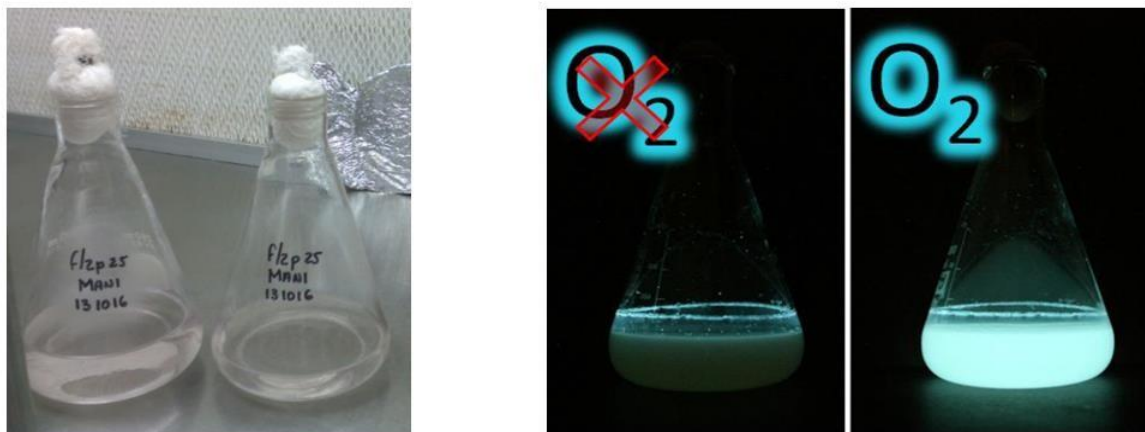


Ilustración 82 cultivo liquido de *Vibrio h.*

Fuente: Laboratorios de química del TESE



Cultivo en medio marino (SW o MM) de muestras de la Laguna Manialtepec para aislamiento y caracterización de *Vibrio harveyi*. La flecha indica una colonia aislada.

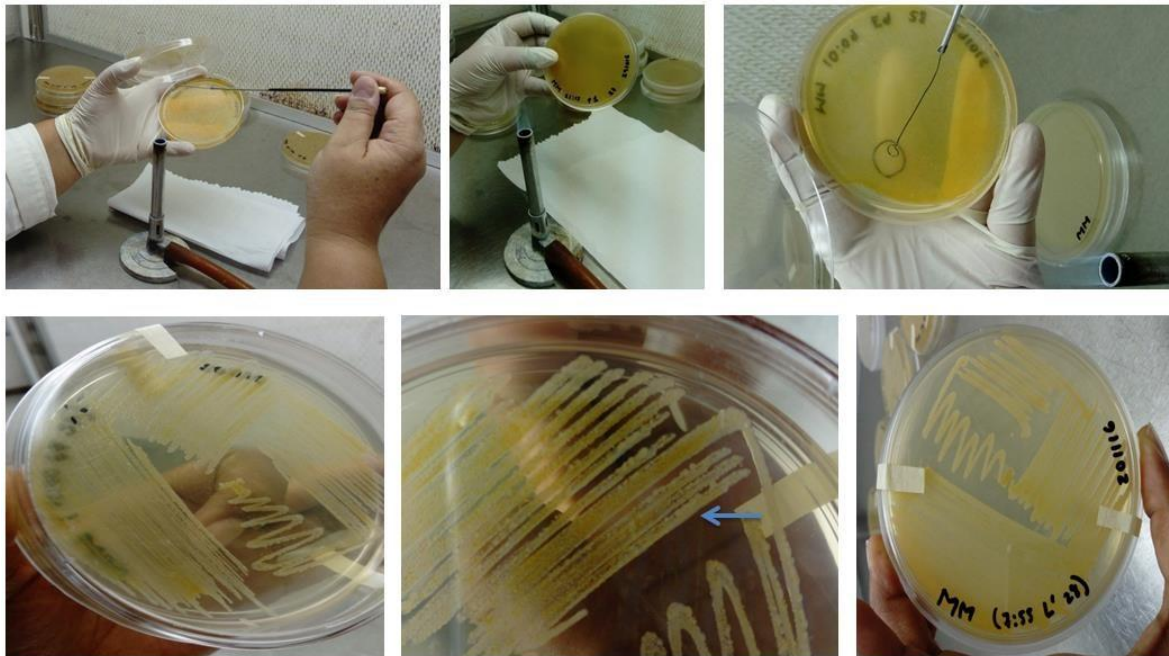


Ilustración 83 Cultivo en medio marino

Fuente: Autor: Darla Torres A.

Una vez localizada la bacteria *Vibrio h.* y lograr la colonia se pudo observar la emisión de una luz intensa en los cultivos desarrollados en placa Petri importante mencionar que deberán ser incubados en oscuridad. De ello vendrá la importancia que la emisión de luz se debe a un fenómeno de bioluminiscencia y no de fosforescencia.

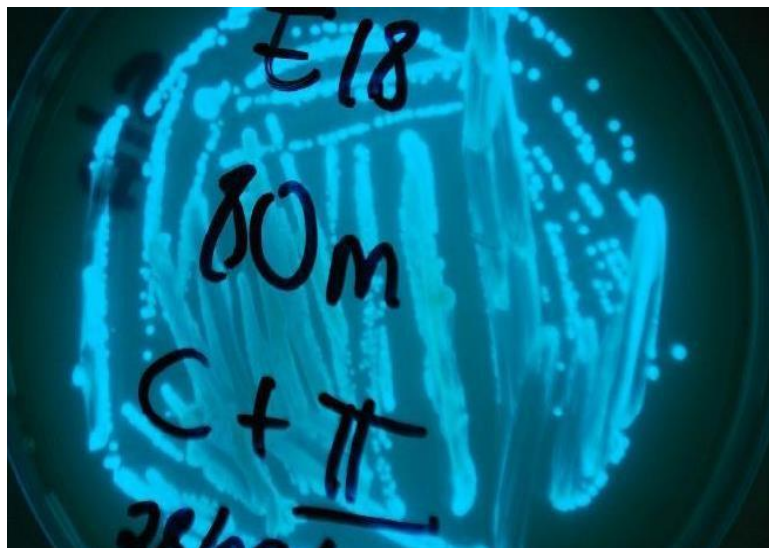


Ilustración 84 Placa petri con colonia de *Vibrio h.* con bioluminiscencia

Fuente: Bukvetskii B. V., Shishov A. S. (2016).

#### 4.7. Propuesta de modelo de la materialización de la bioluminiscencia.

Esta propuesta se basa en la información captada durante la investigación realizada dando una propuesta para lograr materializar la bioluminiscencia, ya que se ha demostrado que es posible utilizarla como una alternativa de iluminación.

En este modelo podemos observar la creación de un cristal para envolverte arquitectónicas con un espesor mínimo de 6mm al cual se le daría un revestimiento de transmisión del espectro luminoso en la parte posterior del cristal, en la parte inferior y superior, contara con un espacio para alojar una especie de materia con el cultivo de la bacteria bioluminiscente, siendo o necesaria la entrada de oxígeno y luz solar para su supervivencia.

Lo interesante será lograr como este cultivo tendrá que generarse cíclicamente después de un periodo de tiempo para que continúe la función de emisión de luz propia.

Otra de las pruebas que se tendrán que realizar será la de ver el resultado que se tiene de esta emisión de luz al ser humano, al estar en un rango de frecuencia de los 470 a los 480 nm debido al color característico de este intervalo de longitud de onda y que es propia de la bioluminiscencia.

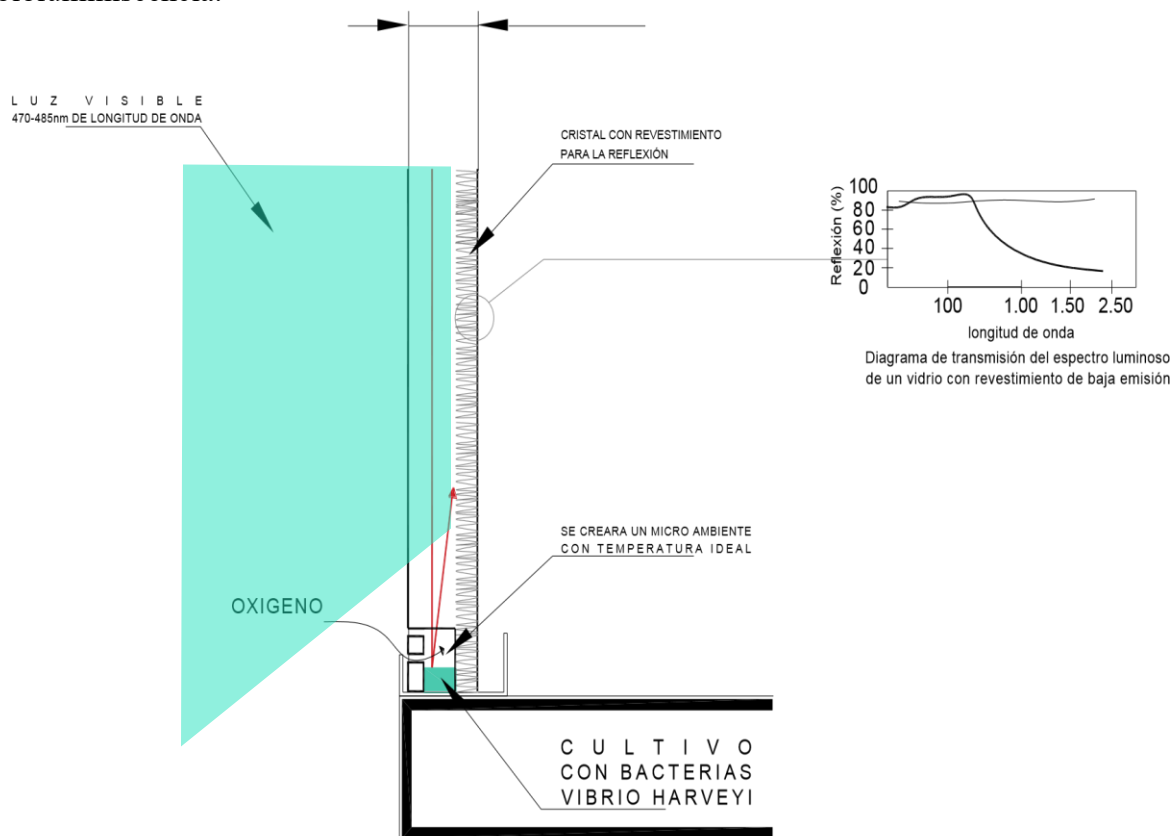
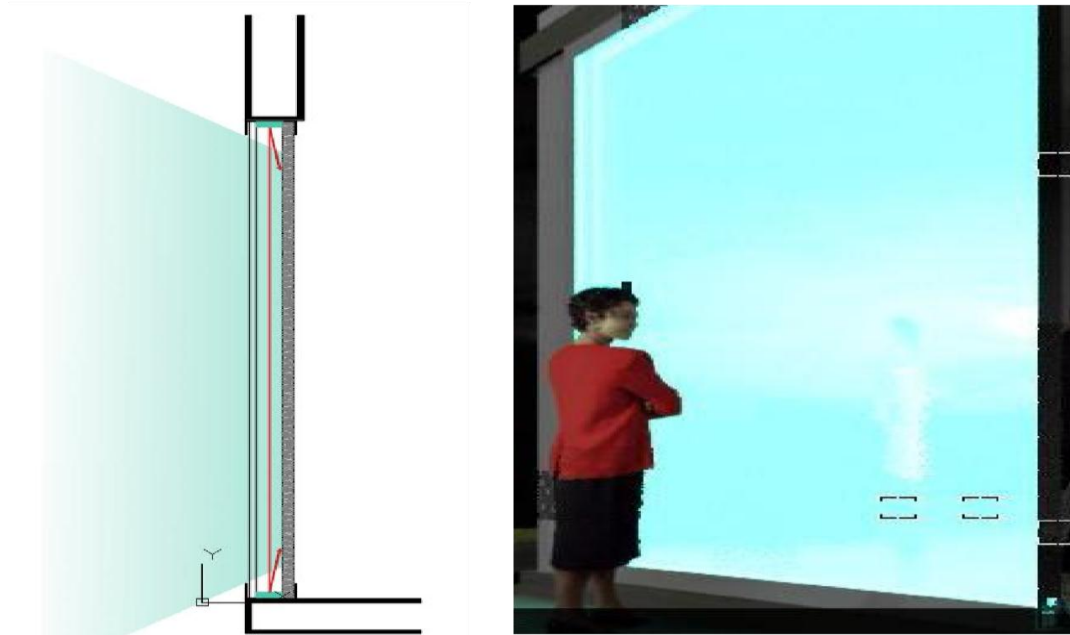


Ilustración 85 modelo de elemento con auto iluminación

Fuente: Autor Pedro Saldaña

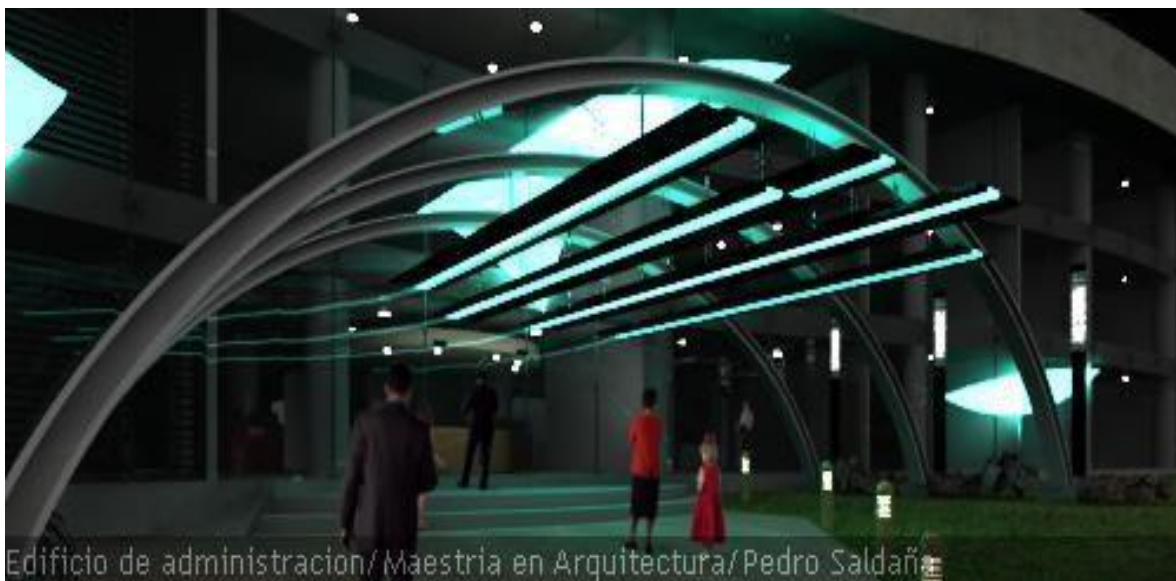
Por la intensidad no se remplazará todo tipo de iluminación eléctrica, por eso es una alternativa y no una solución radical.



*Ilustración 86 Representación virtual del modelo con auto iluminación*

*Fuente: Autor Pedro Saldaña*

Lo interesante es que sería fácil de hacer; será barato, porque una vez que se tiene la bacteria en cultivo, los costos de manutención son reducidos, y no se necesita instrumental de alto costo.



*Edificio de administración/ Maestría en Arquitectura/Pedro Saldaña*

*Ilustración 87 materialización de la bioluminiscencia en la arquitectura*

*Fuente: Autor: Pedro Saldaña*

## Conclusiones

La implicación de una conclusión en una investigación de posgrado, abarca mínimo las respuestas claras y directas a las interrogantes que dieron origen a la hipótesis así como los resultados de la misma, basándose en argumentos y evidencias.

La historia nos ha mostrado que la iluminación en la arquitectura tiende en una curva evolutiva a mejorar y crear nuevas tecnologías. Siendo la mayoría de los materiales o tecnologías creados por la necesidad de resolver distintos problemas en las disciplinas de la arquitectura, tristemente, los arquitectos utilizamos la iluminación desconociendo las grandes implicaciones y afectaciones que tiene el uso de la esta misma basada en consumo eléctrico.

La Biomimesis nos ha mostrado como se puede mejorar la vida del ser humano, tomando la solución de la naturaleza y aplicándola a la arquitectura. Debemos aprovechar esta ciencia para evolucionar la arquitectura y aportar a la solución de problemas ambientales que el ser humano ha hecho durante cientos de años.

La tecnología actual, permite crear soluciones aplicadas a la arquitectura, tomando como base la Biomimesis para fusionar la solución de la naturaleza con el avance tecnológico tanto en materiales como en sistemas constructivos.

Las investigaciones realizadas en el campo de la Biomimesis tienen como objetivo contribuir con el mejoramiento del medio ambiente o evitar que se siga aportando a deterioro del mismo por efectos del ser humano. Lamentablemente el arquitecto como profesionista no ésta acostumbrado al trabajo científico, siendo una razón por la cual otros profesionales los que toman la batuta en la investigación de nuevas soluciones o conocimientos que interesan a la arquitectura.

La bioluminiscencia nos muestra que es un proceso el cual podría utilizarse en una nueva tecnología o material de construcción para poder iluminar las envolventes arquitectónicas, no obstante, solo en ellas, sino también en algún punto utilizarla como iluminación ambiental en el interior de los espacios arquitectónicos.

En un futuro, cuando la arquitectura se edificada en ciudades que se construyan no solo sobre la superficie terrestre, sino también bajo del mar, en ciudades que orbiten sobre la tierra o incluso en la superficie del suelo de Marte o sobre la superficie lunar en donde no se cuente con combustibles fósiles o energías eólicas u otras que generen energía eléctrica, la bioluminiscencia será la alternativa a la iluminación de la arquitectura.

Con la investigación hemos de notar que es posible tomar la solución de la naturaleza y aplicarla e imitarla utilizando la bioluminiscencia como una alternativa de iluminación, esto es debido a su intensidad, por ello no es una solución radical. Se espera que, con el

avance de las investigaciones pueda manipularse para obtener la intensidad necesaria para actividades específicas del ser humano.

La bioluminiscencia de las bacterias es la que nos da mejor resultado de manejo, gracias a que ellas son resistentes, fáciles de manejar y manipular. Aún queda por resolver si tendrían alguna afectación al ser humano.

Se puede concluir que si es factible el uso y la materialización de la bioluminiscencia para ser una alternativa de iluminación en las envolventes arquitectónicas. Lo conveniente es buscar materializarse en una Biopelícula que se adapte a la superficie y forma de cualquier fachada.

El enfoque prospectivo ha sido un motor esencial en el desarrollo de la tecnología. Volar como las aves, tener un confort de habitad como las termitas, entre otros ejemplos, han sido sueños que llevan al hombre a lograr el avance de su conocimiento y de su tecnología. El autoiluminarnos como los seres bioluminiscentes no es tan lejano e imposible como suena.

Este enfoque prospectivo es necesario en una arquitectura que ve al futuro en su sociedad, con la esperanza de utilizar la técnica como herramienta, siguiendo un sueño que persigue un ideal humano de mejorar y contribuir el medio ambiente con bases científicas.

El arquitecto de manera inconsciente utiliza la prospectiva, en la etapa de diseño, se sueña con un edificio que responde a una serie de necesidades e ideales, siguiendo los pasos necesarios para construirlo y verlo de pie. Con esto cabe mencionar que es un deber retomar este enfoque en nuestra formación no solo para edificar sino para dar soluciones que contribuyan al medio ambiente, así romper con la cadena de problemáticas que se generan a partir de deterioro ambiental, investigando multidisciplinariamente y con un rigor científico.

La arquitectura y los arquitectos no deben dejar a un lado la responsabilidad con la investigación científica, es necesario aunar los conocimientos generales a conocimientos particulares, que formen profesionales con compromiso estricto con la ciencia.



## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Allianz arena.....	14
Ilustración 2 BBI Tower .....	14
Ilustración 3 Gherkin tower .....	14
Ilustración 4 Palacio de Hierro Monterrey .....	14
Ilustración 5 Palacio de Hierro .....	16
Ilustración 6 Calentamiento global .....	21
Ilustración 7 Afectaciones a la salud .....	21
Ilustración 8 Los estudios de Leonardo da Vinci en el vuelo de las aves. ....	27
Ilustración 9 Leonardo da Vinci: bocetos que investigan el solapamiento de las plumas y el flujo de aire a través de las alas del pájaro .....	28
Ilustración 10 Eastgate Center .....	29
Ilustración 11 Máximos exponentes de la Biomímesis .....	30
Ilustración 12 Esquema de las categorías de la naturaleza .....	32
Ilustración 13 Enfoque comparativo de transferencia biomimética .....	33
Ilustración 14 Termitero .....	35
Ilustración 15 Gaviota y sistema Multi-winglet .....	36
Ilustración 16 GECKO .....	37
Ilustración 17 Científico Andres Geim.....	38
Ilustración 18 Condiciones y ubicación geográfica del colibrí .....	39
Ilustración 19 Colibrí cola violeta .....	40
Ilustración 20 Ángulo Solar y vista del observador.....	40
Ilustración 21 Interfaz piel y sistema interno .....	41
Ilustración 22 Ubicación del pabellón "el Panquecillo" .....	41
Ilustración 23 Pabellón el panecillo Quito.....	42
Ilustración 24 Detalle del principio de refracción .....	42
Ilustración 25 Detalle de la refracción.....	43
Ilustración 26 Representación virtual del panel.....	43
Ilustración 27 Refracción del Panel "el Panquecillo" .....	44
Ilustración 28 Desarrollo de una nueva pala de aerogenerador .....	47
Ilustración 29 Inspiración de la naturaleza .....	48
Ilustración 30 Shinkansens serie 500.....	49
Ilustración 31 Estructura de intercambio de gases .....	50
Ilustración 32 Refrigeración en el centro Eastgate .....	51
Ilustración 33 Bio- diseño de F. Lodato .....	54
Ilustración 34 Espiral de diseño.....	55
Ilustración 35 Esquema Simplificado del proceso TRIZ.....	61
Ilustración 36 Esquema del proceso UP-Bottom.....	62
Ilustración 37 Esquema de proceso Bottom-Up .....	63
Ilustración 38 Lux.....	67
Ilustración 39 Frecuencias de luz visible.....	70
Ilustración 40 Luz visible al ojo humano .....	71
Ilustración 41 Color de la longitud de onda visible al ojo humano .....	79
Ilustración 42 Luciferina.....	80



Ilustración 43	Proceso de oxidación.....	80
Ilustración 44	Oxidación.....	80
Ilustración 45	Producción de fotones .....	80
Ilustración 46	Oxiluciferina.....	81
Ilustración 47	Emisión de luz por bioluminiscencia.....	83
Ilustración 48	Foto satelital "Sea Milk".....	85
Ilustración 49	Foto satelital "Sea Milk".....	85
Ilustración 50	Árbol filogenético de animales.....	86
Ilustración 51	Rngo de frecuencia de la bioluminiscencia .....	88
Ilustración 52	El gusano de las Bermudas, Danza en el mar.....	90
Ilustración 53	Ctenóforo a la luz del día.....	91
Ilustración 54	Luciferina del dinoflagelado y reacción del producto .....	93
Ilustración 55	Bioluminiscencia bacteriana.....	93
Ilustración 56	Diagrama transmisión de la luz .....	98
Ilustración 57	Diagrama resistencia del vidrio .....	100
Ilustración 58	Pabellón Le Prisme.....	103
Ilustración 59	Detalle de bloque pidamiral.....	104
Ilustración 60	Maqueta de Le Prisme .....	104
Ilustración 61	Museum of Art.....	105
Ilustración 62	Nelson-Atkins Museum of Art .....	106
Ilustración 63	Museum of Art.....	106
Ilustración 64	Fachada con iluminación .....	107
Ilustración 65	Esbozos del concepto de iluminación.....	107
Ilustración 66	Pantalla del Plantation Lane .....	108
Ilustración 67	Pantalla Plantation Lane. ....	108
Ilustración 68	Pantalla Plantation Lane .....	109
Ilustración 69	Sección de la pantalla. ....	110
Ilustración 70	Propuesta de cristal con bioluminiscencia.....	112
Ilustración 71	Propuesta de cristal con bioluminiscencia.....	112
Ilustración 72	Materialización de la bioluminiscencia en la arquitectura.....	125
Ilustración 73	Mapa laguna de Manialtepec .....	113
Ilustración 74	Collage del muestreo en sitio.....	114
Ilustración 75	Crecimiento bacteriano .....	117
Ilustración 76	Siembra en caja de agar TCBS .....	117
Ilustración 77	Colonias bacterianas.....	118
Ilustración 78	Medio de cultivo BOSS).....	119
Ilustración 79	Microorganismos .....	120
Ilustración 80	Proceso de experimentación .....	121
Ilustración 81	Proceso de experimentación .....	121
Ilustración 82	Proceso de experimentación .....	122
Ilustración 83	Cultivo liquido de Vibrio h.....	122
Ilustración 84	Cultivo en medio marino .....	123
Ilustración 85	Placa petri con colonia de Vibrio h. con bioluminiscencia .....	123
Ilustración 86	Modelo de elemento con auto iluminación.....	124
Ilustración 87	Representación virtual del modelo con auto iluminación .....	125

## Bibliografía

Adames R. P., Segura J. A., Gómez D. P. (2014). “Fabricación y caracterización de películas delgadas.” Ingeniería y ciencia. Vol. 10 No. 20.

Álvarez Carlín L. E. (2014) Biomímesis en Arquitectura. Tesis. Boca del Rio: Universidad Villa Rica.

Angela Bernardo. Biomímesis: cuando la tecnología se inspira en animales.

<http://blogthinkbig.com/biomimesis-tecnologia-animales/> [consulta: Marzo de 2016]

Briz A., Bautista L. (2006) “Europio: Naturaleza, luminiscencia y aplicaciones” Investigación Química. [www.rseq.org](http://www.rseq.org)

Bukvetskii B. V., Shishov A. S. (2016). “Triboluminescence and crystal structure of the centrosymmetric complex” The journal of Biological and chemical Luminiscence. [Wileyonlinelibrary.com/journal/luminiscence](http://Wileyonlinelibrary.com/journal/luminiscence).

Cabriales Gómez R. C. (2004). “Luminiscencia en polímeros semiconductores” Ingenierías, Vol. VII No. 23.

Cabriales Gómez R. C. (2013). Elaboración y caracterización optoelectrónica de películas delgadas de polímeros semiconductores. Tesis. Nuevo León.: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Charles D., Traducción Mateos J. (2000). Diario del Viaje de un naturista alrededor del mundo. (en el navío de S. M., <<Beagle>>). Elaleph.

Fernández del Castillo de la Choncha A.(2012). Certificación de materiales de construcción con principios aplicados de Biomimética. Tesis. D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Gruber P. (2011). Biomimetics in Architecture. Architecture of life and buildings. NewYork: Springer.

Gruber P., Hellmich C., Dietmar B. (). Biomimetics-Materials, Structures and Processes: Examples, ideas and Case Studies.Tennessee:Springer.

Iluminet. Fachada del Palacio de Hierro Monterrey. <http://iluminet.com/fachada-delpalacio-de-hierro-monterrey/> [consulta: Noviembre de 2015]

Iluminet. Luz viva, un concepto de bioluminiscencia. <http://iluminet.com/luz-viva/> [consulta: Septiembre de 2015]

LeDuff P., Roesijadi G. (2015). "Micro-photoluminescence of single living diatom cells" The journal of Biological and chemical Luminescence. Wileyonlinelibrary.com/journal/luminescence.

Mazzoleni I., Prince S., (2013). Architecture follows nature : biomimetic principles for innovative design. Boca Raton: CRC Press.

Miguel M. Bioluminiscencia: linterna natural.  
<http://www.batanga.com/curiosidades/2011/10/20/bioluminiscencia-linterna-natural>  
[consulta: : Marzo de 2016]

Ovalle Pérez S. (2012). Síntesis y determinación de propiedades luminiscentes de complejos de  $\text{In(III)}$  con receptores del tipo 2h-indazol y polioxaza para su potencial uso como emisores electroluminiscentes. Tesis. Nuevo León.: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Pardhi S. A., Panse V. R. (2016). "luminescence in  $\text{Ba}_2\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{O}_7$ : novel aluminate phosphors" The journal of Biological and chemical Luminescence. Wileyonlinelibrary.com/journal/luminescence.

Redes. Innovar copiando a la naturaleza. 2/2. Youtube  
<<https://www.youtube.com/watch?v=e7GVib94zCw>> [consulta: Marzo de 2016]

Rocha Rangel E., Rodríguez García J. A., López Hernández J. (2012). "Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza" Investigación y ciencia, Numero 54.

Thérese Wilson J. (2013). Bioluminescence Living lights, lights for living. USA: Harvard University Press.

Benyus, J. (s.f.).

Carlín, L. E. (Abril de 2014). Biomimesis en Arquitectuta. Boca del Rio, Veracruz, Mexico.

CFE Comisión Federal de Electricidad. (10 de 11 de 2014). Recuperado el 11 de 08 de 2015, de  
[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx)

Darwin, C. (2000). *Diario del viaje de un naturalista al rededor del mundo*. elaleph.com.

Descottes, H. (2011). *Architectural lighting*. New York: Becca Casbon.

Forníés, I. L. (2012). *Modelo metodológico de*. Zaragoza: Universidad Zaragoza.

Gruber P., H. C. (s.f.). *Biomimetics-Materials, Structures and Processes: Examples*. Tennessee:Springer: ideas and Case Studies.

Gruber, P. (2011). *Biomimetics in Architecture. Architecture of life and buildings*. NewYork: Springer.

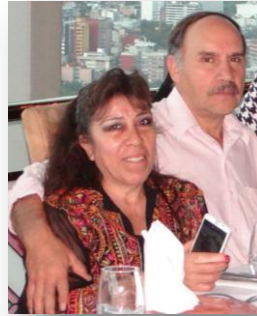
- Guallart, V. (2008). *GEO LOGICS, GEOGRAFÍA INFORMACIÓN ARQUITECTURA*. U.S.A.: ACTAR.
- Institute, B. (4 de Noviembre de 2015). *Biomimicry Institute*. Obtenido de <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/#.WaxVGPnhCUk> Kaltenbach, F. (2004). *Materiales Translucidos*. Múnich.
- Mazzoleni, I. (2013). *ARCHITECTURE FOLLOWS NATURE, Biomimetis principles for innovative design*. Londres: editorial CRC press.
- Oaxaca Mio. (s.f.). Obtenido de <http://www.oaxacamio.com/puertoescondido/lagunademanialtepec.htm>
- Ocampo Ruiz, E. (1999). *Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos*. Distrito Federal: UNAM.
- Posada, Á. (s.f.). *Osamu Shimomura y la medusa de cristal*. Swafford.
- Todo sobre ciencia*. (2002). Obtenido de <http://www.allaboutsscience.org/spanish/teoria-dela-evolucion-de-darwin.htm>
- Zorrila, S. S. (23 de Octubre de 2015). *univision.com*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2015, de <http://www.univision.com/noticias/huracan-patricia/huracan-patriciagolpea-tambien-economia-de-mexico>



En especial a **Vladimir Pedro**, por ser el regalo más hermoso que la vida me ha dado, motivándome día a día.

A **Rubí García**, con todo mi amor, respeto y admiración que siempre te tendré.

A mis padres, **Aurora Solis y Pedro Saldaña**, por su amor, apoyo y comprensión en todo lo que hago, para ellos con todo mi amor.



A la **Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Aragón**, agradeciéndole la formación que me ha brindado.



A mis **profesores**, por su apoyo y por compartir sus conocimientos, siempre mi respeto, cariño y admiración en singular a **Darla A. Torres**.