

**VIOLETA ÁLVAREZ GRANADOS  
ERICK RODRIGO ÁVILA MONTAÑO**

Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma de Querétaro

violeta.alvarez@uaq.edu.mx  
(442) 386 78 47

Centro de Diseño e Innovación  
Tecnológica (CEDIT)

01

# **MATERIAL DESCONTAMINANTE: DISEÑO DE MÓDULO FOTOCATÁLICO**

**DECONTAMINATING MATERIAL: A PHOTOCATALYTIC MODULE DESIGN**

## RESUMEN

Los materiales del diseño permiten establecer requerimientos y delimitar alcances, pero cuando se usan en el diseño como palanca para impulsarlo, el resultado puede trascender al campo tipológico. Por medio de una metodología experimental de cuatro fases, el presente artículo tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos cuando la nanotecnología y el diseño trabajan en conjunto. En cuanto a esto, se diseñó un módulo ensamblable que al estar en contacto con el medio ambiente es capaz de purificar el aire y el agua. Se utilizó la Rodamina B como indicador de contaminación orgánica, lo que mostró una mayor efectividad descontaminante en las muestras con relieve.

**Palabras clave:** diseño de producto, diseño impulsado por el material, diseño descontaminante, fotocatalisis, nanotecnología

## ABSTRACT

Materials involved in the design process allow to establish requirements and delimit scopes, but when they are used as a lever to promote it, the result can transcend to the typological field.

Through an experimental methodology of four phases, the present paper aims to show the results obtained when nanotechnology and design work together. An assemblable module that, when in contact with the environment, is capable of purifying air and water, was designed. Rhodamine B was used as an indicator of organic contamination, showing greater decontaminating effectiveness in samples with relief.

**Keywords:** material driven design, nanotechnology, photocatalysis, product design, purifying design

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental y sus diferentes vías de desarrollo apuntan a ser la clave y el origen de problemas de salud graves en la población a nivel mundial, los cuales llegan a detonar en la mortalidad (Retama, 2016). De acuerdo con estos problemas ambientales a los que la sociedad se enfrenta hoy en día, resulta pertinente desarrollar soluciones que no sólo permitan reducir este impacto, sino que se adapten progresivamente al desarrollo urbano, sin sacrificar la naturaleza

del medio ambiente. Por ende, es imprescindible tomar en cuenta nuevos paradigmas de sustentabilidad que están mejorando el desempeño de diversas áreas de la industria.

La ciencia, la tecnología y su aplicación en distintas áreas del conocimiento se presentan en la sociedad como factor influyente que permite el avance de las fuerzas productivas. Ante ello, la nanotecnología es uno de los pilares que impulsan el desarrollo, pues explora la materia desde una nueva perspectiva: a escala molecular, identificando distintos materiales que proponen soluciones a las problemáticas ambientales (Núñez, 2006). Al respecto, los fotocatalizadores, en especial el dióxido de titanio, han tomado gran importancia en los procesos de tratamiento de aguas y purificación ambiental (Adawiya, 2017).

## Los materiales como precursores en el proceso de diseño

Cuando hablamos de diseño, hablamos de funcionalidad, utilidad, necesidad, uso, diferenciación y, por supuesto, también de belleza. (Sobejano, 2011). El diseño es esencial para generar propuestas de valor en las empresas y en los productos. Por medio de métodos particulares, cada proceso de diseño se adapta a las demandas específicas de cada proyecto (Schønheyder y Nordby, 2018). Así mismo, en cada uno de estos distintos motores se impulsa al diseño para crear propuestas innovadoras.

En el 2011, Rampino propuso la pirámide del diseño, en la cual establece tres motores: a) la forma, b) la tecnología y c) el modo de uso. Ya sea que la tecnología se incorpore al proceso de manufactura o al producto por sí misma, es un elemento externo por el que se establecen los requerimientos que el diseñador más tarde deberá explotar (Rampino, 2011). Cuando la forma, el modo de uso y la tecnología se usan como precursores, el desarrollo de un producto cambia en estética, uso y significado, rompiendo con los modelos y representaciones colectivas, dando paso a la generación de nuevos arquetipos que ayudan a definir de manera formal los productos en un nivel semántico (Serrano, 2012).

Por su parte, los materiales han sido el centro de investigación de los productos por décadas (Ashby, 2009). Biomateriales, materiales inteligentes y materiales reciclados son sólo una muestra de las investigaciones en torno a los materiales y sus novedades (Karana, Blauwhoff, Hultink y Camere, 2018).

Manzini (1989) menciona que anterior y únicamente los materiales eran caracterizados por su

funcionalidad, dejando de lado que sus propiedades, sus aplicaciones potenciales y rendimientos afectan a las personas y su perspectiva de los productos (Karana, Barati, Rognoli y Zeeuw van der Laan, 2015). Sin embargo, los materiales pueden adquirir propiedades y significados intangibles.

Cuando se lanzó al mercado por primera vez el plástico, era considerado un material barato y de baja calidad por no brindar el brillo, el peso y la dureza del metal y la porcelana en ese momento (Walker, 1989). Por tal motivo, comenzaron a copiar las texturas de la madera y el mármol para que, a través de la imitación de materiales, el plástico fuera aceptado en el mercado (Dormer, 1990). Por mencionar un caso, en los años 50, Tupperware lanzó al mercado sus productos de plástico bajo una nueva propuesta: un material flexible, ligero y suave al tacto, y fue entonces cuando el plástico comenzó a relacionarse con la modernidad, dejando a un lado la baja calidad (Clemenshaw, 1989). Es así que la dualidad del material radica en que es necesario conocer sus propiedades físicas para asignar su función. Cabe mencionar que la apreciación del usuario hacia ese material determinará su éxito comercial (As-hby, 2009; Karana, 2014)

Por esta dualidad, el desarrollo de nuevos materiales debe ser estudiando por medio de la multidisciplinaria y, con ello, satisfacer las necesidades funcionales, así como las necesidades hedónicas en la relación usuario-producto (Hassenzahl, 2010).

## Nanotecnología y diseño

Un material puede ser estudiado por lo que es, lo que hace, lo que expresa, lo que provoca y lo que permite hacer (Karana, Barati, Rognoli y Zeeuw van der Laan, 2015). Mientras que el diseño es una disciplina en constante evolución, hoy en día, los retos del nuevo milenio se centran en varias áreas de investigación, donde todas las fases del proceso son importantes, desde la planificación hasta el cierre del proyecto.

El objetivo es generar soluciones inteligentes, con aportes tipológicos, integrando tecnologías y sistemas inteligentes que permitan la interacción entre producto, usuarios y entorno. Los requerimientos del diseño para el nuevo milenio se centran en formas, envolturas, sistemas, con el fin de proporcionar un uso eficiente de los recursos naturales y un entorno accesible, seguro, cómodo y saludable, capaz de mejorar la vida de las

personas involucradas. Cabe señalar que estas soluciones buscan brindar un mejor rendimiento comparado con las soluciones tradicionales, pero que, al mismo tiempo, cumplan con las nuevas funciones que el mundo contemporáneo demanda como la generación de energía, emisiones de luz, purificación de aire o superficies autodescontaminantes (Casini, 2016).

Ante ello, la nanotecnología ha sido un importante complemento de la evolución de la ciencia, ya que gracias a los avances del estudio microscópico se han descubierto enigmas médicos y resuelto problemas "Micro" con consecuencias "Macro" (Definista, 2019). La nanotecnología juega un papel crucial en los objetivos del diseño, pues los materiales inteligentes se presentan como una gran oportunidad para brindar soluciones acordes a problemáticas actuales. Por la habilidad de los materiales de cambio de fase para modificar sus características en relación con las diferentes condiciones climáticas, los cromáticos, los fotocatalíticos y los fotovoltaicos orgánicos se han posicionado como grandes avances tecnológicos entre la nanotecnología y el diseño (Casini, 2016).

## Materiales fotocatalíticos

La fotocatalisis parte del principio natural de descontaminación de la propia naturaleza (Byrne, 2017). De acuerdo con la Asociación Ibérica de la Fotocatalisis, al igual que la fotosíntesis que gracias a la luz solar es capaz de eliminar  $\text{CO}_2$  para generar materia orgánica, la fotocatalisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera como óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), monóxido de carbono (CO), metil mercaptano, formaldehído, compuestos orgánicos clorados o compuestos poliaromáticos, mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar como se observa en la Figura 1 (Asociación Ibérica de la Fotocatalisis, 2018).

Las tecnologías de oxidación avanzada (AOT, por su abreviatura en inglés) están ganando atención como una metodología efectiva de tratamiento de aguas residuales por su capacidad de degradar un amplio espectro de contaminantes orgánicos y microorganismos (Byrne, 2017). En referencia a esto, la fotocatalisis se puede considerar como una de las AOT más prometedoras, debido a sus ventajas específicas como las condiciones de reacción blanda, la posibilidad

de utilizar oxígeno molecular como especie oxidante, y la mineralización total de contaminantes en sustancias inocuas para el medio ambiente. (Adawiya, 2017).



**Figura 1.** Fotocatálisis heterogénea.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la Asociación Ibérica de la Fotocatálisis (2018)

A pesar de investigaciones recientes sobre otros fotocatalizadores como son ZnO, ZnS, compositor Semiconductor-Grafeno, perovskitas, MoS<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) sigue siendo el fotocatalizador más popular por su bajo costo, no toxicidad y alta capacidad oxidante (Byrne, 2017).

Para descontaminar la materia orgánica, el TiO<sub>2</sub> produce radicales (OH) al estar en contacto con la luz ultravioleta, cumpliendo así su función de catalizador, ya que aumenta la velocidad de reacción sin alterar el equilibrio (Papamija, 2010).

En consecuencia, uno de los retos principales para desarrollar módulos descontaminantes radica en encontrar soluciones durables que ayuden a reducir las acciones de mantenimiento. El dióxido de titanio es considerado un método innovador, por ello, ha sido empleado en diferentes investigaciones mostrando su efectividad para evitar el ensuciamiento de piezas cerámicas, reconociéndole su naturaleza orgánica. Dentro de las características que favorecen el uso de este fotocatalizador sobre otras opciones, está su capacidad de adherencia, resistencia a altas temperaturas, así como a la erosión (Correa, 2013).

### Fotocatálisis en el diseño

La selección de materiales juega un papel importante en el proceso de diseño (Doordan, 2003),

ya que determina el alcance en términos de función, durabilidad, costos, retroalimentación y la experiencia de uso. Cuando las personas interactúan con un producto, es decir, están en contacto con los materiales, sus sentidos se activan, ven colores, perciben texturas y pesos, incluso, escuchan el sonido que surge de esta interacción. La percepción sensorial contribuye a la usabilidad (Hekkert, 2006), ayuda a definir los requerimientos del producto y delimitar alcances por medio de las propiedades técnicas (Van Kesteren, 2007).

Al respecto, con una estructura envuelta en una piel ramificada, la firma italiana Nemesi & Partners diseñó el pabellón italiano en la Expo Milán 2015 (Figura 2). Su estructura fue construida con 900 paneles de cemento biodinámico, cuyo nombre resume las propiedades fotocatalíticas del material, aportadas por el principio activo "Tx Active", el cual captura los contaminantes del aire, convirtiéndolos en sales inertes, y está patentando por la empresa Italcementi-HeidelbergCement (FYM-HeidelbergCement Group, 2017). Por otra parte, el 80% de la fachada de casi 100 mil metros cuadrados está hecha de material reciclado y de alrededor de 2.200 toneladas de cemento. En el techo del pabellón, se encuentran celdas solares, las cuales generan energía durante el día (Noack, 2015).

En México, un ejemplo de fachada purificante es la del Hospital General "Dr. Manuel Gea González", ubicado en la Av. Tlalpan, al sur de la Ciudad de México (véase Figura 2). Este hospital cuenta con una fachada fotocatalítica que aprovecha de forma estratégica su posición para captar una enorme cantidad de contaminantes nocivos para la salud, eliminándolos y neutralizando el aire circundante.

La firma alemana Elegant Embellishments Limited fue la encargada de diseñar los módulos, los cuales están cubiertos con una delgada capa de TiO<sub>2</sub> mezclado con distintos materiales a los cuales llamaron "prosolve370e". Además del aporte estético que brindan los módulos a la fachada del hospital, sus formas inspiradas en fractales permiten maximizar el contacto del aire con la superficie, reduciendo de manera eficiente la contaminación del aire provocada por el smog (Elegant Embellishments Limited, 2019).

El diseñador alemán Daniel Swaag, fundador de Elegant Embellishments, fue el encargado de esta estructura. Swaag explica que la forma en general de sus módulos está basada en una estructura cuasicristalina no repetitiva, que intenta

optimizar la mayor cantidad de flujo de aire a través de ellos, además del tiempo de exposición de la luz solar en todo el día para elevar su eficiencia (Figura 2).



**Figura 2.** De izquierda a derecha: Pabellón de Italia, Expo Milán 2015, y Hospital General "Dr. Manuel Gea González".  
Fuente: Página Web (<http://www.opengap.net/noticias/-pabelln-italia-expo-miln-2015/226/> y [http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015\\_215.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_215.html))

## METODOLOGÍA

Con el objetivo de aprovechar las propiedades del  $\text{TiO}_2$  sobre la superficie porosa de un material cerámico, se diseñó una metodología experimental de cuatro fases: 1) Caracterización, 2) Pruebas de desempeño, 3) Diseño de módulo y 4) Validación (véase Figura 3).

De la misma forma, se diseñó una pared modular con propiedad purificante activada por medio de la fotocatalisis heterogénea. Se utilizó loza comercial para los módulos, debido a su versatilidad, bajo coeficiente de dilatación térmica al exponerse a exteriores y bajo costo.

### Caracterización

La caracterización permite conocer el material, definir la tecnología y, con ello, establecer requerimientos de diseño. Con esto podemos determi-

nar que el  $\text{TiO}_2$  es un fotocatalizador que actúa en presencia de luz ultravioleta, ya sea inducida o proveniente de la luz solar. Además, necesita soportarse a una superficie que evite su disolución y pérdida en la fase acuosa. En la Figura 4, se señalan las características, propiedades, así como algunas de sus principales aplicaciones.

De acuerdo con los requerimientos tecnológicos, el módulo debe:

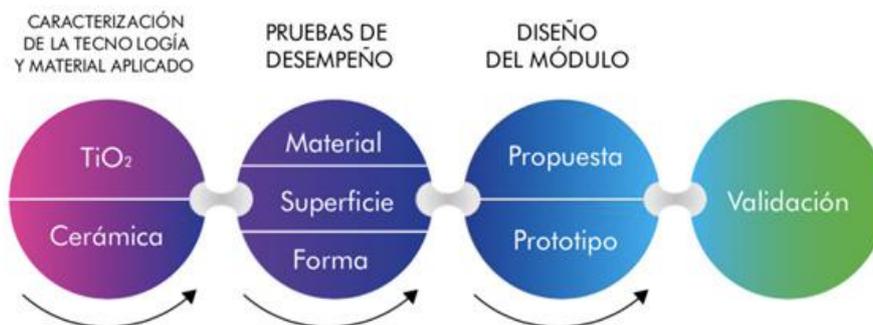
- Soportar en su superficie el  $\text{TiO}_2$  aplicado
- Lograr captar la mayor cantidad de luz solar
- Aprovechar al máximo el flujo de agua sobre la extensión de  $\text{TiO}_2$
- Aprovechar el flujo de aire sobre su superficie

De acuerdo con los requerimientos de uso, el módulo debe:

- Ser una pieza de autoensamble
- Ser manipulable de forma fácil por el usuario
- Ser una pieza adaptable a proyectos arquitectónicos
- Considerar su instalación de flujo de agua
- Ser adaptable a espacios en la intemperie

### Pruebas de desempeño del material

Como se mencionó anteriormente, se utilizó material cerámico comercial para loza blanca. Se eligió por su versatilidad de moldeo para explorar diferentes formas y topografías que no ofrecen otros materiales, su dureza y su superficie porosa que tiene la capacidad de retener parcialmente el  $\text{TiO}_2$ .



**Figura 3.** Metodología lineal de cuatro fases

## DIÓXIDO DE TITANIO (TiO<sub>2</sub>)

El óxido titánico es un óxido metálico formado por:  
1 átomo de titanio + 2 átomos de oxígeno.



### Características:

El óxido de titanio (IV) es un polvo cristalino de color blanco que es muy frecuente y abundante en el planeta Tierra cuya fórmula química es (TiO<sub>2</sub>).

El titanio es un metal que se halla muy difundido en la corteza terrestre, de hecho es uno de los más abundantes y que presenta numerosas aplicaciones técnicas debido a su resistencia a la corrosión y a su ligereza.

### Propiedades

Las principales propiedades del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) son:

- Densidad: 4,2 g/cm<sup>3</sup>.
- Masa molar: 79,86 g/mol.
- Punto de fusión: 1830 °C.
- Punto de ebullición: 2500 °C.
- Usos del dióxido de titanio

**Nomenclatura sistemática:** dióxido de titanio

**Nomenclatura stock:** óxido de titanio (IV)

**Nomenclatura tradicional:** óxido titánico

**Tipo de compuesto:** óxido metálico (metal + oxígeno)

### Serie trimórfica del dióxido de titanio.

Las tres especies de minerales que forma el dióxido de titanio TiO<sub>2</sub> son: rutilo, anatasa y brookita.

Por su naturaleza, el rutilo se utiliza principalmente en desarrollo de soldaduras, pigmentos, catalizadores y joyería. Mientras que la anatasa se sintetiza para su uso en tecnología de células fotovoltaicas. La brookita tiene importancia en tecnología fotovoltaica y como catalizador, por lo que se la sintetiza para su aplicación industrial.

### Entre las principales aplicaciones del óxido de titanio (IV) se encuentran:

- Industria cosmética.
- Agente blanqueador.
- Industria farmacéutica.
- Industria de la cerámica.
- Producción de pinturas y plásticos.

Figura 4. Características del dióxido de titanio. Fuentes: gpsmineral.com y formulacionquimica.com

Para aumentar la capacidad de retención de TiO<sub>2</sub> se realizaron pruebas de porosidad, experimentando con diferentes cantidades de serrín como aditivo quemante en la pasta cerámica.

El objetivo de la evaluación de material cerámico, factor importante en contrato del TiO<sub>2</sub>, fue identificar el mejor soporte de adherencia y el mayor desempeño purificante. El primer paso antes de comenzar esta evaluación fue preparar las muestras de distintas porosidades. Para ello, se mezclaron en diferentes cantidades pasta y aserrín (como quemante que se calcina en la sinterización y deja el poro). Se necesitó un molde de yeso cuadrado para obtener una superficie de prueba y, con éste, los respectivos vaciados de diferentes recetas de pasta. Posteriormente se realizó el sinterizado en un taller cerámico local por medio de horno, a temperatura normal de 1050 °C.

Se obtuvieron tres muestras (M1, M2, M3) de cada pasta (N, P1, P2), a excepción de la última mezcla (P3) para la que sólo se tuvo una muestra. En la Tabla 1 se aprecia la concentración de pasta y aserrín.

Tabla 1. Muestreo de las pastas aplicadas

Muestra	Pasta cerámica (cm <sup>3</sup> )	Aserrín (cm <sup>3</sup> )	Concentración de aserrín (%)
N	200	0	0
P1	180	20	10
P2	160	40	20
P3	150	50	25

Cada una de las tres muestras presenta una concentración diferente de pasta y aserrín. A mayor proporción de pasta, menor proporción de aserrín. Las concentraciones de aserrín se variaron de manera progresiva.

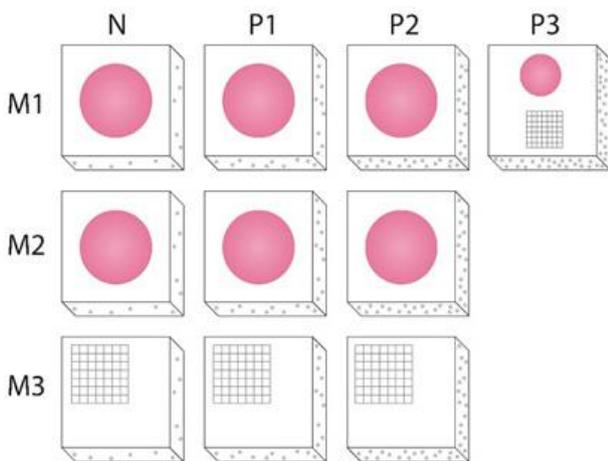
Al tener las muestras sinterizadas, se les agregó a las superficies el dióxido de titanio para ser expuesto a la intemperie y, después de determinado el tiempo, se analizó su capacidad purificante aplicando una solución de Rojo de metilo como indicador contaminante con una concentración de 50 ppm.

Las piezas sinterizadas se separaron como se muestra en la Figura 5. En las primeras muestras, M1 y M2, se analizó el desempeño fotocatalizante del dióxido de titanio, exponiéndolas por 8 horas a la luz solar. Las muestras M3 se separaron



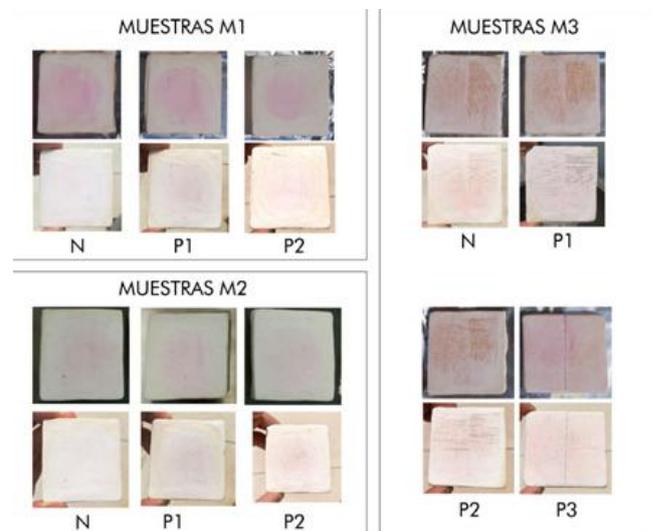
**Figura 5.** Aplicación de dióxido de titanio sobre las piezas muestra

para practicarles la prueba de adherencia. Y ya que de la muestra P3 sólo se contaba con una pieza, ambos procesos se realizaron dividiendo el área disponible en dos partes.



**Figura 6.** Separación de muestras cerámicas

A continuación, se contrastan las muestras en su color más concentrado y su resultado al final de la exposición al sol (Figura 6). De acuerdo con lo anterior, la superficie con mejores resultados es la de las muestras N, las cuales no contienen aserrín y su porosidad es normal. Se puede interpretar que mientras más abierto estaba el poro de la superficie, el dióxido de titanio se introducía más hacia el cuerpo de la pieza y, por ello, la pieza P3 al final mostró mayor coloración que las demás. Posteriormente a las M3 también se les colocó Rojo de metilo y se expusieron 8 horas al sol. En la Figura 7 se muestran los datos obtenidos. Y como se observa, la pasta normal (N) es la que presentó mejores resultados de purificación, así que esta pasta se seleccionó para el diseño del módulo.



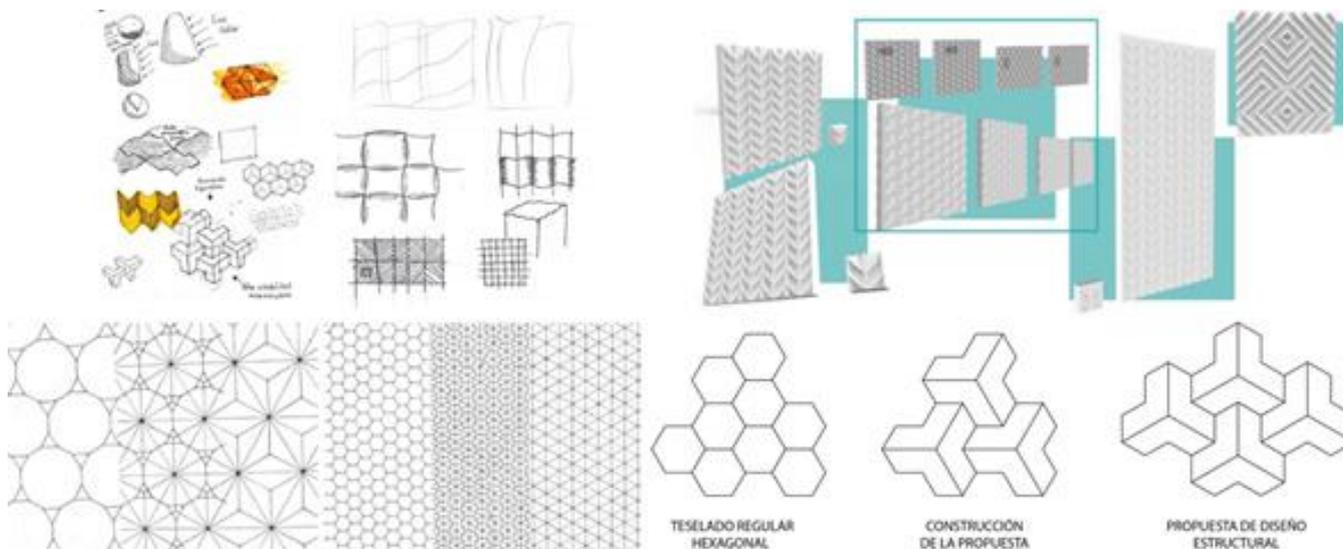
**Figura 7.** Análisis fotográfico de las muestras M1, M2 y M3. Se presentan en contraste su registro de mayor coloración contra su resultado purificante más óptimo

### Diseño de módulo

De acuerdo con los requerimientos de la etapa de Caracterización, se estableció el diseño de un módulo que permite su ensamble para crear una pared que es capaz de captar la mayor cantidad de luz y flujo de viento en su superficie (véase Figura 8).

Se exploraron diferentes conceptos y sistemas de ensamble, seleccionando un módulo simétrico que permite el crecimiento de la pared en cualquier dirección (véase Figura 9).

Otros criterios de diseño importantes para optimizar el flujo de agua y aire fueron los siguientes. Por un lado, las caras del módulo: tres caras en forma piramidal con ligera inclinación que logran captar la luz del sol en distintas direcciones. Así mismo se obtiene un flujo de agua uniforme

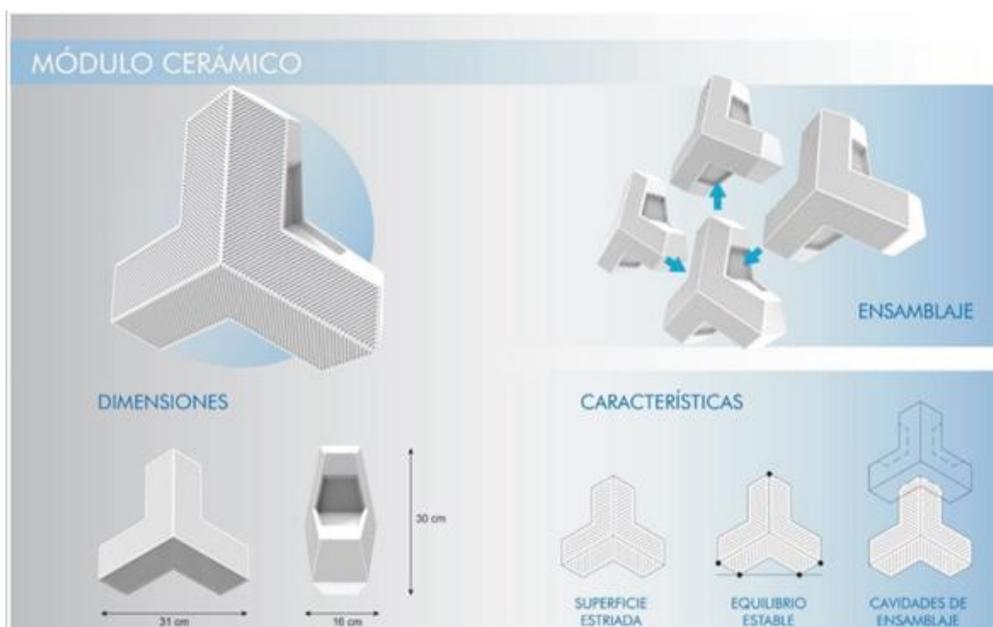


**Figura 8.** Bocetos de formas y análisis de superficies de pared, donde se muestra la exploración conceptual

en la pared que se construya como muro llorón. Por otro, en la superficie, además de la inclinación, las caras tienen un ligero tramado lineal que optimiza la dirección de la caída del agua homogéneamente, distribuyéndola por todo el módulo hacia las siguientes piezas unidas en la pared, y la segunda está en la retención del flujo de agua, haciéndolo más lento para que el contacto con el sol se extienda.

### Validación

Para la evaluación de desempeño del material, se ensambló una pared compuesta de nueve módulos (véase Figura 10) para ser cubiertas con solución de dióxido de titanio. Con esta pared se construyó un sistema de reflujos de agua con Rodamina B como indicador contaminante, el cual al ser un pigmento orgánico se degrada con la



**Figura 9.** Lámina descriptiva de la propuesta final. Se exponen sus dimensiones finales, el ensamble entre piezas y las características conceptuales que aportan valor al diseño



VACIADO  
DE CAUCHO

VACIADO  
DE YESO

PIEZA

Figura 10. Fabricación de prototipo a escala. Se implementaron distintas técnicas para su elaboración como la impresión 3D, corte láser y vaciados de caucho y yeso



Figura 11. Módulos cerámicos sintetizados

actividad fotocatalítica, lo que permitió validar la funcionalidad del diseño. Se prepararon 4 litros de solución con una concentración de 50 ppm.

Este sistema de reflujo consistió en una fuente de agua que dejaba caer la solución pigmentada sobre la pequeña pared de módulos. Se tomaron muestras de la solución antes de ser expuesta y después de cada hora. La fuente se colocó al sol por 5 horas.

En la Figura 11 se muestra la reproducción de los módulos para la construcción de la pared.

En la siguiente etapa se llevó a cabo la espectroscopia de UV visible, donde se muestra el nivel de absorbancia de luz UV por parte del pigmento, dependiendo de su concentración en la solución. Se observa que a mayor nivel de degradación fotocatalítica de la Rodamina B, más decrece la curva de la gráfica.

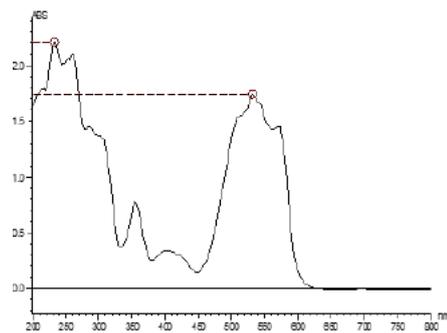


Figura 12. Espectroscopia UV-Vis de Rodamina B inicial con concentración inicial

La Figura 12 corresponde al resultado de la espectroscopia UV-Vis de la primera muestra antes de ser expuesta la fuente al sol, mientras que la Figura 13 corresponde a la última muestra registrada después de cinco horas de exposición. Como se observa, los resultados indican que sí se logró el degrade de la Rodamina B.

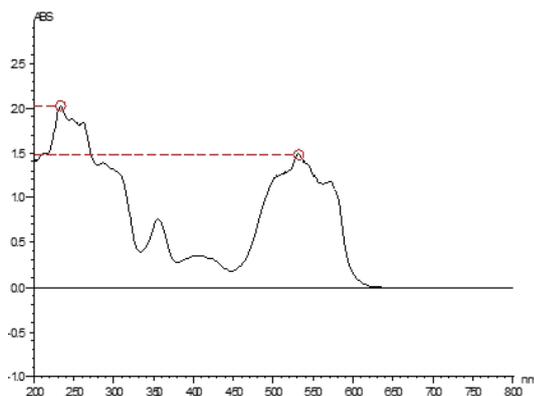


Figura 13. Espectroscopia UV-Vis de Rodamina B al final de la exposición a la luz solar

En la Figura 14 se muestra el registro de la actividad purificante sobre la pared de módulos una vez que se secó por 24 horas después de la actividad de reflujo en la fuente. Como se distingue, después de ocho horas de exposición, la pieza presentó un notorio cambio de coloración e, incluso, cambios significativos en las caras inferiores de los módulos, que recibían menor cantidad directa de luz.



Pared seca cubierta con residuos de rodamina B

Pared expuesta a la luz solar por 8 h

Figura 14. Registro de actividad purificante sobre la pared de módulos

## DISCUSIÓN

El valor estético del diseño es bien conocido y bastante explorado, hay un sin fin de objetos que han sido diseñados por su apariencia, sin embargo, Donald Norman en su libro *La psicología de los objetos cotidianos* menciona que, si el mundo estuviera lleno de objetos estéticamente bellos, tendríamos un mundo hermoso, pero poco funcional. Es así que el que hacer del diseñador evoluciona constantemente y es necesario brindar soluciones escuchando a las personas y al medio ambiente, es así que la interacción con otras áreas del co-

nocimiento nos ayuda a generar propuestas que busquen cambios por medio de la innovación.

Mediante la exploración en este trabajo se diseñó un dispositivo con una superficie porosa capaz de soportar el material fotocatalítico, además de producir cambios significativos en el degradado de la Rodamina, como indicador de contaminación orgánica. No se observó dilución del  $\text{TiO}_2$  con la solución de indicador, sin embargo, con respecto a la fijación del compuesto se presentó un alto desprendimiento al roce de la superficie, lo que indicaría un alto riesgo de pérdida a partir del contacto con diferentes agentes, si se pretende usar la pieza en la intemperie. Durante la investigación se exploraron diferentes porosidades, buscando el aumento y, con ello, mayor adherencia, las muestras con mejores resultados fueron aquellas con menor porosidad.

Por esto se espera desarrollar el material, con el objetivo de disminuir la porosidad y, por otro lado, explorar la adherencia del  $\text{TiO}_2$  desde la pasta, ya que se probó su alta resistencia calórica y la actividad del compuesto. La estructura de pared registró una mayor actividad purificante, en comparación con las piezas de muestra planas. Lo que indica que las caras y la topografía logran captar en mayor cantidad el flujo de aire y estimulan el arrastre del contaminante. Con respecto al flujo de agua, la topografía sí extendió la corriente por toda la superficie, presentando mayor concentración en los puntos más extremos de los módulos.

Mediante criterios de diseño de producto y la investigación actual sobre el comportamiento nanométrico de los materiales, podemos destacar que el diseño y la nanotecnología, trabajando en conjunto, indican ser un enlace que, sin duda, puede detonar en un sin fin de productos para solucionar problemas sociales, actuales y del futuro, considerando que la nanotecnología aún está en una etapa de exploración.

## REFERENCIAS

- ADAWIYA, J. H. (2017). Exploring potential Environmental applications of  $\text{TiO}_2$  Nanoparticles. *ScienceDirect*, pp. 1-2.
- ALONSO, M. (2010). *Nanotecnología Fundación Telefónica*. Recuperado de: <https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2010/03/11/algunas-aplicaciones-de-puntos-cuanticos/>

- ARTACHO, A. (2017). *Teselaciones regulares con un solo tipo de polígono regular*. Recuperado de: <https://matematicascercanas.com/2017/08/13/teselaciones-regulares-solo-tipo-poligono-regular/>
- ASHBY, M. y Johnson, K. (2009). *Materials and design. The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Elsevier.
- ASKELAND, D., Fulay, P. y Wright, W. (1998). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Ciudad de México: International Thomson Editores, pp. 561-567 .
- Asociación Ibérica de la Fotocatálisis. (2018). *Asociación Ibérica de la Fotocatálisis*. Recuperado de: <http://www.fotocatalisis.org/que-es-la-fotocatalisis.html>
- BARCONS, D. (2017). *Fundación Telefonica*. Recuperado de: [nanotecnologia.fundacion-telefonica.com](http://nanotecnologia.fundacion-telefonica.com)
- BLANCO, J., Malato, S., Estrada, C., Bandala, E., Gelover, S. y Leal , T. (2018). Purificación de aguas por fotocátalisis heterogénea: estado del arte. *Plataforma Solar de Almería*. Recuperado de: [www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf](http://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf)
- BOCH, P. y Niepce, J.-C. (2007). *Ceramic Materials*. Londres: ISTE Ltd.
- BRACERO, F. (2017). *La Vanguardia*. Recuperado de: <http://www.lavanguardia.com/tecnologia/20170630/423774241459/tamaño-chips-procesadores.html>
- BUSTELO, S. (2016). ¿Cuál es la relación entre tecnología y diseño? XI Encuentro latinoamericano de diseño 2016. *Kambrica*. Recuperado de: <https://www.kambrica.com/blog/relacion-entre-tecnologia-y-diseno/>
- BYRNE, C., Subramanian, G y Pillai, S. (2017). Recent Advances in Photocatalysis for Environmental Applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 1.
- CASINI, M. (2016). *Smart Buildings. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-efficiency and Environmental Performance*. Amsterdam: Elsevier y Woodhead Publishing.
- CLEMINSHAW, D. (1989). *Design in plastics*. Rockport. Publishers
- CHEN, J. (2017). Conceptos básicos de la fotosíntesis. *PRO-MIX*. Recuperado de: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/conceptos-basicos-de-la-fotosintesis/>
- CHRISTENSEN, P., Curtis , T., Egerton, T., Kosa, S. y Tinlin, J. (2003). Photoelectrocatalytic and photocatalytic disinfection of E. coli suspensions by titanium dioxide. *Applied Catalysis B: Environmental*. Elsevier, pp. 371-386.
- CORREA, L., Velilla, E., Gómez, M., Echeverría, F., Marín, A. y Castaño, J. (2013). Evaluación del desempeño de aisladores de porcelana recubiertos con películas de dióxido de titanio para disminuir el ensuciamiento. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, pp. 131-140.
- DEFINISTA. (2019). *Definición de Nanotecnología*. Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/nanotecnologia/>
- DI SIA, P. (2016). Nanotechnology Among Innovation, Health and Risks. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 1076-1080.
- DOORDAN, D. P. (2003). On materials. *Design Issues*. Vol. 19(4), pp. 3-8.
- DORMER, P. (1990). *The Meanings of Modern Design: Towards the Twenty-First Century*. Thames y Hudson.
- Elegant Embellishments Limited. (2019). Recuperado de: <http://www.prosolve370e.com>
- EMOL. (2014). Presentan una piel artificial de tiburón capaz de mejorar los movimientos de la natación. *EMOL*. Recuperado de: <http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2014/05/15/660318/presentan-una-piel-artificial-de-tiburon-capaz-de-mejorar-los-movimientos-de-la-natacion.html>
- ESCUADRA, S., Gómez, J., Altabás, L., Lasheras, A., Bezdicsek, J. y Ormad, M. (2015). Aplicación de nano-fotocatálisis con TiO<sub>2</sub> como tratamiento final de agua de salida de depuradora. *Aguaresiduales*. Recuperado de: [www.aguaresiduales.info](http://www.aguaresiduales.info)
- ESPESO, P. (2012). Los 14 nanómetros empiezan a verse en el horizonte. *Xataka*. Recuperado de: <https://www.xataka.com/otros/los-14-nanometros-empiezan-a-verse-en-el-horizonte>
- EURORESIDENTES. (2018). Puntos cuánticos, Quantum dots (qdots). Recuperado de: [https://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos\\_cuanticos.htm](https://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos_cuanticos.htm)
- FERNÁNDEZ, E. M. (2017). *Escamas de los peces características y tipos*. Recuperado de: <https://peces.paradise-sphynx.com/anatomia-fisiologia/escamas-peces.html>
- FISCHER, F. (2008). *OMPI Organización Mundial de la Propiedad Intelectual*. Recupe-

- rado de: [http://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2008/01/article\\_0006.html](http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2008/01/article_0006.html)
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental. (2012). *Contaminación en México*. Recuperado de: [https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/#\\_ftn1](https://agua.org.mx/agua-contaminacion-en-mexico/#_ftn1)
- FYM-HeidelbergCement Group. (2017). Recuperado de: <https://es.i-nova.net/es/content?articleId=3241398>
- GARCÉS, L. F., Mejía, E. A. y Santamaría, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, pp. 83-84.
- , Mejía, E. A. y Satamaría, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, pp. 83-92.
- GONZÁLES, G. (2014). *Blog Think Big*. Recuperado de: <https://blogthinkbig.com/nanomateriales>
- HASSENZAHL, M. (2010). *Experience design: Technology for all the right reasons*. Morgan y Claypool.
- HEKKERT, P. (2006). Design aesthetics: Principles of pleasure in design. *Psychology Science*. Vol. 48(2), pp. 157-172.
- HERWIG, O. (2015). *Smart Magazine*. Recuperado de: <https://www.smart-magazine.com/en/smog-eating-facades/>
- Ing Aeronautica. (2015). *Ing Aeronautica*. Recuperado de: <https://ingaeronautica.wordpress.com>
- KARANA, E., Barati, B., Rognoli, V. y Zeeuw, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. *International Journal of Design*. Vol. 9(2), pp. 35-54.
- , Blauwhoff, D., Hultink, E.-J. y Camere, S. (2018). When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. *International Journal of Design*, pp. 119-136.
- , Pedgley, O. y Rognoli, V. (2014). Materials experience: Fundamentals of materials and design. *Butterworth-Heinemann*.
- KRAMER, J. (2016). *theDesignExchange*. Recuperado de: [https://www.thedesigntexchange.org/design\\_methods/311](https://www.thedesigntexchange.org/design_methods/311)
- MANZINI, E. (1991). Neolite. Metamorfosis de lle plastiche [Neolite. Metamorphosis of plastics]. *Domus Academy*.
- , (1989). *Artefatti*. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale [Artifacts. Towards a new ecology of the artificial environment]. *Domus Academy*.
- MORA, L. (1969). Fotosíntesis (Divulgación científica). *Universidad Nacional de Colombia digital*. *Portal de revistas unal*, pp. 209-217.
- MUSSI, S. (2018). *Diccionario de cerámica*. Nanotechnology Now. (2009). *Nanotechnology Now*. Recuperado de: <http://www.nanotech-now.com>
- NOACK, K. (2015). Upcrete technology for production of facade elements of Expo Pavillion. *RATEC GmbH*. Recuperado de: <https://www.ratec.org/en-us/home/news/news/news-details/upcrete-technology-for-production-of-facade-elements-of-expo-pavillion/>
- NÚÑEZ, J. (2006). *Sala de Lectura CTS+I*. Recuperado de: <http://www.oei.es/historico/salactsi/nunez00.htm#a>
- PAPAMIJA, M. (2010). Degradación fotocatalítica del ibuprofeno empleando dióxido de titanio. *Revista de Ingeniería*, pp. 47-53.
- PNUD. (2015). *Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento*. Recuperado de: <http://www.undp.org>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2016). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado de: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/poverty-reduction/undp-support-to-the-implementation-of-the-2030-agenda.html>
- RAMPINO, L. (2011). The Innovation Pyramid: A Categorization of the Innovation Phenomenon in the Product-design Field. *International Journal of Design*, pp. 3-16.
- RETAMA, A. (2016). *Calidad del aire en la Ciudad de México*. Ciudad de México, México.
- RINCÓN, G., Giraldo, S. y Pulgarín, C. (s.a.). *Desinfección de agua por fotocatalisis*. Recuperado de: [https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/13\\_Capitulo\\_13.pdf](https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/13_Capitulo_13.pdf)
- ROCH, E., Rodríguez, J., Martínez, E. y López, J. (2012). Biomimética: Innovación sustentable inspirada por la naturaleza. *Investigación y ciencia*, pp. 56-61.
- RODRÍGUEZ, Y. (2012). *Nanotecnología*. *Fundación Telefónica*. Recuperado de: <https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2012/03/02/nanoparticulas-en-cremas-solares/>

- SEAS. (2012). *Blog SEAS*. Recuperado de: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-grafeno-propiedades-caracteristicas-y-aplicaciones/>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2017). *Calidad del aire en la Ciudad de México*, Informe. Ciudad de México.
- SERRANO, T. A. (2012). *Estética del producto industrial y su representación gráfica*. Prensas Universitarias de Zaragoza.
- SINGER, F. y Singer, S. S. (1984). *Enciclopedia de la Química Industrial*. Bilbao: Ediciones URMO S.A.
- SMITH, W. F. y Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. México D.F.: McGRAW-HILL Interamericana.
- SCHØNHEYDER, J. F. y Nordby, K. (2018). The use and evolution of design methods in professional design practice. *Design Studies*. Vol. 58, pp. 36-62.
- SOBEJANO, J. (2011). La verdadera innovación comienza con el pensamiento de diseño. *3 Vectores diseño sustentable*. Recuperado de: <http://3vectores.com/la-verdadera-innovacion-comienza-con-el-pensamiento-de-diseno/>
- SOSTENIBILIDAD. (2018). *Sostenibilidad para todos*. Recuperado de: <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/que-es-una-smart-city-top-5-ciudades-inteligentes/>
- TAGGART, R., Evers, C., Starr, L. y Starr, C. (2009). *Biología. La unidad y la diversidad de la vida*. Ciudad de México, México: Cengage Learning.
- TAVSAN, F. y Sonmez, E. (2015). Biomimicry in Furniture Design. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 2285-2292.
- VAN KESTEREN, I. E., Stappers, P. y Bruijin, M. (2007). Materials in product selection: Tools for including user-interaction aspects in materials selection. *International Journal of Design*. Vol. 1(3), pp. 41-55.
- (2007). Materials in Product Selection: Tools for Including User-Interaction in Materials Selection. *International Journal of Design*, pp. 41-55.
- Vitra Chairman Emeritus Rolf Fehlbaum. (2009). *Vitra Magazine*. Recuperado de: [www.vitra.com](http://www.vitra.com)
- WALKER, J. A. (1989). *Design history and the history of design*. Pluto Press.
- WWAP UNESCO. (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. Cifras y Datos*. Perugia: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.

