

# Análisis del Ciclo de Madurez Tecnológica de Superficies Antibacterianas y Autolimpiantes a base de $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$

## Analysis of the Technological Maturity Cycle of Antibacterial and Self-Cleaning Surfaces Based on $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$

Santiago Sinisterra<sup>1</sup>, Rubén Camargo-Amado<sup>1</sup>, Diego Triviño<sup>1</sup> y Fiderman Machuca-Martínez<sup>1</sup>

### Resumen

El desarrollo de nanomateriales cerámicos con propiedades autolimpiantes es un campo de investigación importante ya que pueden ser usados en diferentes sectores como la industria textil, aeroespacial, automotriz y en elementos de protección biomédica. En este contexto, el objetivo del trabajo es analizar e identificar las tendencias mundiales en investigación, nivel de innovación, así como las tecnologías emergentes en el desarrollo de nanopartículas de  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  con propiedades antibacteriales y autolimpiantes; a partir del seguimiento tecnológico de patentes y Trabajos académicos mediante el uso de métodos bibliométricos usando el software de análisis bibliométrico Lens. Se estimaron las etapas de desarrollo tecnológico a través del modelo logístico usando el software Loglet Lab 4 y se calcularon los parámetros de Yoon, tasa de madurez tecnológica (TMR), patentes potenciales por aparecer (EPP), tiempo de vida remanente (ERL), con 4 indicadores definidos: Patentes otorgadas (i1), aplicaciones de patentes (i2), trabajos académicos (i3) y capital humano (i4). La tendencia tecnológica de las patentes para el primer periodo (período I) se enfocaron en el desarrollo de procesos de catálisis, mientras que en el período II en tecnología de fabricación de cosméticos y desinfectantes. En el período III aparece la nanotecnología aplicada en cosméticos y procesos de desinfección, finalmente, en el período IV se observó una tendencia hacia los procesos de desinfección y recubrimientos, así como también la cantidad de aplicaciones de patentes para este período. Japón es el país líder en esta tecnología actualmente y la compañía Gearbox LLC encabeza la lista de mayor cantidad de patentes otorgadas. Esta tecnología de superficies autolimpiantes registró en promedio una tasa de madurez del 51.48 %, con lo cual se ubica en una etapa de madurez, siendo una tecnología catalogada en el inicio de su fase como “tecnología líder” con posibilidad de inversión en el desarrollo de nuevos productos y procesos.

**Palabras clave:** Antibacterial, Autolimpiante, Dióxido de titanio, Lens, Óxido de zinc, Predicción de tecnologías.

### Abstract

The development of ceramic nanomaterials with self-cleaning properties is an important field of research since they can be used in different sectors such as the textile, aerospace, automotive and biomedical protection elements. The objective of the work is to analyze and identify world trends in research, level of innovation, as well as emerging technologies in the development of  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  nanoparticles with antibacterial and self-cleaning properties; based on the technological monitoring of patents and Scholarly works using bibliometric methods using Lens bibliometric analysis software.

The stages of technological development were estimated through the logistic model using the Loglet Lab4 software and the Yoon parameters, the Technological Maturity Rate (TMR), the potential patents to appear (EPP), the remaining lifetime (ERL) were calculated. four indicators were used: Granted patents (i1), patent applications (i2), scholarly Works (i3) and human capital (i4). The technological trend of patents for the first period focused on the development of catalysis processes, while in period II on technology for the manufacture of cosmetics and disinfectants. In period III, nanotechnology applied in cosmetics and disinfection processes appeared, finally, in period IV a trend towards disinfection and coating processes was observed, as well as the number of patent applications for this period. This technology of self-cleaning surfaces registered an average maturity rate of 51.48%, which is in a stage of maturity, being a technology classified as "leading technology" with the possibility of investment in the development of new products and processes.

**Keywords:** Antibacterial, Antifouling, Forecasting Technology, Lens, titanium Dioxide, Zinc oxide.

**Recepción:** 2-Nov-2021

**Aceptación:** 15-Dic-2021

<sup>1</sup>Grupo de investigación Físicoquímica de Bio y Nanomateriales, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia

## 1 Introducción

En la actualidad, la exposición a microorganismos peligrosos para el ser humano y el control de estos mediante procesos de sanitización se ha convertido en una de las problemáticas fundamentales en todo tipo de lugares y es un objeto de estudio atractivo para la comunidad científica [1]. Así mismo, otra de las problemáticas que puede contribuir a la reproducción de microorganismos potencialmente peligrosos para el ser humano es la presencia de contaminantes que ofrecen un medio de cultivo para estos organismos, aumentando la probabilidad de interacción entre el humano y las bacterias [2].

Los tratamientos con antibióticos para controlar estos microorganismos en humanos, animales o en otros campos como el tratamiento de aguas pueden generar una proliferación de bacterias resistentes a los antibióticos a su vez que representan un factor de riesgo para salud y el ambiente [3].

Los nanomateriales basados en  $\text{TiO}_2$  han sido estudiados ampliamente y se han reportado resultados que muestran sus propiedades antibacteriales y autolimpiantes [4-6]. Estas propiedades se deben a su naturaleza química puesto que son semiconductores tipo N que permiten la generación de especies radicales oxidantes (ROS por sus siglas en inglés) al ser expuestas a fuentes de luz (artificial o natural) mediante procesos fotocatalíticos [7]. La fotocatalisis le permite a la superficie de  $\text{TiO}_2$  descomponer compuestos orgánicos y proporciona un alto rendimiento en la remoción de contaminantes por su propiedad superhidrofílica [8,9].

### *Propiedades desinfectantes*

Matsunaga comprobó el efecto antibacterial de la fotocatalisis del  $\text{TiO}_2$  al estar en contacto con *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Escherichia coli* en agua donde se produjo la muerte de los microorganismos aproximadamente entre 1 y 2 horas al someterse bajo irradiación con luz-UV [10,11]. Wang et al. desarrolló una mezcla de  $\text{Zn/TiO}_2$  por el método sol-gel donde se evaluó su efecto antibacterial sobre *E.coli*, *S. aureus* y *C. albicans*, con presencia de luz visible y en ambiente de oscuridad aplicando el test de zona de inhibición, concluyendo una alta

efectividad ante los tres microorganismos con mayor eficacia sobre *C.albicans* [12].

Uno de los trabajos más recientes es el de Chang (2021) donde evaluó el efecto antibacterial bajo luz visible de una mezcla  $\text{Mg}_2\text{TiO}_4$  dopado con nitrógeno, obteniendo una desinfección completa de *E.coli* en un tiempo de 60 min [13].

### *Propiedades autolimpiantes*

Otras variantes como el  $\text{TiO}_2$  dopado con Fe, fueron evaluadas por Sonawane en la fotodegradación de naranja de metilo, reforzando la característica autolimpiante por medio del ataque de radicales hidroxilos, cuya reacción de decoloración fotocatalítica del naranja de metilo tiene un comportamiento de reacción de pseudo-primer orden y fue verificada utilizando un reactor de cuarzo y comparando la absorbancia inicial y final [14]. Mai (2018), evaluó el efecto autolimpiante de un recubrimiento de  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  sintetizado por sol-gel, con la decoloración de vido y café [15].

Debido al interés sobre estas propiedades de los nanomateriales y los procesos fotocatalíticos la comunidad científica ha estudiado exhaustivamente las propiedades de los nanomateriales. Fujishima et al. en su trabajo “ $\text{TiO}_2$  photocatalysis and related surface phenomena” compiló información de más de 600 documentos relacionados a este tema [16], posteriormente en 2019 Kolahalam et al. realizó una compilación con 178 documentos y en 2020 Padmanabhan presenta una revisión de tema haciendo énfasis en las propiedades fotocatalíticas y superhidrofílicas del  $\text{TiO}_2$  como material autolimpiante donde recopiló información de 197 documentos [17].

Las investigaciones indican la tendencia hacia la aplicación de superficies recubiertas con nanomateriales generando nuevos estudios y desarrollos [17-20]. En este contexto, existen herramientas que facilitan el estudio de las tendencias de innovación de las tecnologías mediante el análisis bibliométrico y el uso de métodos de predicción (forecasting), concretamente el seguimiento tecnológico de patentes. Los depósitos de patentes son indicadores esenciales para obtener una visión del estado de la tecnología [21].

El seguimiento tecnológico es un método que permite dar un concepto para determinar condiciones de preparación, purificación o uso de diferentes tratamientos para un proceso determinado, identificar tendencias en el dominio de la tecnología para tratamiento de enfermedades o construir políticas para determinar la calificación para inversiones en universidades, institutos de investigación, fundaciones, compañías y gobiernos [22-24].

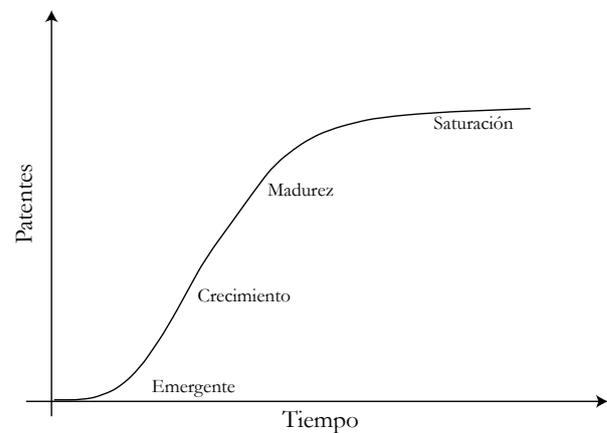
La dinámica del mercado actual genera la necesidad en las compañías de anticipar el dinamismo de la tecnología para proyectar el uso de sus recursos en investigación y desarrollo (I+D), con lo cual metodologías como la predicción de la madurez (forecasting) permiten tener un pronóstico sobre el comportamiento de una tecnología, siendo un factor clave a tener en cuenta en la planeación estratégica de los procesos y la disminución de riesgo en la toma de decisiones de inversión [25]. La previsión del ciclo de madurez de una tecnología puede analizarse desde la interpretación de los datos de patentes acumulados y representados en un modelo matemático que describe una curva de crecimiento tipo S [26].

La curva de crecimiento se ha utilizado junto al desarrollo de patentes para dar un pronóstico a futuro sobre el comportamiento de la tecnología en un campo específico de acuerdo con la cantidad de documentos de patentes y trabajos académicos que se han producido hasta la fecha, ajustando estos datos a una curva tipo S que sigue el modelo Logístico [27]. Se identifican cuatro momentos del ciclo de vida de la tecnología, la etapa emergente, la etapa de crecimiento y la etapa de madurez o retiro [28]. De acuerdo con Arthur, mencionado por Gao et al. [29], el concepto de ciclo de vida tecnológica (TLC por sus siglas en inglés) incluye dos dimensiones que son: el impacto competitivo y la integración a productos y procesos. Estos dos factores están marcados en las etapas de desarrollo mencionadas.

Etapa emergente: Bajo impacto competitivo y baja presencia en productos y procesos; Etapa de crecimiento: Alto impacto competitivo sin presencia en productos o procesos, esta tecnología se conoce

como “pacing technology”; Etapa de madurez: Alto impacto competitivo e integración de productos. En esta etapa se clasifica la tecnología como “tecnología clave/líder”; Etapa de saturación: Pérdida de competitividad, se convierte en una tecnología próxima a reemplazar y los procesos a partir de este momento serán enfocados sólo a la reducción de costos [26].

El modelo de la curva de crecimiento tipo S para la madurez de una tecnología se puede representar de la siguiente forma (Figura 1).



**Figura 1.** Curva de modelo de crecimiento tipo S- Etapas de la madurez tecnológica. [30]

Liu & Wang utilizaron este modelo para identificar la tendencia y el ciclo de vida tecnológico de desarrollo de robots en Japón, basados en la información de la oficina de patentes de Japón (JPO) y aplicando el software Loglet Lab 4 para estimar el estado de madurez de esta tecnología [31]. Wu aplicó el modelo logístico para evaluar el grado de desarrollo de ciudades como Orlando (USA) y Zouping (China) a través de seis indicadores como “tasa de crecimiento de la población”, “índice de desempeño ambiental”, “tasa de desempleo” entre otros [32]. Mao, G. et al. (2021), utilizaron la curva tipo S del modelo logístico para analizar un comportamiento general y el desarrollo de la tecnología para tratamiento de aguas, donde se utilizaron tres categorías que recogen los tratamientos físicos, químicos y biológicos y determinar la madurez de cada una de las tecnologías en el marco del tratamiento de aguas, recopilando información sobre patentes y artículos académicos para ajustar el modelo matemático [33].

En este contexto, Leitch [34] presentó las tendencias de patentes en nanotecnología en el año 2011 basado en el sistema IPC. Sin embargo, no se encontraron reportes de análisis relacionados con la identificación del estado de madurez tecnológica de las superficies autolimpiantes y antibacterianas basadas en la mezcla de  $\text{TiO}_2$  y  $\text{ZnO}$ . Por lo anterior, el presente trabajo pretende hacer seguimiento y analizar el ciclo de vida tecnológico de estos nanomateriales y las superficies antibacteriales y autolimpiantes a través de cuatro indicadores: Patentes otorgadas, aplicaciones de patentes, trabajos académicos y capital humano.

## 2 Metodología

### 2.1 Recopilación de datos de patentes y trabajos académicos

Para la búsqueda en Lens se usó la siguiente ecuación de búsqueda:

("Titanium dioxide") AND "Zinc oxide" AND ("Sterilization" OR "Disinfectant" OR "Antibacterial") AND ("Antifouling" OR "Self-cleaning" OR "decontaminating")

Donde "all fields" incluyen: título, resumen, reclamos, tipo de documento, texto completo, solicitantes, propietarios (EE. UU.), Inventores, fecha de presentación, fecha de publicación, año de publicación, jurisdicción, tipo, clave de publicación, número de publicación, familia, clasificación y secuencias.

Rango de tiempo: 2001/2021

Tipo de documento: Patente otorgada y Aplicación de patente

Fecha de búsqueda: Septiembre 6 del 2021

Para los datos sobre trabajos académicos se utilizó la misma ecuación y filtros a través de la herramienta "Trabajos académicos" de Lens.

### 2.2 Análisis de curva de crecimiento y ciclo de vida tecnológica (TLC)

La curva tipo  $S$  que se obtiene del modelo Logístico está definida por la siguiente ecuación:

$$Y(t) = \frac{L}{1 + e^{-k(t-t_0)}} \quad (1)$$

donde  $Y(t)$  representa el indicador de interés como variable dependiente para la curva  $S$ ,  $L$  es el valor asintótico (máximo) de la variable,  $t_0$  y  $k$  son parámetros del modelo definidos automáticamente por el software y definen el punto medio y la inclinación, respectivamente.

Con esta curva modelada en el software Loglet Lab 4 [27] utilizando los datos obtenidos de las patentes y documentos académicos en Lens, se hace uso de la aproximación de Yoon [35] para estimar 3 parámetros con el fin de evaluar el ciclo de vida tecnológico de la aplicación deseada. La tasa de madurez tecnológica (TMR), el cual permite modelar el ciclo de vida tecnológica descrito en la ecuación (2), el número de potenciales patentes por aparecer (PPA) ecuación (3) y la vida restante esperada (ERL) ecuación (4), esta última sólo se puede calcular si hay un umbral definido  $\rho$  para la tecnología en estudio.

En este caso se estima un valor para  $\rho$  de 0.90, el cual indica que este umbral será del 90% del valor total de las patentes acumuladas en la fase de agotamiento, es decir el punto de inflexión en la fase de madurez. A continuación, se desarrollan las ecuaciones de la aproximación de Yoon:

$$TMR(t) = \frac{L_0}{L} \quad (2)$$

Siendo  $F_0$  el número de documentos registrados en el último año y  $L$  el número máximo que presenta el modelo del indicador para el cual se considera una TMR de 100% (fase de agotamiento).

$$PPA(t) = L - L_0 \quad (3)$$

$$ERL(t) = T_\rho - t \quad (4)$$

Donde  $T_\rho$  es el año para el cual se tiene el número acumulativo de patentes  $\rho L$ .

De acuerdo con Gao et al. [29], el modelo de crecimiento tipo  $S$  para el ciclo de vida tecnológica no arroja resultados confiables si se utiliza un solo indicador y puede dirigir la investigación en la dirección equivocada. Para evitar este error en el análisis bibliométrico se usarán 4 indicadores como se observa en la Tabla 1, con el fin de observar el ciclo de vida tecnológica TLC.

Estos indicadores son los más utilizados y están descritos por Baumann, M. et al. [36] presentados a continuación.

**Tabla 1.** Indicadores para el análisis de ciclo de vida tecnológica

No.	Indicador	Descripción
i1	Patentes otorgadas	Número de patentes otorgadas por año de prioridad
i2	Aplicaciones de patentes	Número de aplicaciones de patentes por año de aplicación
i3	Trabajos académicos	Número de trabajos académicos por año de publicación
i4	Capital humano	Número de inventores acumulados por año

### 3 Resultados y discusión

#### 3.1 Análisis de datos de patentes

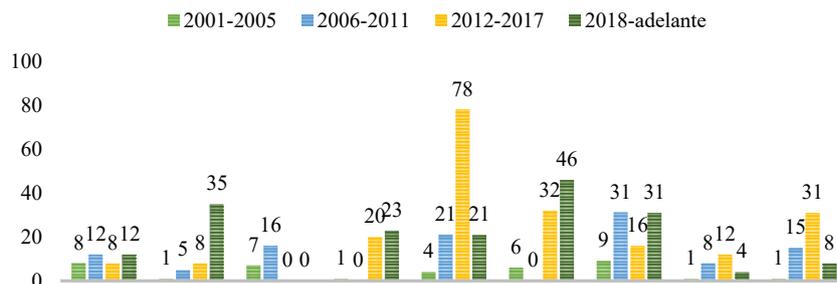
Se obtuvieron los datos de la búsqueda de la ecuación (1), donde se encontraron 334 registros

de patentes otorgadas y 811 aplicaciones de patentes en este período y que relacionan ambas propiedades. En esta sección se discuten las tendencias de las patentes por período (I-IV), la tendencia actual de las aplicaciones de patentes, el performance de los países y de las instituciones involucradas en el desarrollo de esta tecnología.

En la Tabla 2 se encuentra la descripción de los códigos más importantes registrados en los períodos I-IV para patentes otorgadas y aplicaciones de patentes.

#### *Tendencia de Patentes entre 2001 y 2021*

A continuación, en la Figura 2 se observan los principales códigos de las patentes otorgadas en los períodos comprendidos entre 2001-2005 (I), 2006-2011 (II), 2012-2017 (III), After 2018 (IV) y la tendencia de cada uno de los códigos en cada período.



**Figura 2.** Principales códigos CPC de patentes registradas entre los períodos I y IV

Los códigos de las patentes corresponden a diferentes campos de aplicación (ver Tabla 2), por tanto, es posible analizar cómo ha sido la tendencia del registro de patentes en los diferentes períodos I, II, III y IV.

Para el período I, se puede identificar la tendencia que hubo hacia los procesos de catálisis (B01J35) y catálisis en compuestos/elementos específicos (B01J21) y las aplicaciones en el sector de cosméticos (A61K8), con una baja tendencia hacia los agentes biocidas compuestos de elementos o materiales inorgánicos (A01N59).

En el período II la tendencia estuvo enfocada al desarrollo del sector cosmético y el cuidado de la piel (A61K8 y A61Q19 respectivamente), no obstante, hubo un incremento considerable en las patentes

registradas para procesos de desinfección (A61L2) y se mantuvo la tendencia positiva sobre los procesos de catálisis.

En el período III se registró un incremento en las patentes de procesos desinfectantes (A61P31) y también en los productos para el cuidado de la piel. La nanotecnología tuvo un incremento bajo en comparación con los mencionados anteriormente y los procesos de catálisis que lideraron el período I registraron una disminución en la cantidad de patentes otorgadas.

Algunas tecnologías han disminuido la cantidad de patentes aplicadas en el período IV como lo son los productos para el cuidado de la piel (A61Q19), las patentes relacionadas con el proceso de catálisis en elementos específicos (B01J21). Se

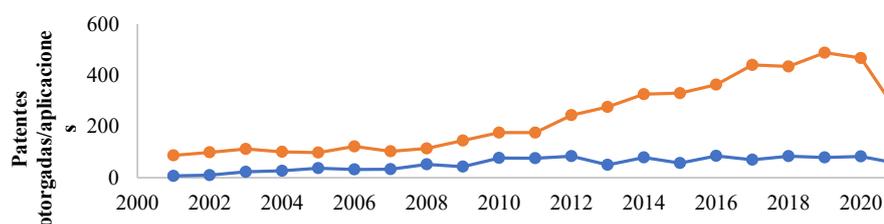
**Tabla 2.** Descripción de códigos de las patentes (Sistema CPC)

Código	Descripción	Cantidad patentes otorgadas	Porcentaje (respecto al total)	Variación entre I-IV
B01J35	Catalizadores, en general, caracterizados por su forma o propiedades físicas	40	11.94%	50.00%
C09D5	Composiciones de revestimiento, p. Ej. pinturas, barnices o lacas, caracterizados por su naturaleza física o los efectos producidos plásticos, resinas o ceras aislantes eléctricamente h01b3/30 pastas de relleno	49	14.63%	3400.00%
B01J21	Catalizadores que comprenden los elementos, óxidos o hidróxidos de magnesio, boro, aluminio, carbono, silicio, titanio, circonio o hafnio.	23	6.87%	-100.00%
A01N59	Biocidas, repelentes de plagas o atrayentes, o reguladores del crecimiento de las plantas que contienen elementos o compuestos inorgánicos.	44	13.13%	2200.00%
A61P31	Antiinfecciosos, es decir, antibióticos, antisépticos, quimioterapéuticos	51	15.22%	425.00%
A61L2	Métodos o aparatos para desinfectar o esterilizar materiales.	29	8.66%	666.67%
A61Q19	Preparaciones para el cuidado de la piel.	17	5.07%	700.00%
A61K8	Productos cosméticos o similares	141	42.09%	244.44%

evidencia un crecimiento en el número de patentes relacionadas con recubrimientos (C09D5) y procesos de desinfección (A61L2).

Es posible que la reducción de cantidad de patentes (A61Q19 y B01J21) en el periodo IV, se deba al tiempo que tardan las patentes en ser otorgadas y posteriormente publicadas o también el ciclo de madurez de esta tecnología en particular, ya que en los períodos anteriores las tecnologías en el sector cosmético habían liderado este mercado

podrían catalogarse como “tecnología clave” y posteriormente llegó a su etapa de retiro, en consecuencia el número de patentes/innovaciones en este sector puede tender a disminuir. Un factor a tener en cuenta es la situación de pandemia actual por Covid-19, con lo cual se espera que este número de patentes relacionadas con procesos de desinfección aumente ya que se ha evidenciado que algunos tipos de microorganismos pueden representar una amenaza a la salud pública [13].



**Figura 3.** Patentes otorgadas/aplicaciones de patentes con una propiedad (antibacterial o autolimpiante)-azul & Patentes registradas/aplicaciones de patentes con ambas propiedades-naranja.

En la Figura 3 se puede identificar que el número de registros de patentes otorgadas y aplicaciones de patentes relacionados las propiedades antibacteriales y autolimpiantes ha aumentado con el paso del tiempo, no obstante, el número de patentes por año que tratan ambas propiedades es baja en

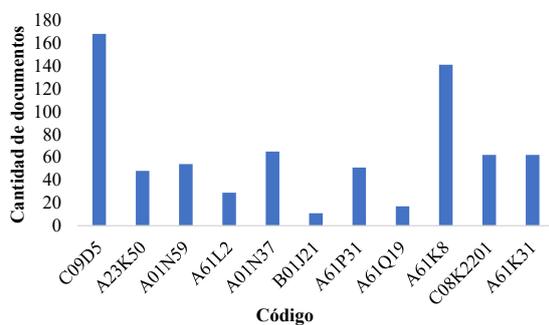
comparación con las que presentan al menos una de ellas, esto puede deberse al hecho de la clasificación del sistema CPC, el cual se diferencia del sistema IPC al contener códigos más específicos y conllevar más costos en investigación y tiempo [37], así mismo dependerá del perfil competitivo de la compañía

o grupo de investigación que lidere el proceso de desarrollo.

Finalmente se observa un decaimiento en el número de patentes para el año 2020 y 2021, con lo cual cabe resaltar que una patente tarda más de 18 meses en ser evaluada y publicada [26].

#### *Aplicaciones de patentes en la actualidad 2018-2021 (Período IV)*

En la Figura 4 se aprecia que actualmente se registran 303 aplicaciones de patentes, un 23% más aplicaciones con respecto al período anterior. Entre las aplicaciones, el 49.5% aplican para el código correspondiente a la composición de recubrimientos (C09D5), el 26% de las aplicaciones en aditivos con propiedades específicas (C08K2201). Por otra parte, el 52% de las patentes que están en evaluación tienen aplicación en los códigos referentes a agentes biocidas (A01N37 Y A01N59). Es preciso resaltar que una patente puede aplicar en más de un código según el sistema CPC.



**Figura 4.** Principales códigos en las aplicaciones de patentes en el período IV

Se evidenció un crecimiento en las aplicaciones relacionadas a los recubrimientos y los productos cosméticos, la primera de las tendencias se podría potenciar en el futuro cercano debido a la situación actual de pandemia Covid-19 y la necesidad latente de mejorar los procesos de desinfección en espacios cerrados. Algunas patentes ya otorgadas hasta el momento presentan el uso de TiO<sub>2</sub> y diversos compuestos para el control de bacterias y otros microorganismos entre ellos virus de la familia SARS, MERS y PEDV (US 6559189 B2 – 202 citas) [38].

### 3.2 Desempeño de países y compañías

A continuación, en la Tabla 3 y Tabla 4, se presentan las principales instituciones o compañías dueñas de las patentes y los países donde estas patentes fueron desarrolladas.

**Tabla 3.** Top Compañías solicitantes de patentes

Nombre de la compañía	Cantidad de documentos (Patentes)
Gearbox LLC	16
The invention Science Fund I LLC	13
Searete LLC	10
Akeso Biomedical INC	9
Vyne Pharmaceuticals LTD	9

**Tabla 4.** Top Países de origen de las patentes

Países	Cantidad de documentos (Patentes)
Japón	78
Israel	22
Alemania	20
Australia	13
Taiwan	13

En la tabla 3 se puede identificar que las compañías con mayor cantidad de patentes son “Gearbox LLC”, una compañía dedicada al desarrollo de hardware y software específicamente en el sector de videojuegos, “The invention Science Fund LLC”, esta compañía está enfocada en diferentes desarrollos tecnológicos emergentes en el área de materiales, comunicaciones y seguridad; y “Searete LLC”, compañía dedicada al sector energético y de comunicaciones. Estas compañías han desarrollado en conjunto algunos desarrollos patentados, por ejemplo en el área de recubrimientos autolimpiantes como es el caso de la patente US8706211 B2[39]. Por otro lado, está la compañía “Akeso Biomedical Inc” (Pertenece al portafolio de la compañía VIC) que está enfocada en desarrollo de procesos o tratamientos antibacterianos [40].

De acuerdo con la tabla 4 se observa que Japón es el país líder en esta tecnología seguido de Israel y Alemania. Cabe destacar que Lens cuenta con acceso limitado a bases de datos de China (SIPO), a diferencia de otros motores de búsqueda como Orbit y con esto se considera que la gráfica podría variar ya que la información disponible sobre patentes depende de cada jurisdicción y de acuerdo

con Jefferson et al. la oficina de patentes de Beijing (SIPO) es la entidad con menos información aportada sobre familias de patentes en Lens [41].

Finalmente, en el caso de Colombia sólo se encontró un registro de patentes sobre esta tecnología perteneciente a la compañía “Biocapital Holdings LLC”, cuyo inventor es Raúl Cuero (US 2021/0261986 A1).

### 3.3 Análisis bibliométrico y desempeño de Instituciones

Utilizando la herramienta “Trabajos académicos” de Lens se encontraron 648 trabajos académicos [42] (artículos, documentos de conferencias, libros etc.) que están relacionados a los registros de patentes mencionados. A continuación, en la Figura 5 se presenta la cantidad de trabajos académicos registrados con relación a la ecuación de búsqueda durante el período comprendido para este estudio.

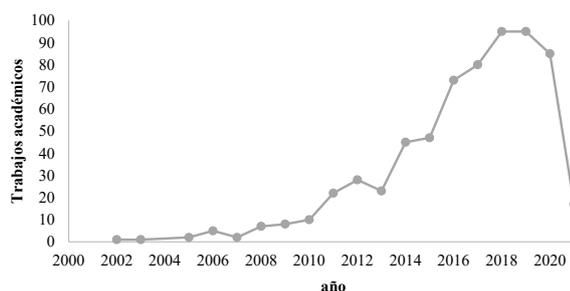


Figura 5. Número de Trabajos académicos por año

Se identificó un crecimiento significativo en producción de trabajos académicos en esta área para los períodos III (2012-2017) y IV (2018 en adelante), por tanto, esto puede relacionarse con una tendencia de R&D hacia este campo de superficies autolimpiantes y antibacteriales, específicamente con la mezcla  $TiO_2/ZnO$ .

En la tabla 5 se observan las principales fuentes donde se publican los trabajos académicos relacionados al tema, siendo la editorial Elsevier la plataforma con mayor número de documentos publicados. Mientras que en la tabla 6 se pueden ver las instituciones educativas que más han contribuido en este campo de las superficies autolimpiantes y antibacteriales.

Tabla 5. Listado de principales plataformas de publicación

Plataforma	Cantidad de documentos (trabajos académicos)
Elsevier	118
InTech	73
Springer Nature	35
MDPI AG	32
Wiley	14

Tabla 6. Listado de principales instituciones

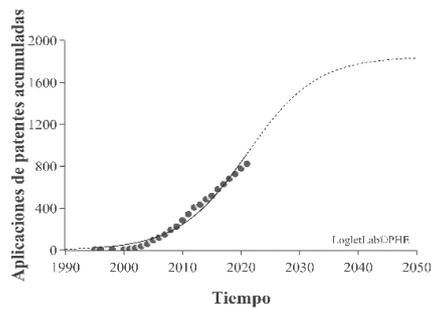
Institución	Cantidad de documentos (trabajos académicos)
Centre national de la recherche scientifique	25
Chinese Academy of Sciences	23
Massachusetts Institute of Technology	22
Northwestern University	21
Texas A&M University	17

Por otra parte, las instituciones con mejor performance en este campo son “Centre national de la recherche scientifique” (France), “Massachusetts Institute of Technology” (USA) y “Chinese academy of sciences” (China), con lo cual se identifica que los países líderes en esta tecnología en el mercado no son los líderes en la producción de literatura científica.

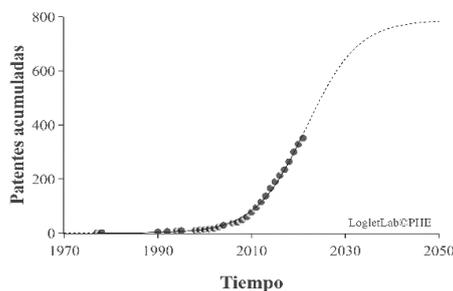
### 3.4 Análisis del ciclo de vida tecnológico (TLC)

Se utilizaron los datos acumulados de las patentes registradas, las aplicaciones de patentes y los trabajos académicos registrados en Lens sin restricción de tiempo para que sea posible identificar la etapa emergente y ajustar adecuadamente los datos en las diferentes etapas del TLC. Las figuras 8 a 11 presentan los cuatro indicadores (ver Tabla 1) de madurez tecnológica ajustados al modelo logístico.

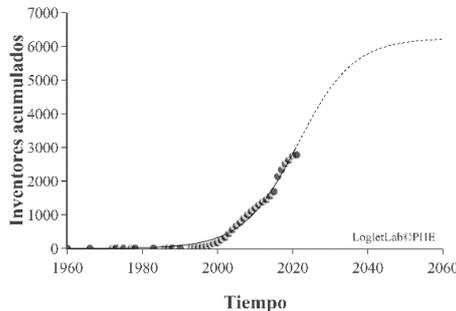
Para simular el comportamiento de la tecnología en el futuro se hizo uso del modelo logístico programado en Loglet Lab 4, por el método de mínimos cuadrados ya que es el más común en este tipo de análisis [43]. A continuación, se presentan en la tabla 7 las estadísticas para los cuatro indicadores, donde  $K$  es el valor máximo que estima el modelo,  $tm$  el tiempo medio del ciclo de vida, el coeficiente



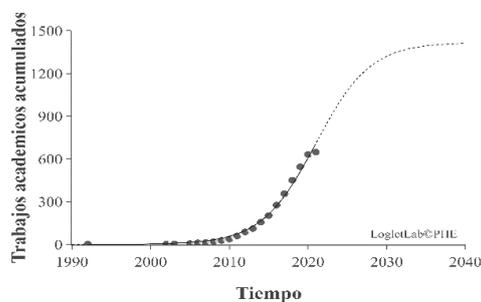
**Figura 6.** i1) Tendencia acumulada de patentes otorgadas



**Figura 7.** i2) Tendencia acumulada de aplicaciones de patentes



**Figura 8.** i3) Tendencia acumulada de trabajos académicos



**Figura 9.** 4) Tendencia acumulada del capital humano

de determinación  $R^2$  y los porcentajes del ciclo de vida en 50, 90 y 99%.

**Tabla 7.** Estadísticas del modelo logístico

Indicador	Estadísticas					
	K	tm	$R^2$	50%	90%	99%
i1	728	2022	0.996	2022	2034	2047
i2	1847	2021	0.946	2021	2035	2048
i3	1455	2021	0.994	2021	2029	2037
i4	3855	2015	0.969	2015	2028	2042

De acuerdo con el modelo de madurez tecnológica y las estadísticas presentadas se puede identificar lo siguiente para cada indicador:

- i1. Patentes otorgadas

En la Figura 6 se puede observar que la tendencia de las patentes otorgadas relacionadas con la tecnología de superficies con propiedades antibacteriales y autolimpiantes a base de  $TiO_2/ZnO$  está en etapa de madurez, lo cual indica que la tecnología está siendo actualmente atractiva para el mercado y están surgiendo productos y procesos donde se utiliza esta tecnología. De acuerdo con lo planteado, este indicador hace referencia a una tecnología en etapa de madurez y por tanto se puede catalogar como “tecnología clave”, donde tendrá un valor de patentes otorgadas de 728 para el año 2034, tiempo donde entrará en etapa de retiro.

- i2. Aplicaciones de patentes

Por otro lado, en la Figura 7 las aplicaciones de patentes están llegando a la etapa de saturación, con lo cual, de acuerdo con Ernst [26], a partir de 2035 no habrá una tendencia a la aparición de productos nuevos donde se utilicen estas tecnologías, concurda con lo que se muestra en la figura 10 debido a que las aplicaciones de patentes tardan meses en ser publicadas como se mencionó anteriormente.

- i3. Trabajos académicos

La tendencia de los trabajos académicos se ubica en el inicio de la etapa de madurez de acuerdo con su valor de tm (tiempo medio) en la Figura 8. Este indicador muestra que, para la academia y según el ciclo de vida,

es una tecnología líder o “tecnología clave”, con lo cual tendrá un auge en desarrollo de nuevos productos y procesos y continuará en vigencia hasta aproximadamente 2029, período para el cual entrará en etapa de saturación que culminará con la etapa de retiro en 2037.

#### i4. Capital humano

El capital humano es un indicador que permite inferir la atracción por la comunidad científica hacia esta tecnología (Figura 9), es decir que, la tecnología de superficies antibacteriales y autolimpiantes es aún un campo de investigación atractivo para los actuales y futuros investigadores de la industria y de la academia. De acuerdo con el modelo logístico aplicado a este indicador, la comunidad enfocada en las superficies autolimpiantes y antibacteriales tendrá un estimado de 3856 inventores durante el ciclo de vida de esta tecnología y será un tema de interés para el mercado hasta el año 2042, según la estimación del modelo.

De acuerdo con las aproximaciones de Yoon, se calculó el TMR, PPA y ERL para 3 indicadores y para el indicador 4 únicamente el parámetro TMR.

**Tabla 8.** Aproximaciones de Yoon calculadas para superficies autolimpiantes basadas en TiO<sub>2</sub>

Indicador	TMR	PPA	ERL (90%)	ERL (99%)
1	48.21%	437	13	26
2	44.63%	1023	14	27
3	44.50%	806	8	16
4	72.00%	No aplica	No aplica	No aplica

Para dar un concepto de la tasa de madurez de la tecnología, se realizó un promedio dando el mismo peso a cada uno de los TMR obtenidos, debido a que cada uno representa un sector diferente que influye directamente en el comportamiento de la tecnología, puesto que recopila información de patentes, trabajos académicos y personal dedicadas a este campo.

La tasa de madurez tecnológica promedio (TMR) para los cuatro indicadores es del 51.48% por tanto esta tecnología se ubica en etapa de madurez del modelo logístico y por lo tanto este campo está vigente para el desarrollo de productos y

procesos innovadores en este mercado, lo cual puede representar una oportunidad de inversión en este sector, debido a que es poco el tiempo que lleva en esta categoría.

Con respecto a la columna PPA, es posible identificar que aún quedan patentes por solicitar en lo que resta del ciclo de vida de la tecnología, como también la cantidad de trabajos académicos relacionados en el tema. Estos parámetros concuerdan con las estadísticas mostradas en la tabla 7 y con la figura 1, puesto que la tecnología se encuentra en etapa de madurez de acuerdo con ambos métodos aplicados a los 4 indicadores.

Como se aprecia en la columna del ERL (90%), la tecnología al estar en etapa de madurez y de acuerdo con Ernst [26] se espera que los desarrollos que aparezcan en cada rango mencionado sean enfocados en la elaboración de nuevos productos o procesos ya que se clasifica como “tecnología líder” y posteriormente en ERL (99%) el desarrollo esté dirigido a la reducción de costos en los procesos de producción.

No se consideran los parámetros PPA y ERL para el capital humano acumulado debido a que no representan una interpretación significativa (no aplican – NA).

## 4 Conclusiones

Lens es un software libre que permite el análisis de patentes para determinar un concepto desde el campo de la ingeniería sobre la tecnología estudiada en este trabajo, sin embargo, cuenta con limitaciones con respecto a las bases de datos de China, lo cual puede repercutir en la identificación de países líderes en la tecnología, no obstante, Lens al ser un software de libre acceso es de gran utilidad ya que la aproximación resultante del análisis es suficientemente acertada para dar un concepto sobre el estado de madurez de una tecnología en particular, en este caso de las superficies antibacteriales y autolimpiantes de TiO<sub>2</sub>/ZnO. Así mismo, es una herramienta muy útil para dar una primera impresión sobre el análisis de patentes y trabajos académicos por su facilidad de manejo.

El ciclo de vida tecnológico para la aplicación de los nanomateriales está empezando su etapa de madurez y por tanto se considera como una “tecnología clave” con alto impacto competitivo y alta integración de productos. El forecasting para esta tecnología estima que estará vigente hasta el año 2035 como tecnología líder y tendrá un reemplazo tecnológico a partir del año 2048 que es donde finaliza su etapa de retiro.

La cantidad de patentes enfocadas en los recubrimientos con nanomateriales y procesos de desinfección se podría ver potenciada en el futuro debido a la situación actual de pandemia, ya que la desinfección en espacios cerrados se ha convertido en un factor crucial para el desarrollo de las actividades cotidianas, enfocando la atención y esfuerzos de la comunidad científica y la industria por implementar procesos de sanitización más eficientes y con un espectro más amplio.

## Referencias

- [1] H. Cheng et al., “The bifunctional regulation of interconnected Zn-incorporated ZrO<sub>2</sub> nanoarrays in antibiosis and osteogenesis”, *Biomater. Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 665-680, 2015, 10.1039/c4bm00263f
- [2] C. P. Betancur, V. Hernández Montes, and R. Buitrago Sierra, “Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio”, *Rev. Cuba. Investig. Biomed.*, vol. 35, no. 4, pp. 366-381, 2016.
- [3] C. Bouki, D. Venieri, and E. Diamadopoulou, “Detection and fate of antibiotic resistant bacteria in wastewater treatment plants: A review”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 91, no. February, pp. 1-9, 2013, 10.1016/j.ecoenv.2013.01.016
- [4] K. Szmajnta and M. M. Szindler, “Influence of uv radiation on tio<sub>2</sub> nanoparticles antibacterial behaviour”, *Arch. Mater. Sci. Eng.*, vol. 101, no. 1, pp. 25-31, 2020, 10.5604/01.3001.0013.9503
- [5] Y. Xing, X. Li, X. Guo, W. Li, J. Chen, and Q. Liu, “Effects of Different TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Concentrations on the Physical and Antibacterial Activities of Chitosan-Based Coating Film”.
- [6] Y. Xing et al., “Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the antibacterial and physical properties of polyethylene-based film”, *Prog. Org. Coatings*, vol. 73, no. 2-3, pp. 219-224, 2012, 10.1016/j.porgcoat.2011.11.005
- [7] L. Frunza et al., “Photocatalytic activity of wool fabrics deposited at low temperature with ZnO or TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Methylene blue degradation as a test reaction”, *Catal. Today*, vol. 306, pp. 251-259, 2018, 10.1016/j.cattod.2017.02.044
- [8] A. A. Hebeish, M. M. Abdelhady, and A. M. Youssef, “TiO<sub>2</sub> nanowire and TiO<sub>2</sub> nanowire doped Ag-PVP nanocomposite for antimicrobial and self-cleaning cotton textile”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 91, no. 2, pp. 549-559, 2013, 10.1016/j.carbpol.2012.08.068
- [9] N. Sulong and A. Z. M. Rus, “Influence of TiO<sub>2</sub> on selfclean bio coating”, *Appl. Mech. Mater.*, vol. 315, pp. 399-403, 2013, 10.4028/www.scientific.net/AMM.315.399.
- [10] T. Matsunaga, R. Tomoda, T. Nakajima, and H. Wake, “Photoelectrochemical sterilization of microbial cells by semiconductor powders”, *FEMS Microbiol. Lett.*, vol. 29, no. 1-2, pp. 211-214, 1985, 10.1111/j.1574-6968.1985.tb00864.x.
- [11] C. Xu, J. Zheng, and A. Wu, “Antibacterial applications of TiO<sub>2</sub> nanoparticles”, *TiO<sub>2</sub>*, pp. 105-132, 2020, 10.1002/9783527825431.ch3
- [12] Y. Wang, X. Xue, and H. Yang, “Modification of the antibacterial activity of Zn/TiO<sub>2</sub> nanomaterials through different anions doped”, *Vacuum*, vol. 101, pp. 193-199, 2014, 10.1016/j.vacuum.2013.08.006
- [13] S. Chang et al., “Mg<sub>2</sub> TiO<sub>4</sub> spinel modified by nitrogen doping as a Visible-Light-Active photocatalyst for antibacterial activity”, *Chem. Eng. J.*, vol. 410, no. January, p. 128410, 2021, 10.1016/j.cej.2021.128410.

- [14] R. S. Sonawane, B. B. Kale, and M. K. Dongare, "Preparation and photo-catalytic activity of Fe-TiO<sub>2</sub> thin films prepared by sol-gel dip coating", *Mater. Chem. Phys.*, vol. 85, no. 1, pp. 52-57, 2004, 10.1016/j.matchemphys.2003.12.007
- [15] B. M. Huong, "Application of Self-Cleaning Treatment on Cotton and Pes/co Fabric Using TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> Coating Synthesized by Sol-Gel Method", *Vietnam J. Sci. Technol.*, vol. 55, no. 1B, p. 77, 2018, 10.15625/2525-2518/55/1b/12094
- [16] A. Fujishima, X. Zhang, and D. A. Tryk, "TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena", *Surf. Sci. Rep.*, vol. 63, no. 12, pp. 515-582, 2008, 10.1016/j.surfrep.2008.10.001
- [17] N. T. Padmanabhan and H. John, "Titanium dioxide based self-cleaning smart surfaces: A short review", *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 5, p. 104211, 2020, 10.1016/j.jece.2020.104211
- [18] S. M. Gupta and M. Tripathi, "A review of TiO<sub>2</sub> nanoparticles", *Chinese Sci. Bull.*, vol. 56, no. 16, pp. 1639-1657, 2011, 10.1007/s11434-011-4476-1
- [19] M. Pelaez et al., "A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications", *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 125, pp. 331-349, 2012, 10.1016/j.apcatb.2012.05.036
- [20] J. Jeevanandam, A. Barhoum, Y. S. Chan, A. Dufresne, and M. K. Danquah, "Review on nanoparticles and nanostructured materials: History, sources, toxicity and regulations", *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1050-1074, 2018, 10.3762/bjnano.9.98
- [21] H. D. M. Villela, R. S. Peixoto, A. U. Soriano, and F. L. Carmo, "Microbial bioremediation of oil contaminated seawater: A survey of patent deposits and the characterization of the top genera applied", *Sci. Total Environ.*, vol. 666, pp. 743-758, 2019, 10.1016/j.scitotenv.2019.02.153
- [22] I. Hamidah, R. E. Pawinanto, B. Mulyanti, and J. Yunas, "A bibliometric analysis of micro electro mechanical system energy harvester research", *Heliyon*, vol. 7, no. 3, p. e06406, 2021, 10.1016/j.heliyon.2021.e06406
- [23] F. Machuca-Martinez, R. C. Amado, and O. Gutierrez, "Coronaviruses: A patent dataset report for research and development (R&D) analysis", *Data Br.*, vol. 30, p. 105551, 2020, 10.1016/j.dib.2020.105551
- [24] C. Ziegler, T. Sinigaglia, M. E. S. Martins, and A. M. Souza, "Technological advances to reduce apis mellifera mortality: A bibliometric analysis", *Sustain.*, vol. 13, no. 15, 2021, 10.3390/su13158305
- [25] D. Kochetkov and M. Almaganbetov, "Using Patent Landscapes for Technology Benchmarking: A Case of 5G Networks", pp. 20-28, 2021.
- [26] H. Ernst, "The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC-Technology in the Machine Tool Industry", *Small Bus. Econ.*, vol. 9, no. 4, pp. 361-381, 1997, 10.1023/A:1007921808138
- [27] P. S. Meyer, J. W. Yung, and J. H. Ausubel, "A Primer on Logistic Growth and Substitution: The Mathematics of the Loglet Lab Software", *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 61, no. 3, pp. 247-271, 1999, 10.1016/s0040-1625(99)00021-9
- [28] J. Yoon, Y. Park, M. Kim, J. Lee, and D. Lee, "Tracing evolving trends in printed electronics using patent information", *J. Nanoparticle Res.*, vol. 16, no. 7, 2014, 10.1007/s11051-014-2471-6
- [29] L. Gao et al., "Technology life cycle analysis method based on patent documents", *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 80, no. 3, pp. 398-407, 2013, 10.1016/j.techfore.2012.10.003

- [30] M. Dehghanimadvar, R. Shirmohammadi, M. Sadeghzadeh, A. Aslani, and R. Ghasempour, "Hydrogen production technologies: Attractiveness and future perspective", *Int. J. Energy Res.*, vol. 44, no. 11, pp. 8233-8254, 2020, 10.1002/er.5508
- [31] C. L. Æ. J. Wang, "Forecasting the development of the biped robot walking technique in Japan through S-curve model analysis", no. 152, pp. 21-36, 2010, 10.1007/s11192-009-0055-5
- [32] X. Wu, "Application of Logistic Model in City Development Forecast", *Proc. 2017 2nd Int. Conf. Mater. Sci. Mach. Energy Eng. (MSMEE 2017)*, vol. 123, no. Msme, pp. 706-710, 2017, 10.2991/msmee-17.2017.137
- [33] G. Mao, H. Hu, X. Liu, J. Crittenden, and N. Huang, "A bibliometric analysis of industrial wastewater treatments from 1998 to 2019", *Environ. Pollut.*, vol. 275, p. 115785, 2021, 10.1016/j.envpol.2020.115785
- [34] M. E. Leitch, E. Casman, and G. V. Lowry, "Nanotechnology patenting trends through an environmental lens: Analysis of materials and applications", *J. Nanoparticle Res.*, vol. 14, no. 12, 2012, 10.1007/s11051-012-1283-9
- [35] J. Yoon, B. Jeong, W. H. Lee, and J. Kim, "Tracing the Evolving Trends in Electronic Skin (e-Skin) Technology Using Growth Curve and Technology Position-Based Patent Bibliometrics", *IEEE Access*, vol. 6, no. June, pp. 26530-26542, 2018, 10.1109/ACCESS.2018.2834160
- [36] M. Baumann et al., "Comparative patent analysis for the identification of global research trends for the case of battery storage, hydrogen and bioenergy", *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 165, no. January, 2021, 10.1016/j.techfore.2020.120505
- [37] B. Degroote and P. Held, "Analysis of the patent documentation coverage of the CPC in comparison with the IPC with a focus on Asian documentation", *World Pat. Inf.*, vol. 54, pp. S78-S84, 2018, 10.1016/j.wpi.2017.10.001
- [38] R. James, J. Baker, A. Shih, and T. Hamouda, "Non-toxic antimicrobial composition and methods of use".
- [39] R. Dacey, R. Hyde, M. Ishikawa, and J. Kare, "US\_8706211\_B2 - Systems, devices and methods including catheters having self-cleaning surfaces".
- [40] "About Akeso Biomedical". <https://www.akesobiomedical.com/about.html> (accessed Oct. 14, 2021).
- O. A. Jefferson et al., "Erratum: Mapping the global influence of published research on industry and innovation", *Nat. Biotechnol.*, vol. 36, no. 8, p. 772, 2018, 10.1038/nbt0818-772a
- Lens.org, "Support Center Scholarly Search". <https://support.lens.org/help-resources/search/scholarly-search/> (accessed Oct. 04, 2021).
- [41] LogletLab4, "Documentation Loglet Lab4". <https://logletlab.com/loglet/documentation/index> (accessed Oct. 11, 2021).