

# Cu-paper: investigación, diseño y ciencia para la transformación de recursos locales en innovación global

## *Cu-paper: Research, Design, and Science to Transform Local Resources into Global Innovation*

ALEJANDRA AMENÁBAR FIGUEROA, PAULINA CONTRERAS CORREA Y NATALY SILVA GONZÁLEZ

FACULTAD DE DISEÑO, UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO

FOTO\_ PHOTO\_ ARCHIVO FACULTAD DE DISEÑO

INFOGRAFÍA\_ INFOGRAPHICS\_ MARÍA PÍA ÁLVAREZ

EL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES DE LA FACULTAD DE DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO (DISEÑO UDD) PRESENTA EL PROYECTO CU-PAPER, PAPEL ANTIMICROBIANO EN BASE A DOS RECURSOS NATURALES CLAVE DEL PAÍS: COBRE Y CELULOSA. ESTA INVESTIGACIÓN, INICIADA EN 2013, HA COMPRENDIDO PRUEBAS DE CONCEPTO EN LABORATORIO, GENERACIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE COBRE, SU APLICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES EN COLABORACIÓN CON LA EMPRESA FORESTAL Y PAPELERA CONCEPCIÓN S.A. (FPC), Y LA VALIDACIÓN DE SU EFECTIVIDAD ANTIBACTERIANA, ANTIFÚNGICA Y ANTIVIRAL FRENTE A SARS-COV-2. SE CONVIERTE, DE ESTE MODO, EN UNA TECNOLOGÍA QUE LIMITA LA TRANSMISIÓN FÓMITE, AMPLIANDO LAS PROPIEDADES DEL PAPEL, OFRECIENDO LA POSIBILIDAD DE SER APLICADO EN RUBROS DONDE EL PAPEL ES EL PRINCIPAL COMPONENTE Y ABIRIENDO POSIBLES APLICACIONES EN ÁREAS COMO CONSTRUCCIÓN, SALUD, PACKAGING, FILTROS, SENSORES, MODA, ENTRE OTRAS. ADEMÁS, LA INTEGRACIÓN DEL PROYECTO EN LA FORMACIÓN ACADÉMICA DE ESTUDIANTES DE DISEÑO, A TRAVÉS DE TALLERES, HA FACILITADO EL DESARROLLO DE APLICACIONES INNOVADORAS DEL PAPEL ANTIMICROBIANO; ENTRE ELLAS, DESTACA LA EXPOSICIÓN EN EL SALONE SATELLITE DE MILÁN 2023. CABE CONSIDERAR QUE ESTA INVESTIGACIÓN RESULTÓ EN LA PRIMERA PATENTE NACIONAL E INTERNACIONAL DE LA UNIVERSIDAD, DESTACANDO EL COMPROMISO DE CHILE Y UDD CON EL DESARROLLO DE MATERIALES AVANZADOS.

THE MATERIALS RESEARCH TEAM OF THE SCHOOL OF DESIGN AT UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO (DISEÑO UDD) PRESENTS THE CU-PAPER PROJECT, AN ANTIMICROBIAL PAPER BASED ON TWO KEY NATURAL RESOURCES OF THE COUNTRY: COPPER AND CELLULOSE. THIS RESEARCH BEGAN IN 2013 AND INVOLVED SEVERAL KEY COMPONENTS: LABORATORY PROOFS OF CONCEPT, THE GENERATION OF COPPER MICROPARTICLES, AND THEIR APPLICATION IN INDUSTRIAL PROCESSES IN COLLABORATION WITH FORESTAL Y PAPELERA CONCEPCIÓN S.A. (FPC). ADDITIONALLY, THE STUDY HAS VALIDATED THESE MICROPARTICLES' ANTIBACTERIAL, ANTIFUNGAL, AND ANTIVIRAL EFFECTIVENESS AGAINST SARS-COV-2. IT THUS BECOMES A TECHNOLOGY THAT LIMITS FOMITE TRANSMISSION, EXPANDING THE PROPERTIES OF PAPER AND OFFERING THE POSSIBILITY OF BEING APPLIED IN AREAS WHERE PAPER IS THE MAIN COMPONENT. IT OPENS POSSIBLE FUTURE APPLICATIONS IN CONSTRUCTION, HEALTH, PACKAGING, FILTERS, SENSORS, AND FASHION. IN ADDITION, THE PROJECT WAS INTEGRATED INTO THE ACADEMIC TRAINING OF DESIGN STUDENTS THROUGH WORKSHOPS TO DEVELOP INNOVATIVE APPLICATIONS OF ANTIMICROBIAL PAPER, INCLUDING THE EXHIBITION AT THE SALONE SATELLITE IN MILAN IN 2023. THIS RESEARCH LED TO THE UNIVERSITY'S FIRST NATIONAL AND INTERNATIONAL PATENT, DEMONSTRATING CHILE AND UDD'S COMMITMENT TO ADVANCING MATERIAL DEVELOPMENT.



El proyecto Cu-paper surge de la visión estratégica de la Facultad de Diseño UDD, que busca integrar el diseño y la ciencia para el desarrollo de nuevos materiales sostenibles y aprovechar la oportunidad de combinar dos de las principales materias primas de Chile: la celulosa y el cobre. En 2023, Chile se posicionó como líder mundial en la producción de cobre, alcanzando aproximadamente 5 millones de toneladas métricas, lo que representa el 23% de la producción global (Pistilli, 2024; Guyon et al., 2023). En cuanto a la celulosa, Chile produjo alrededor de 5,2 millones de toneladas en 2022, consolidándose como el octavo productor a nivel mundial y el cuarto mayor exportador (Guyon et al., 2023).

Cu-paper capitaliza las propiedades antimicrobianas del cobre, ampliamente respaldadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (Lee, 2019), y la versatilidad de la celulosa para innovar en el diseño de soluciones que contribuyan a mejorar la salud y la higiene, considerando el compromiso con el medio ambiente y aportando a la economía local.

El presente artículo describe brevemente las siguientes cinco etapas del proyecto de desarrollo tecnológico: 1) prueba de concepto en laboratorio, 2) prueba industrial, 3) generación de partículas de cobre a gran escala, 4) optimización de parámetros aplicados en planta papelera y 5) vinculación de investigación con pregrado (Figura 1).

*The Cu-paper project arises from the strategic vision of the School of Design at UDD, which aims to integrate design and science to develop new sustainable materials—in the case of Cu-paper, taking advantage of the opportunity to combine two of Chile's primary raw materials: cellulose and copper. In 2023 Chile positioned itself as the world leader in copper production, reaching approximately 5 million metric tons, representing 23% of the global output (Pistilli, 2024; Guyon et al., 2023). Regarding cellulose pulp, Chile produced around 5.2 million tonnes in 2022, consolidating its position as the world's eighth-largest producer and fourth-largest exporter (Guyon et al., 2023).*

*Cu-paper leverages the antimicrobial properties of copper, which are widely supported by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (Lee, 2019), along with the versatility of cellulose. This innovative approach aims to design solutions that enhance health and hygiene while prioritizing environmental sustainability and supporting the local economy.*

*This article briefly describes the following five stages of the technology development project: 1) Laboratory proof of concept, 2) Industrial testing, 3) Large-scale copper particle generation, 4) Optimisation of parameters applied in a paper plant, and 5) Linking research with undergraduate studies (Figure 1).*

# Línea de tiempo desarrollo Cu-Paper

## Papel antimicrobiano con base en celulosa y cobre

### Cu-Paper development timeline

### Antimicrobial paper based on cellulose and copper

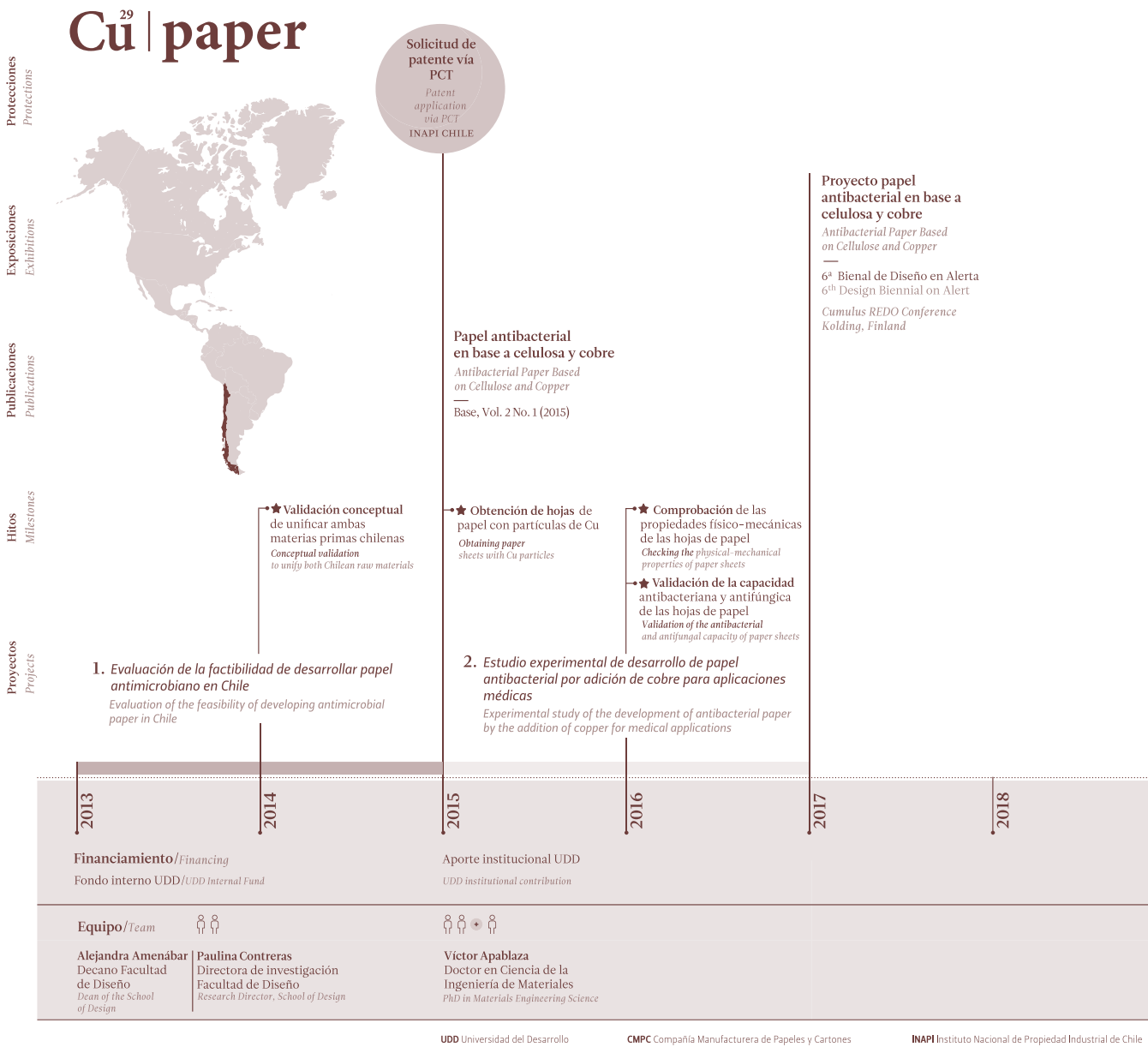
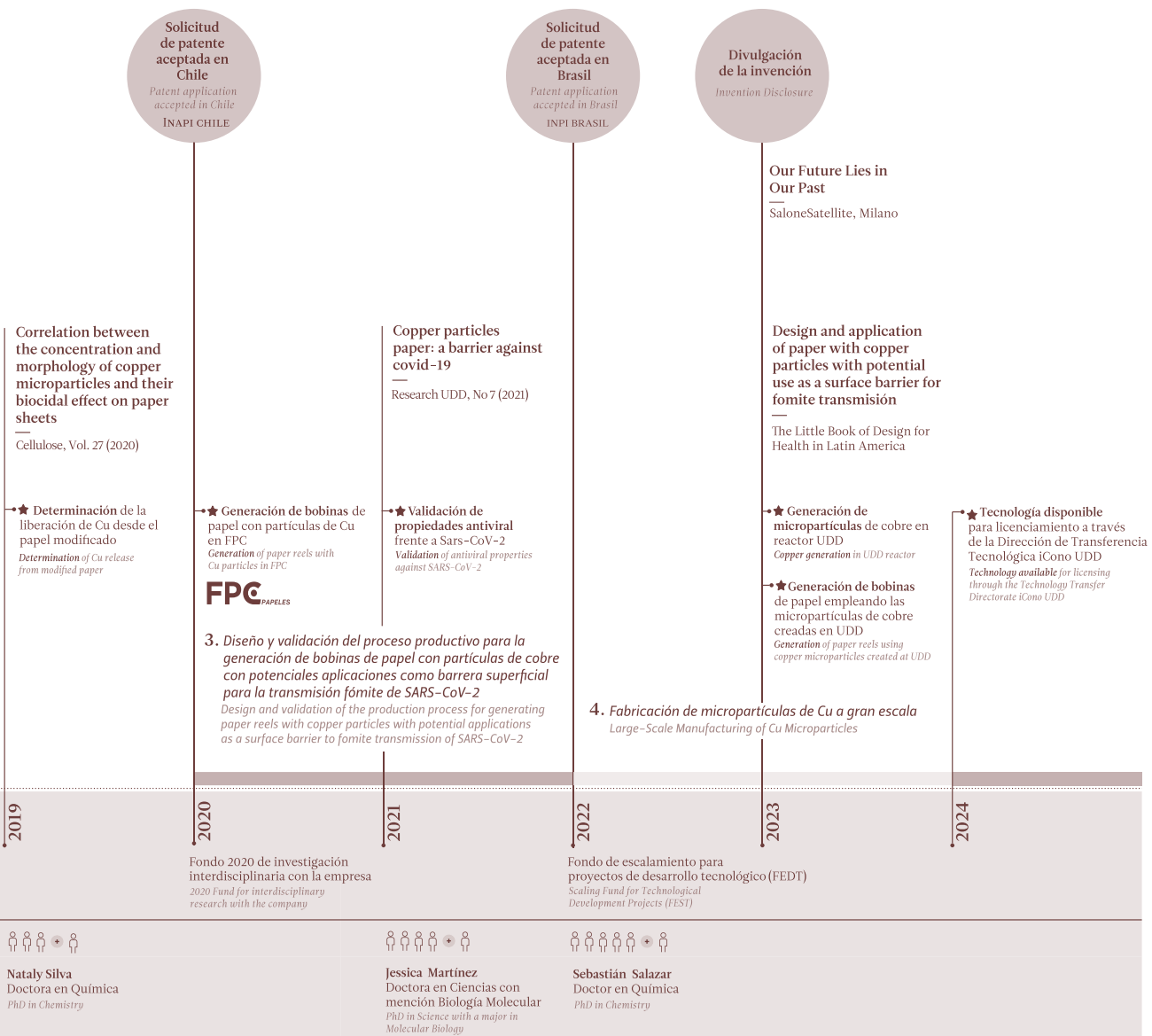


Fig. 1. Línea de tiempo del desarrollo tecnológico del papel antimicrobiano.  
Fig. 1. Diagram describing the objective of Biodesign in Schools pedagogical proposal.



LABEN Centro de innovación en envases y embalajes en Chile

PUC Unidad de virología aplicada BSL3

INPI Instituto Nacional de Propiedad Industrial de Brasil

### 1. PRUEBAS DE CONCEPTO: EXPLORANDO EL POTENCIAL DEL COBRE Y LA CELULOSA

El proyecto “Evaluación de la factibilidad de desarrollar papel antimicrobiano en Chile”, liderado por la decano e investigadora Alejandra Amenábar, con apoyo de la directora de Investigación, Paulina Contreras, y la colaboración externa de Víctor Apablaza, doctor en Ciencias de la Ingeniería de los Materiales, se ejecutó con el financiamiento del Concurso Interno 2013 de la Dirección de Investigación y Doctorados (DID) de la UDD, y la colaboración con el Centro I+D de la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC), donde se realizaron pruebas iniciales para combinar micropartículas de cobre (MPCu) adquiridas comercialmente y celulosa. Se definieron dos tipos de formatos de cobre, laminares y mixtos, y se mezclaron en distintas proporciones con pulpa de celulosa según la Norma ISO 5269-1:2005, obteniendo doce muestras de hojas de papel de 16 cm de diámetro (Figura 2). Las muestras fueron sometidas a la evaluación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas de acuerdo con los estándares de la industria papelera, resultando papeles que mantienen las características del material original. Adicionalmente, se evaluaron las propiedades antibacterianas y antifúngicas de las muestras en el Laboratorio de Microbiología y Probióticos del INTA de la Universidad de Chile, evidenciando que solo los papeles con mayor contenido de cobre presentan dicha actividad biocida. Parte de los resultados obtenidos fueron publicados en los artículos: “Papel antibacterial en base a celulosa y cobre”, publicado en 2015 por Base Diseño e Innovación (Vol. 2, Núm.1, 36-49), y “Correlation between the concentration and morphology of copper microparticles and their biocidal effect on paper sheets”, publicado por Cellulose en 2020 (Vol. 27, 4721-4743). Dichos resultados permitieron levantar la información necesaria para realizar la prueba de concepto y proteger así la tecnología de incorporación de MPCu en la etapa de generación de las hojas de papel. La patente titulada “Materiales basados en celulosa que incorporan un agente biocida basado en cobre” fue aceptada por INAPI en 2020 y por INPI-Brasil en el 2022.

Esta etapa permitió validar la factibilidad de generar papel antimicrobiano mediante la incorporación de partículas de cobre en una prueba de concepto comprobada y escalable. Además, abrió nuevas directrices de investigación y planteó desafíos tecnológicos relacionados con las características de las partículas de cobre —tales como su morfología, tamaño, estado de oxidación y recubrimiento—, y los factores que influyen en su adhesión al papel. Asimismo, se exploraron diferentes estrategias de incorporación del cobre, cuestionándonos si la adición de cobre durante la etapa inicial del proceso de fabricación, junto con la pulpa, era la ruta más eficiente o si la incorporación del cobre durante la formación del papel podría mejorar la retención entre las fibras de celulosa.

### 1. PROOFS OF CONCEPT: EXPLORING THE POTENTIAL OF COPPER AND CELLULOSE

The project “Evaluation of the feasibility of developing antimicrobial paper in Chile,” was led by the dean and researcher Alejandra Amenábar, with support from the research director, Paulina Contreras, and Víctor Apablaza, PhD in Materials Engineering Sciences (external collaboration). It was carried out with funding from the 2013 Internal Competition of the UDD’s Directorate of Research and Doctorates (DID), in collaboration with the R&D Centre of Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC). Initial tests were conducted at CMPC to combine commercially purchased copper microparticles (MPCu) and cellulose. Two types of copper formats, laminar and mixed, were defined and combined in different proportions with cellulose pulp according to ISO 5269-1:2005, obtaining 12 samples of 16 cm diameter paper sheets (Figure 2). In addition, the antibacterial and antifungal properties of the samples were evaluated at the Microbiology and Probiotics Laboratory of the INTA at Universidad de Chile, showing that only the papers with the highest copper content have this biocidal activity. Part of the results obtained was published in the articles: “Antibacterial paper based on cellulose and copper”, published in 2015 by Base Diseño e Innovación (Vol. 2, Núm.1, 36-49), and “Correlation between the concentration and morphology of copper microparticles and their biocidal effect on paper sheets”, published by Cellulose in 2020 (Vol. 27, 4721-4743). These results provided the necessary information to conduct the proof of concept and protect the technology for incorporating MPCu during the paper sheet generation stage. The patent entitled “Cellulose-based materials incorporating a copper-based biocidal agent” was accepted by INAPI in 2020 and INPI-Brasil in 2022.

This step validated the feasibility of generating antimicrobial paper by incorporating copper particles in a proven and scalable proof of concept. Additionally, it introduced new research directions and technological challenges related to the characteristics of copper particles, such as their morphology, size, oxidation state, and coating, as well as the factors influencing their adhesion to paper. We investigated various strategies to incorporate copper into the manufacturing process. Specifically, we examined whether adding copper at the initial stage, along with the pulp, was the most efficient approach or if incorporating copper during the paper formation process would enhance retention between the cellulose fibers.



47  
 Fig. 2. Pruebas de concepto en laboratorio (2014).

Fig. 2. Laboratory proof of concept (2014).

## 2. PRUEBA INDUSTRIAL: SUPERANDO LOS LÍMITES DEL LABORATORIO

En 2019, el equipo de investigación de Cu-Paper se fortaleció con la incorporación de la doctora en Química, Nataly Silva. La segunda etapa del proyecto corresponde al “Diseño y validación del proceso productivo para la generación de bobinas de papel con partículas de cobre con potenciales aplicaciones como barrera superficial para la transmisión fómite de SARS-CoV-2”, el cual recibió financiamiento por medio del Fondo 2020 de “Investigación Interdisciplinaria con la Empresa” de la DID UDD. Es importante destacar que, durante la pandemia, los proyectos enfocados en la creación de materiales antimicrobianos adquirieron un rol prioritario.

En esta etapa, el proceso productivo del material se ejecutó en las instalaciones de Forestal y Papeleras Concepción (FPC), donde se realizaron pruebas a mayor escala para validar la viabilidad del proceso industrial. Estas pruebas ayudaron a optimizar la incorporación de MPCu en la matriz de celulosa, dotando al papel de propiedades biocidas. Se utilizaron micro y nanopartículas de cobre adquiridas comercialmente, las cuales fueron aplicadas mediante un sistema de asperjado provisto por la empresa Spray System. Las partículas en suspensión acuosa se asperjaron en la etapa previa al secado de la pulpa de celulosa. Se llevaron a cabo cuatro pruebas industriales, variando la cantidad de partículas incorporadas, lo que resultó en la producción de bobinas de papel de aproximadamente 2 metros de ancho por 200 metros de largo. Posteriormente, se evaluó la distribución del cobre en cada bobina mediante un analizador portátil de fluorescencia de rayos X (XRF). Además, en esta etapa se incorporó la doctora Jessica Martínez, especialista en ciencias con mención en Biología de la Facultad de Medicina de la UDD, quien evaluó la capacidad antimicrobiana del papel a través de una serie de análisis que incluyeron bacterias Gram (+), Gram (-) y cepas fúngicas. Finalmente, se evaluó la capacidad antiviral del papel frente a SARS-CoV-2 en la Unidad de Virología Aplicada BSL3 de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Esta etapa permitió validar la factibilidad de producir este material antimicrobiano (bacteriano, fúngico y antiviral) a gran escala, lo que planteó nuevos desafíos relacionados con la optimización del proceso. Uno de los principales retos fue minimizar la pérdida de material en el sistema de asperjado, lo que demandó la creación de un sistema propio que cumpliera con los requisitos específicos para el uso de suspensiones acuosas de MPCu. Además, se trabajó en reducir los costos de producción de las partículas, lo que impulsó el desarrollo de una metodología propia para la generación de MPCu a gran escala.

Los resultados de esta etapa fueron publicados en el capítulo “Design and Application of Paper with Copper Particles with Potential Use as a Surface Barrier for Fomite Transmission” del libro “The Little Book of Design for Health

## 2. INDUSTRIAL TESTING: PUSHING THE LIMITS OF THE LABORATORY

In 2019, the Cu-Paper research team was strengthened by adding Nataly Silva, PhD in Chemistry. The second stage of the project corresponds to the “Design and validation of the production process for generating paper reels embedded with copper particles, which have potential applications as a surface barrier to prevent the fomite transmission of SARS-CoV-2”. This stage was funded through the 2020 Fund for “Interdisciplinary Research with Businesses” of the DID at UDD. Importantly, projects focused on developing antimicrobial materials took centre stage during the pandemic.

At this point, the material production process was conducted at the Forestal y Papeleras Concepción (FPC) facilities, where larger-scale tests were performed to confirm the viability of the industrial process. These tests optimized the incorporation of MPCu into the cellulose matrix, endowing the paper with biocidal properties. Commercially purchased copper micro and nanoparticles were applied using a system provided by Spray System. The particles in aqueous suspension were sprayed in before drying the cellulose pulp. Four industrial trials were performed, varying the number of particles incorporated, producing paper rolls approximately 2 meters wide by 200 meters long. Subsequently, the distribution of copper in each coil was assessed using a portable X-ray fluorescence (XRF) analyser. At this stage, Dr. Jessica Martínez, a science specialist with a background in Biology from the School of Medicine at UDD, joined the project. She conducted a series of analyses to evaluate the antimicrobial properties of the paper, testing its effectiveness against both Gram-positive and Gram-negative bacteria, as well as various fungal strains. Finally, the paper's antiviral capacity was assessed against SARS-CoV-2 at the BSL3 Applied Virology Unit of Pontificia Universidad Católica de Chile.

This step confirmed the feasibility of producing this antimicrobial material (bacterial, fungal, and antiviral) on a large scale, introducing new challenges related to process optimisation. One of the main challenges was minimizing material loss in the spray system, which required creating a proprietary system that met the specific requirements for using aqueous MPCu suspensions. In addition, work was done to reduce particle production costs, which prompted the development of a proprietary methodology for large-scale MPCu generation.

The results of this stage were published in the chapter “Design and Application of Paper with Copper Particles with Potential Use as a Surface Barrier for Fomite Transmission” in the book “The Little Book of Design for Health in Latin America” (2022, pp. 68-75), as well as in the article “Copper Particles Paper: A Barrier Against COVID-19” in the Investigación Journal of UDD (pp. 18-23).

In addition, a short communication entitled “Copper-Modified Cellulose Paper: A Comparative Study of How Antimicrobial Activity Is Affected by Particle Size and Testing Standards” was published in the International Journal of Molecular Sciences (Vol. 26, pp. 480-490).

in Latin America” (2022, pp. 68–75), así como en el artículo “Copper Particles Paper: A Barrier Against COVID-19” en la revista *Investigación UDD* (pp. 18–23).

Además se publicó un short communication titulado “Copper-Modified Cellulose Paper: A Comparative Study of How Antimicrobial Activity Is Affected by Particle Size and Testing Standards”, en la revista *International Journal of Molecular Science* (2025, Vol. 26 pp. 480–490)

### 3. EXPLORANDO MÉTODOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PARTÍCULAS DE COBRE A GRAN ESCALA

La tercera etapa del proyecto, enfocada en la producción a gran escala de micropartículas de cobre (MPCu), fue financiada por el Fondo de Escalamiento para Proyectos de Desarrollo Tecnológico (FEDT) 2022, liderada por la doctora Nataly Silva y ejecutada por el doctor en Química Sebastián Salazar. Durante esta etapa, se evaluaron tres métodos para la generación masiva de partículas: molienda mecánica, síntesis mediante reducción química de sales de metales de transición y electrólisis.

El método de molienda mecánica destacó por su rapidez y por la capacidad de producir MPCu sin necesidad de agentes reductores o estabilizantes adicionales. La síntesis mediante electrólisis se distinguió por la alta cristalinidad, pureza y estabilidad de las partículas obtenidas. Por su parte, el método de reducción química ofreció rapidez y escalabilidad en la conversión de sales de cobre.

A través de análisis de difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica, se evaluaron el carácter metálico o de óxido, la morfología y el tamaño de las MPCu generadas con cada método (Figura 3).

### 3. EXPLORING METHODS FOR LARGE-SCALE COPPER PARTICLE PRODUCTION

The third stage of the project, focused on the large-scale production of copper microparticles (MPCu), was funded by the Scaling Up Fund for Technology Development Projects (FEDT) 2022, led by Dr Nataly Silva and executed by PhD in Chemistry, Dr Sebastián Salazar. In this stage, three methods for generating mass particles were evaluated: mechanical milling, electrolysis synthesis, and chemical reduction of transition metal salts.

The mechanical milling method was noted for its speed and ability to produce MPCu without additional reducing agents or stabilisers. The high crystallinity, purity, and stability of the particles obtained distinguished the synthesis by electrolysis. The chemical reduction method offered speed and scalability in converting copper salts.

Through X-ray diffraction, optical, and electron microscopy analyses, the metallic or oxide character, morphology, and size of the MPCu generated by each method were evaluated (Figure 3).

This phase enabled the demonstration of producing MPCu at a large scale and allowed for an economic evaluation of each method to estimate its potential for industrial implementation. Furthermore, it enabled the pursuit of the next technological challenge: incorporating these MPCu into large-scale paper production. The objective was to assess whether the new physico-chemical characteristics associated with each generation method would interfere with the incorporation process and the properties of the resulting paper reels.

The state-of-the-art analysis resulted in the publication of a literature review titled “Review on Generation and Characterization of Copper Particles and Copper Composites Prepared by Mechanical Milling on a Lab-Scale,” published in the *International Journal of Molecular Sciences* (2023, Vol. 24, pp. 7933–7950).

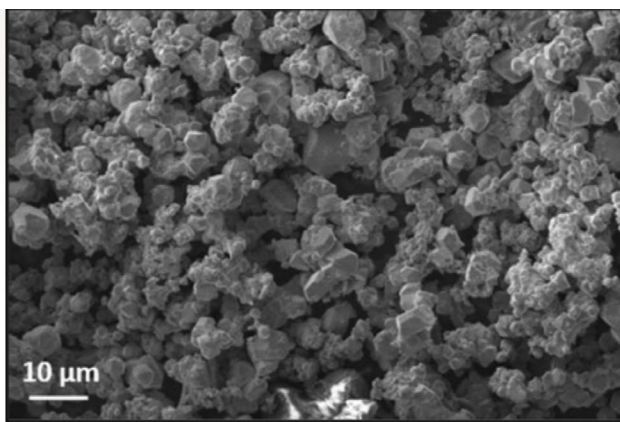
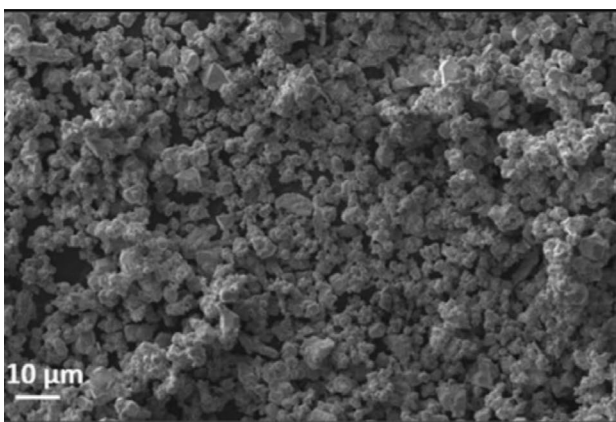


Fig. 3. Partículas de cobre generadas a gran escala. Síntesis mediante reducción química (izquierda) y electrólisis (derecha).  
Fig. 3. Copper particles generated on a large scale. Synthesis by chemical reduction (left) and electrolysis (right).

Esta etapa permitió demostrar la viabilidad de producir MPCu a gran escala y realizar una evaluación económica de cada método para estimar su potencial implementación industrial. Además, permitió continuar con el siguiente desafío tecnológico: incorporar estas MPCu en la producción de papel a gran escala y determinar si las nuevas características físico-químicas asociadas a cada método de generación no interferían en el proceso de incorporación ni en las propiedades de las bobinas de papel resultantes.

La investigación del estado del arte permitió publicar un review titulado *Review on Generation and Characterization of Copper Particles and Copper Composites Prepared by Mechanical Milling on a Lab-Scale* en la revista *International Journal of Molecular Science* (2023, Vol.24, pp. 7933-7950).

#### **4. I+D A ESCALA INDUSTRIAL: OPTIMIZANDO PARÁMETROS EN LA PLANTA PAPELERA**

En noviembre de 2023 se llevó a cabo la segunda prueba industrial en las instalaciones de FPC. Durante esta fase, se utilizó el sistema de asperjado desarrollado por el equipo de investigación y con las micropartículas de cobre (MPCu) obtenidas mediante los métodos de electrólisis y reducción. Las actividades incluyeron el diseño experimental, instalación y testeo del sistema de asperjado, así como su implementación con las MPCu.

Se realizaron cinco pruebas industriales en las que variaron el tipo de MPCu, la concentración y el gramaje del papel, produciendo cinco bobinas de papel con cobre. La distribución del cobre se evaluó mediante XRF. Los resultados mostraron que tanto el sistema de asperjado como las MPCu producidas por el equipo de investigadores son adecuadas para su implementación en el proceso productivo de papel. Además, se evidenció que las MPCu obtenidas por reducción alcanzan mayores concentraciones de cobre retenido en comparación con las obtenidas por electrólisis. Esto sugiere que la morfología más irregular de las MPCu generadas por reducción favorece su adhesión entre las fibras de celulosa.

Estos resultados permiten superar los desafíos técnicos y económicos asociados con la incorporación de MPCu en la industria papelera y abre una nueva etapa de exploración de posibles aplicaciones de este nuevo material.

#### **5. DISEÑO Y CIENCIA: VINCULANDO LA INVESTIGACIÓN CON PREGRADO**

La Facultad de Diseño promueve la vinculación de la investigación con la formación de pregrado. En este contexto, el proyecto Cu-paper se incorporó como desafío en las asignaturas Taller de Objetos III y Taller de Objetos IV de la mención Diseño de Espacios y Objetos, dictadas por los profesores Yerko Tank, Nicolás Parraguez, Francisca Llarlluri y Rodrigo Caparrós.

En la primera etapa, sesenta estudiantes de las sedes Santiago y Concepción participaron en un proceso creativo que combinó diseño, ciencia, academia y sostenibilidad, utilizando como base el papel antimicrobiano para desarrollar soluciones innovadoras en contextos contemporáneos. Entre los proyectos destacados se encuentran “Cucu”, una superficie antimicrobiana para el cuidado de bebés; “ECHO”, un amplificador de sonido para celulares; y “Unions”, un

#### **4. INDUSTRIAL-SCALE R+D: OPTIMISING PARAMETERS IN THE PAPER PLANT**

*In November 2023, the second industrial test was carried out at the FPC facility. During this phase, the spraying system developed by the research team was used with the copper microparticles (MPCu) obtained by the electrolysis and reduction methods. The activities involved designing, installing, and testing the sprinkler system and its implementation with the MPCu.*

*Five industrial trials were conducted in which the MPCu type, concentration, and paper weight were varied, producing five rolls of copper-containing paper. XRF evaluated the distribution of copper in the rolls. The results showed that the spray system and the MPCu produced by the research team are suitable for implementation in the paper production process. In addition, it was found that MPCu obtained by reduction achieved higher retained copper concentrations compared to those obtained by electrolysis. This indicates that the irregular morphology of the MPCu generated by reduction enhances their adhesion to cellulose fibers.*

*These results overcome the technical and economic challenges associated with the incorporation of MPCu in the paper industry and open a new stage of exploration of possible applications of this new material.*

#### **5. DESIGN AND SCIENCE: LINKING RESEARCH WITH UNDERGRADUATE STUDIES**

*The School of Design promotes the linking of research with undergraduate education. The Cu-paper project was introduced as a challenge in Object Studio III and Object Studio IV courses, part of the Design of Spaces and Objects program. These courses were taught by professors Yerko Tank, Nicolás Parraguez, Francisca Llarlluri, and Rodrigo Caparrós.*

*In the first stage, 60 students from the Santiago and Concepción campuses participated in a creative process combining design, science, academia, and sustainability, using antimicrobial paper to develop innovative solutions in contemporary contexts. Several noteworthy projects were highlighted, including “Cucu,” an antimicrobial surface designed for baby care; “ECHO,” a sound amplifier for mobile phones; and “Unions,” a modular jewelry project with magnetic assembly. These projects were distinguished through their innovative production processes, feasibility of implementation, scalability, and positive impact on their respective application environments.*

*Based on the results of the first studio, 21 students were selected to continue working on antimicrobial paper applications in Studio IV. In this phase, the challenge focused on the concept proposed by the Salone Satellite Milan 2023, “Design: Where are you going?” The result was “Cu-paper fibra / Our future lies in our past,” a collection of sustainable utilitarian objects made of Cu-paper to transport everyday items. The undergraduate design and research process included the application of wax to improve durability and water resistance, using natural dyes to add colour and character, folding techniques to give shape and functionality, and the final assembly of the products. The collection, exhibited at the Salone del Mobile in Milan, included 21 unique objects that combine functionality, aesthetics, and sustainability (Figure 4). The collection was notable for using a new material called Cu-paper, highlighting local natural resources' transformation into innovative solutions. Additionally, it presented a conceptual proposal that emphasised the importance*



Fig. 4. Exposición "Fibra / Our Future Lies in Our Past" en SaloneSatellite 2023, elaborada con Cu-paper.  
 Fig. 4. Exhibition "Fibre / Our Future Lies in Our Past" at SaloneSatellite 2023, made with Cu-paper.

proyecto de joyería modular ensamblada magnéticamente. Estos proyectos destacaron por su innovador proceso productivo, factibilidad de implementación, escalabilidad e impacto en el entorno de aplicación.

A partir de los resultados del primer taller, se seleccionaron veintún estudiantes para continuar trabajando en aplicaciones del papel antimicrobiano en el Taller IV. En esta fase, el desafío se centró en el concepto propuesto por el Salone Satellite de Milán 2023, “Diseño: ¿hacia dónde vas?”. El resultado fue “Cu-paper fibra / Our future lies in our past”, una colección de objetos utilitarios sostenibles elaborados con Cu-paper para el transporte de artículos cotidianos. El proceso de diseño e investigación en pregrado incluyó la aplicación de cera para mejorar la durabilidad y la resistencia al agua, el uso de tintes naturales para agregar color y carácter, técnicas de plegado para dar forma y funcionalidad, y el ensamblaje final de los productos. La colección, que se exhibió en el Salone del Mobile de Milán, incluyó veintún objetos únicos que combinan funcionalidad, estética y sostenibilidad (Figura 4). La colección destacó por el nuevo material Cu-paper, por la transformación de recursos naturales locales en soluciones innovadoras y por su propuesta conceptual, que subrayó la importancia de la creatividad y el diseño en la solución de problemas globales, como la transmisión de fómite —objeto inanimado contaminado que actúa como vector del mismo— asociada a la pandemia del COVID-19.

En esta etapa se logra una experiencia práctica de vinculación de investigación con la formación de pregrado, donde la colaboración con los estudiantes no solo enriqueció su trayectoria académica, sino que también inspiró la evolución del proyecto Cu-paper con nuevas ideas y perspectivas. Lo anterior constituye una experiencia relevante de integración de investigación y desarrollo con la educación del diseño con el potencial de replicarse a otras áreas y proyectos.

#### PROYECCIONES

El proyecto Cu-Paper, iniciado en 2013 por la Facultad de Diseño de la Universidad del Desarrollo, ha integrado exitosamente las propiedades antimicrobianas del cobre con la versatilidad de la celulosa, logrando comprobar su factibilidad industrial, siendo actualmente una tecnología en proceso de licenciamiento abierta a desarrollar soluciones sostenibles e innovadoras para distintos mercados.

Este proyecto abre oportunidades para nuevas investigaciones y aplicaciones, impulsando el uso innovador del cobre y la celulosa en diversos sectores productivos. Integra el diseño como motor creativo para liderar soluciones a problemas complejos mediante un enfoque interdisciplinario. Cu-paper ejemplifica el poder de la alianza entre el diseño y la ciencia para desarrollar investigación y transferencia tecnológica, transformando recursos locales en innovación con potencial impacto global. ①

*of creativity and design in addressing global issues, such as the transmission of fomites—contaminated inanimate objects that act as vectors for diseases—associated with the COVID-19 pandemic.*

*A practical experience linking research with undergraduate education was achieved at this stage. Collaborating with students enriched their academic careers and inspired the evolution of the Cu-paper project with new ideas and perspectives. This is a benchmark experience of integrating research and development with design education, that has the potential to be replicated in other areas and projects.*

#### FUTURE RESEARCH

*The Cu-Paper project, launched in 2013 by the School of Design at Universidad del Desarrollo, has successfully combined copper's antimicrobial properties with cellulose's versatility. This innovative approach has demonstrated its industrial feasibility and is now in the licensing process. The project is open to developing sustainable and innovative solutions across various markets.*

*This project creates new research and application opportunities, enhancing the innovative use of copper and cellulose across various productive sectors. Furthermore, it integrates design as a creative engine to lead solutions to complex problems through an interdisciplinary approach. Cu-paper illustrates the collaboration between design and science, fostering research and technology transfer and transforming local resources into innovations with potential global impact. ①*



**ALEJANDRA AMENÁBAR FIGUEROA**  
FACULTAD DE DISEÑO  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO

ARQUITECTO Y MAGÍSTER EN POLÍTICAS PÚBLICAS, SE DESEMPEÑA COMO DECANO, DOCENTE E INVESTIGADORA DE LA FACULTAD DE DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO. HA DIRIGIDO LA FACULTAD DESDE 2007, CONVIRTIÉNDOSE EN UNA DE LAS MÁS PRESTIGIOSAS DEL PAÍS. HA SIDO JURADO DE DIVERSOS CONCURSOS NACIONALES E INTERNACIONALES Y ES COPRESIDENTE DE LAS BIENALES DE DISEÑO EN CHILE. HA SIDO MIEMBRO DEL CONSEJO ASESOR DE DISEÑO DE LA DIRECCIÓN DE ASUNTOS CULTURALES DEL MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES DE CHILE (DIRAC) Y DEL CONSEJO DEL ÁREA DE DISEÑO DEL MINISTERIO DE LAS CULTURAS, LAS ARTES Y PATRIMONIO. DESDE 2017 ES MIEMBRO PERMANENTE DEL JURADO DE INDEX AWARD, ORGANIZADO POR LA ONG DANESA THE INDEX PROJECT.

ARCHITECT AND MASTER IN PUBLIC POLICY, SHE IS DEAN, PROFESSOR, AND RESEARCHER AT THE SCHOOL OF DESIGN OF UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO. SHE HAS SUCCESSFULLY DIRECTED THE SCHOOL SINCE 2007, ESTABLISHING IT AS ONE OF THE MOST PRESTIGIOUS IN THE COUNTRY. ALEJANDRA HAS BEEN A JURY MEMBER FOR VARIOUS NATIONAL AND INTERNATIONAL COMPETITIONS AND IS CO-PRESIDENT OF THE DESIGN BIENNIALS IN CHILE. SHE HAS BEEN A MEMBER OF THE DESIGN ADVISORY COUNCIL OF THE DIRECTORATE OF CULTURAL AFFAIRS OF THE CHILEAN MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS (DIRAC) AND THE DESIGN AREA COUNCIL OF THE MINISTRY OF CULTURE, ARTS, AND HERITAGE. SINCE 2017, SHE HAS BEEN A PERMANENT MEMBER OF THE INDEX AWARD JURY, ORGANISED BY THE DANISH NGO THE INDEX PROJECT.



**PAULINA CONTRERAS CORREA**  
FACULTAD DE DISEÑO  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO

DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO. MIEMBRO DEL INTERNATIONAL ADVISOR COMMITTEE IAC DE LA DESIGN RESEARCH SOCIETY (DRS). MIEMBRO DEL COMITÉ EDITORIAL DE LA REVISTA BASE DISEÑO E INNOVACIÓN. EN CONJUNTO CON LA DIRECCIÓN DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA ICONO UDD APOYA LA GESTIÓN DE LA PROTECCIÓN DE PROPIEDAD INTELECTUAL Y LA TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO GENERADO POR INVESTIGADORES, DOCENTES Y ALUMNOS DE DISEÑO UDD. COMO DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN, BUSCA POSICIONAR LA DISCIPLINA DEL DISEÑO Y LA INVESTIGACIÓN EN DISEÑO COMO UN ARTICULADOR ENTRE INSTITUCIONES, ACADEMIA Y EMPRESAS.

RESEARCH DIRECTOR AT THE SCHOOL OF DESIGN OF UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO. MEMBER OF THE INTERNATIONAL ADVISOR COMMITTEE IAC OF THE DESIGN RESEARCH SOCIETY (DRS). MEMBER OF THE EDITORIAL BOARD OF BASE DISEÑO E INNOVACIÓN JOURNAL. IN CONJUNCTION WITH THE DIRECTORATE OF TECHNOLOGY TRANSFER, ICONO UDD, PAULINA SUPPORTS THE MANAGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY PROTECTION AND THE TRANSFER OF KNOWLEDGE GENERATED BY RESEARCHERS, PROFESSORS, AND STUDENTS OF UDD DESIGN. AS RESEARCH DIRECTOR, SHE SEEKS TO POSITION THE DESIGN DISCIPLINE AND DESIGN RESEARCH AS AN ARTICULATOR BETWEEN INSTITUTIONS, ACADEMIA, AND BUSINESS.



**NATALY SILVA GONZÁLEZ**  
FACULTAD DE DISEÑO  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO

DOCTORA EN QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, LIDERA LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN SOBRE NUEVOS MATERIALES EN LA FACULTAD DE DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO. SU EXPERIENCIA EN QUÍMICA SUPRAMOLECULAR, NANOTECNOLOGÍA, ELECTROCATÁLISIS Y MATERIALES COMPUESTOS SE EVIDENCIA EN LA DIRECCIÓN DE MÁS DE DIEZ PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y LA PUBLICACIÓN DE ALREDEDOR DE TREINTA ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN REVISTAS INDEXADAS.

SHE HOLDS A PHD IN CHEMISTRY FROM UNIVERSITY OF CHILE AND LEADS THE RESEARCH PROGRAM ON NEW MATERIALS OF THE SCHOOL OF DESIGN AT UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO. HER EXPERTISE ENCOMPASSES SUPRAMOLECULAR CHEMISTRY, NANOTECHNOLOGY, ELECTROCATALYSIS, AND COMPOSITE MATERIALS, DEMONSTRATED BY HER DIRECTION OF OVER TEN RESEARCH PROJECTS AND APPROXIMATELY THIRTY SCIENTIFIC ARTICLES PUBLISHED IN INDEXED JOURNALS.

## REFERENCIAS / REFERENCES

- Amenábar, A., Contreras, P., Apablaza, V., Ramírez, S., Martínez, J. & Silva, N. (2023). Design and application of paper with copper particles with potential use as a surface barrier for fomite transmission. In E. Tseklevs, C. Cortes, J. Montalván Lume, C. de Souza Libânio, C. Landa-Avila, M. Soto Hormazabal (Eds.) *The Little Book of Design for Health in Latin America* (pp. 68–75). ImaginationLancaster.
- Contreras, P., Amenábar, A., Apablaza, V. et al. Correlation between the concentration and morphology of copper microparticles and their biocidal effect on paper sheets. *Cellulose* 27, 4721–4743 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03085-x>
- Guyon, M., Preciado, N., & Flaherty, M. (2023). *Chile Mining 2023. Global Business Report*. <https://projects.gbreports.com/chile-mining-2023/copper-production-and-development> [https://www.gbreports.com/files/pdf/\\_2023/Chile-Mining-2023-final-v10-final.pdf](https://www.gbreports.com/files/pdf/_2023/Chile-Mining-2023-final-v10-final.pdf)
- Lee, R. (2019). Renewable Resources and Sustainable Development. In *Springer eBooks* (pp. 1385–1393). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11352-0\\_297](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11352-0_297)
- Pistilli, M. (2024, agosto, 6). *Top 10 Copper Producers by Country* (Updated 2024). INN. Investing News Network. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/copper-investing/copper-production-country/>
- Ramírez, S.; Zúñiga, F.; Amenábar, A.; Contreras, P.; Benavides, V.; Norambuena, J.; Martínez, J.; Silva, N. Copper-Modified Cellulose Paper: A Comparative Study of How Antimicrobial Activity Is Affected by Particle Size and Testing Standards. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(2), 480. <https://doi.org/10.3390/ijms26020480>
- Sandoval, S.S.; Silva, N. Review on Generation and Characterization of Copper Particles and Copper Composites Prepared by Mechanical Milling on a Lab-Scale. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9) 7933. <https://doi.org/10.3390/ijms24097933>