

“Trabajando para la sociedad”

De Smart University a Smart Mining. Plataformas low cost para monitorización ambiental escaladas para aplicar en minería.

Juan Antonio Rodríguez Rama, Domingo Alfonso Martín Sánchez, Javier Maroto Lorenzo, Jorge Luis Costafreda Mustelier, Ana García Laso, Leticia Presa Madrigal

Empresa: Universidad Politécnica de Madrid

Dirección: C/ Ríos Rosas, 21. 28003, Madrid

Teléfono: 910676301

E-mail: jrodriguez@alumnos.upm.es

Resumen – *El internet de las cosas o Internet of Things (IoT) está permitiendo sensorizar infinidad de parámetros de forma automatizada e interconectada, generando ingentes cantidades de datos que son almacenados y procesados gracias al uso del Big Data. La incorporación de la computación en la nube (Cloud) y la amplia variedad de herramientas de análisis y puesta en contexto de estos datos, para obtener resultados de apoyo a la toma de decisiones, están transformando el mundo tal como lo conocemos, permitiendo que dialoguemos con nuestro entorno como jamás había sido posible.*

Conscientes de esta evolución hacia la digitalización de la industria y las mayores exigencias para cumplir con factores ambientales, sociales y de buen gobierno, y así adaptarse a los criterios ESG y ODS que la sociedad y los gobiernos del mundo exigen al comportamiento empresarial para operar. Desde el grupo de trabajo Tellus UPM de Unidad de Emprendimiento Social, Ética y Valores en la Ingeniería (UESEVI) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIME-UPM) trabajamos en la implementación de un ecosistema IoT para el desarrollo de proyectos de sostenibilidad, como vector de la Smart University trabajando en proyectos que sirvan como hilo conductor entre la universidad y la industria. Facilitando un espacio colaborativo de difusión, formación y desarrollo tecnológico para nuestros estudiantes.

Se trabaja tanto en validar prototipos en condiciones de laboratorio y en entornos controlados, así como en asegurar la calidad del dato obtenido y la formación de futuros ingenieros de la industria 4.0, para que sirvan de herramientas educativas y de análisis científico, usando la universidad como primer espacio de pruebas, evaluando su escalabilidad para aplicaciones reales en minería inteligente o Smart Mining.

“Trabajando para la sociedad”

1. INTRODUCCIÓN.

Nos encontramos en la era de la Cuarta Revolución Industrial, un momento de inflexión en la actualidad global donde la digitalización, la automatización, la conectividad y las innovaciones tecnológicas convergen y redefinen cómo vivimos, trabajamos y nos relacionamos [1, 2, 3, 4 y 5]. En este contexto dinámico, las instituciones educativas no solo enfrentan el desafío de adaptarse, sino que tienen la responsabilidad de liderar y moldear este cambio en pro del desarrollo sostenible y la innovación [6, 7 y 8]

Este panorama da lugar a modelos emergentes de desarrollo, como la transformación digital de la educación superior, conocida como "Smart University" [9], y la revolución en la industria extractiva, denominada "Smart Mining". La primera cataliza la integración de tecnologías avanzadas para fomentar un aprendizaje más interactivo, global y basado en datos. La segunda representa una revolución en la industria extractiva, utilizando tecnologías digitales para optimizar operaciones, aumentar la seguridad y reducir el impacto ambiental [10]. Estos conceptos, junto con los criterios ESG [11] y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [12 y 13], formulan una hoja de ruta que alienta prácticas éticas, sostenibles y socialmente responsables. La metodología "Learning by Doing" se posiciona como esencial en este proceso, enfatizando el aprendizaje práctico y experiencial en la formación [14 y 15], fortaleciendo la capacidad de adaptación y resiliencia de los estudiantes en un mundo en constante evolución.

En este trabajo se presenta el Ecosistema Tellus UPM [16], que es una iniciativa de la Unidad de Emprendimiento Social, Ética y Valores en la Ingeniería (UESEVI) de la Escuela de Ingenieros de Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIME-UPM). Esta herramienta aspira a ser un "hub" de innovación tecnológica y desarrollo sostenible [17 y 18]. El ecosistema facilita la transferencia de conocimientos y tecnologías desde el ámbito académico hasta aplicaciones prácticas y escalables a la sociedad y la industria, facilitando una simbiosis entre la educación avanzada, la minería sostenible y las tecnologías habilitadoras. El fin último es trazar un camino hacia un futuro más responsable, integrado y tecnológicamente avanzado.

2. ESTRUCTURA

El Ecosistema Tellus UPM se articula a través de diversos componentes que interactúan sinérgicamente. Cada componente desempeña un rol específico, fortaleciendo así la integración del sistema, tal como se representa en la figura 1. Esta arquitectura facilita la integración de innovación, educación y sostenibilidad en el contexto académico.

Dentro de este ecosistema, destaca Tellus IoT, la columna vertebral que integra desde dispositivos y sensores conectados hasta la intercomunicación entre estos, la recolección de datos, su visualización en tiempo real y el posterior análisis. Complementando esta plataforma, se sitúan el FabLab ETSIME-UPM [19], un taller que transforma ideas teóricas en prototipos tangibles mediante tecnologías punteras como la impresión 3D, y el Living Lab "La Pecera" [20], que sirve de espacio experimental para probar y validar soluciones en un contexto que simula realidades concretas. Paralelamente, los Nodos ODS garantizan que todas las iniciativas y proyectos estén alineados con los ODS de la ONU, consolidando la visión de una innovación responsable y sostenible en el ecosistema.

“Trabajando para la sociedad”

Apoyando las materias y formaciones de la UESEVI [21] desde el enfoque pedagógico en la metodología "learning by doing", cultivamos en los estudiantes competencias en tecnologías esenciales para la digitalización y la sostenibilidad desde un punto de vista aplicado. Esta formación promueve el aprendizaje a través de la experiencia directa y de este modo, se forman estudiantes con habilidades técnicas avanzadas y alineada con los criterios ESG y ODS. Este paradigma educativo, reforzado por la transmisión activa de conocimientos hacia diversos ámbitos, busca moldear a profesionales aptos para enfrentar los retos actuales y emergentes.

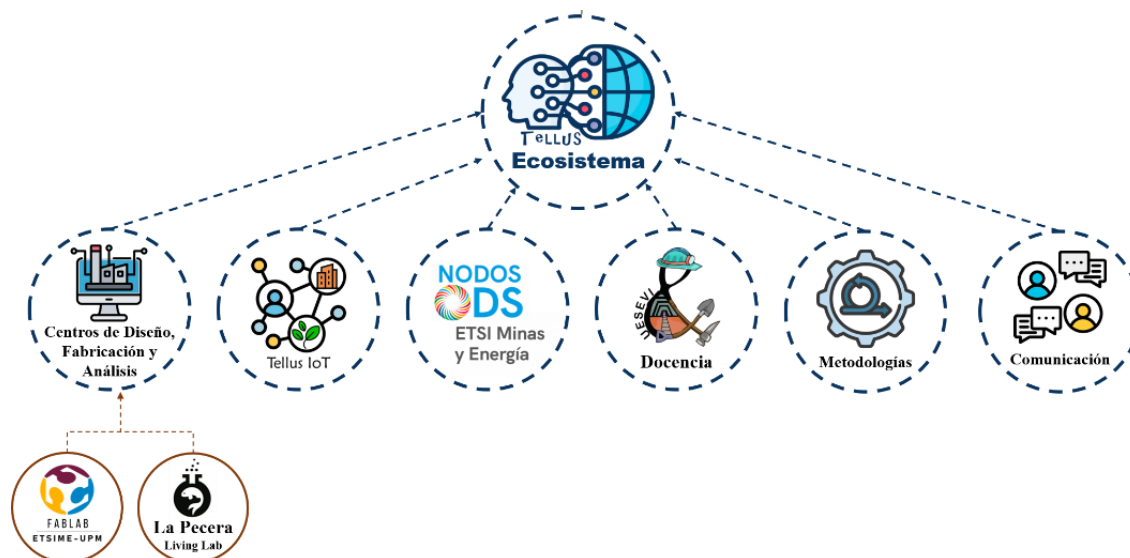


Figura 1. Esquema conceptual del Ecosistema Tellus UPM.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La utilización de una plataforma IoT propia, la aplicación de sensores de bajo coste adecuados para cada casuística y la posibilidad de resolver problemas a escala dentro del campus universitario, potencia la participación activa de los estudiantes en los proyectos del ecosistema Tellus UPM. Esta propuesta les permite una experiencia que va más allá de la teoría, sumergiéndose en la práctica al involucrarse en proyectos tecnológicos que les aproximan a las tecnologías habilitadoras para la digitalización, como son el IoT, la fabricación aditiva, el “Big Data” y análisis de datos, comunicaciones a largas distancias tales como LoRa y el 5G o la Computación en la Nube (“Cloud”) esenciales en la Cuarta Revolución Industrial. Estas tecnologías se erigen como pilares fundamentales en este nuevo panorama que está reconfigurando industrias, economías y sociedades a nivel global, de la que el sector minero no es ajeno, ya que sin profesionales cualificados en estas tecnologías no será posible alcanzar los objetivos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad que se esperan de las “Smart Minings”.

Para ofrecer un enfoque coherente y bien estructurado, presentamos los resultados organizados por proyecto. A continuación, se llevará a cabo una discusión que contextualizará los hallazgos dentro del marco propuesto.

3.1. Proyecto “Digitalización de espacios verdes urbano en un mundo 4.0” (DEVUM).

Este proyecto ha obtenido la financiación de la Catedra Fundación Cepsa – UPM por lo que se demuestra que el tema tratado es de interés para la sociedad y la industria. Dicho interés viene motivado por la utilización de la tecnología IoT [22], en la tecnología de comunicación a larga distancia

“Trabajando para la sociedad”

LoRa. De esta forma se consigue monitorizar y analizar variables ambientales en tiempo real convirtiéndose en un campo de entrenamiento ideal para futuros ingenieros. Combinando elementos como el Arduino 1300 MKR con comunicaciones LoRa, el sensor BME680 que permite monitorizar la temperatura, la humedad y la calidad del aire, y del sensor DS18B20 para el control de la temperatura del suelo y del sensor capacitivo SEN0193 para el control de la humedad del suelo. Con ello, los estudiantes no solo adquieren habilidades técnicas sino también una comprensión profunda de cómo se pueden utilizar estas herramientas para abordar problemas ambientales reales, como el efecto de "isla de calor".

Además, la metodología del proyecto, que incluye la conceptualización, diseño, prototipado y validación, enseña a los estudiantes el proceso completo de desarrollo de soluciones tecnológicas desde la idea inicial hasta su implementación en el mundo real. Esta formación integral es especialmente relevante para el sector minero inteligente (“Smart Mining”), donde la digitalización y la sostenibilidad son esenciales para optimizar operaciones, garantizar la seguridad y minimizar el impacto ambiental.

3.2. Proyecto “Aplicabilidad de sensores de bajo coste para la monitorización ambiental de niveles de inmisión de partículas” (MANIP).

Este proyecto se enfoca en dos de los contaminantes que se utilizan habitualmente para el cálculo del Índice de Calidad del Aire (AQI) [23] las partículas en suspensión de tamaños PM2.5 y PM10. Para ello se seleccionaron, analizaron y evaluaron diversos sensores de bajo coste centrados en estas variables. El objetivo central ha sido determinar si estos dispositivos pueden aportar datos fiables y escalables en un marco temporal prolongado para fortalecer las redes de monitoreo oficiales. En concreto se seleccionaron los modelos Sensirion SEN54, SPS30, NOVA SDS011 y DFRobot SEN460. Los cuales, se han sometido a pruebas empíricas y se contrastaron los datos obtenidos con el equipo de referencia Temtop M2000 2ª nd para la validación de los resultados.

Este proyecto ha sido posible gracias a haber sido uno de los proyectos seleccionados por la III Convocatoria de ayudas a proyectos de investigación sobre Energía y Medio Ambiente financiada por la Cátedra Fundación CEPESA por su en la ETSIME-UPM.

La exposición a problemas reales, como la contaminación atmosférica y su impacto en la salud humana, inculca en los futuros ingenieros un fuerte sentido de responsabilidad social y ética profesional. Al transferir estas habilidades y este enfoque al sector minero, los ingenieros estarán formados para liderar la digitalización de la minería, mejorando no solo la eficiencia operativa sino también abordando preocupaciones críticas de sostenibilidad.

3.3. Smart Concrete LOEMCO.

Este proyecto se basa en la colaboración entre universidad y laboratorios de ensayos normativos desarrollando una alianza con el Laboratorio Oficial de Ensayos para Materiales de Construcción (LOEMCO). Esto permite el desarrollo de un sistema basado en la plataforma Tellus IoT, que permite la monitorización en tiempo real de variables clave durante el proceso de fraguado del hormigón, como la temperatura y la resistencia adquirida, gracias a la combinación del microcontrolador ESP8266 con comunicación wifi, uso de sensor DS18B20 para el monitoreo de las probetas ensayadas, de un BME280 para el control de la temperatura y la humedad ambientales y la normativa ASTM C 1074-98 para el cálculo del índice de madurez del hormigón [24 y 25] que permite poner en valor los datos obtenidos por los prototipos. Este enfoque busca mejorar la toma de decisiones basada en datos reales, digitalizando la construcción y facilitando la comunicación entre las infraestructuras y sus gestores.

“Trabajando para la sociedad”

Los estudiantes adquieren experiencia directa en cómo la digitalización puede optimizar procesos, mejorar la eficiencia y reducir costes en la industria de la construcción.

Las habilidades aprendidas pueden adaptarse al sector minero, ya que el uso de esta metodología de control conlleva múltiples ventajas en comparación con los sistemas tradicionales utilizados en obra, lo que permite la reducción de costes de ensayos de laboratorio, genera información en tiempo real sobre la evolución de la resistencia del hormigón, permite la aceleración y optimización de los flujos de trabajo y proporciona información fiable de zonas críticas estructurales.

3.4. Smart Heritage ETSIME-UPM.

La ETSIME-UPM cuenta con una extensa colección de manuscritos, planos, fotografías, etc., que se estima en cerca de 10.000 documentos fechados entre el siglo XVI y la primera mitad del siglo XX. Estos documentos se custodian en un espacio histórico singular, la Biblioteca Histórica de la ETSIME-UPM. El paso del tiempo pone en riesgo su perdurabilidad. Por este motivo existe un Plan de Conservación Preventiva específico [26]. Como apoyo a este plan, se ha desarrollado una línea de trabajo para dar respuesta a la necesidad de monitorizar en tiempo real los espacios de almacenamiento de los fondos. El objetivo es respaldar las decisiones de gestión basadas en datos y alertas, así como para disponer de un histórico de la evolución de los espacios para el análisis de futuras actuaciones de mejora.

Para ello, se ha desarrollado un sistema que equipa microcontroladores ESP8266 con comunicación Wifi, sensores BME280 para monitorizar la temperatura, la humedad y la presión ambiental y el CCS811 con el que controlar los compuestos orgánicos volátiles (COV). Que además se apoya en la impresión 3D que permite desarrollar cajas protectoras que recrean un acabado y textura similar a la madera presente en estos espacios históricos [27]

Al alinear este esfuerzo con los ODS, especialmente la meta 11.4, el proyecto evidencia cómo la combinación de tecnología avanzada con la preservación puede guiar a las universidades en la dirección de soluciones sostenibles, resilientes y digitalizadas para problemas globales, que pueden ser extrapoladas a las grandes colecciones que atesoran las empresas mineras y que actualmente valorizan en espacios museísticos donde ponen en valor la importancia de su actividad a la sociedad.

3.5. Proyecto CanarIoT.

Este proyecto ha sido reconocido con el 1er premio PasCal de la UPM concedido por su trabajo para la monitorización de la calidad del aire en la Universidad. El jurado reconoce la capacidad del equipo solicitante para identificar una necesidad de la Universidad, y tomar la iniciativa para proponer una solución innovadora, alineada con la estrategia de sostenibilidad de la UPM, con beneficio para numerosos colectivos, y con potencial para ser trasladada a otros centros de la Universidad, contribuyendo de esta manera a incentivar la cultura de la calidad y la mejora continua.

Inspirado en la centenaria práctica de usar canarios como sistemas de alerta temprana en minas, este proyecto plantea un canario 4.0, centrado en la monitorización en tiempo real de niveles de CO₂ y confort térmico. Basado en la placa NodeMCU Lolin V3 que equipa un microcontrolador ESP8266 y comunicaciones wifi, el sensor BME280 para el control de temperatura y humedad ambiental y del SCD30 de CO₂, contribuyendo significativamente, en su momento, a la prevención de contagios por COVID-19 [28 y 29] y al mejoramiento general de la calidad del aire. Preocupación, esta última que comparte con el sector minero, principalmente en espacios interiores.

"Trabajando para la sociedad"

La formación en tecnologías habilitadoras se ve reflejada en la aplicación práctica de sistemas de IoT para la recopilación de datos y en la utilización de impresión 3D para el diseño y fabricación de carcasas protectoras personalizadas. Este proceso de diseño iterativo y adaptable es esencial en la minería, donde las condiciones pueden variar y las soluciones deben ser flexibles. Además, la integración cuidadosa de estos dispositivos en espacios patrimoniales de la universidad demuestra cómo la tecnología puede ser adaptada y personalizada para distintos contextos, incluido el sector minero.

4. CONCLUSIONES

El Ecosistema Tellus UPM emerge como una propuesta de integración de la innovación tecnológica y la sostenibilidad en el ámbito académico, delineando el concepto de una "Smart University". A través de los citados proyectos (Smart Concrete LOEMCO, CanarloT-UPM, Smart Heritage ETSIME-UPM y DEVUM), se ha demostrado cómo la aplicación práctica de tecnologías habilitadoras para la digitalización puede abordar problemas reales, ofreciendo soluciones efectivas y sostenibles.

La metodología central es "Learning by Doing", que se ha manifestado como el pilar pedagógico que pone énfasis en el aprendizaje basado en la experiencia directa, ha permitido que los estudiantes se sumerjan en escenarios prácticos, enfrentando y resolviendo desafíos concretos. Por ejemplo, en el proyecto CanarloT-UPM, los estudiantes no sólo aprendieron sobre la importancia de la monitorización del aire, sino que también tuvieron la oportunidad de participar activamente en la implementación y optimización de soluciones basadas en IoT. Esta forma de aprendizaje no sólo fortalece las habilidades técnicas, sino que también inculca una profunda conciencia de los criterios ESG y ODS.

Finalmente, es evidente que las lecciones y competencias adquiridas a través del Ecosistema Tellus UPM son altamente transferibles al mundo industrial. Al proporcionar a los estudiantes una formación robusta en tecnologías digitales y sostenibilidad, Tellus UPM está preparando a la próxima generación de profesionales para liderar e innovar en la industria del futuro. Esta sinergia entre la academia y la industria no sólo beneficia a ambos sectores, sino que también promueve un avance mutuo, estableciendo un ciclo de retroalimentación positiva donde la educación y la práctica industrial se potencian recíprocamente.

AGRADECIMIENTOS.

Queremos expresar nuestro agradecimiento al programa RES2+U, organizado por UPM Sostenible, así como a la Cátedra Fundación CEPESA por su II y III Convocatoria de ayudas a proyectos de investigación sobre Energía y Medio Ambiente en la ETSIME-UPM. También agradecemos a la Convocatoria de ApS UPM por su apoyo financiero en los diversos proyectos que son objeto del presente estudio.

REFERENCIAS.

- [1] Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum.
- [2] Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). IEEE.

"Trabajando para la sociedad"

- [3] West, D. M. (2015). What happens if robots take the jobs? The impact of emerging technologies on employment and public policy. Center for Technology Innovation at Brookings.
- [4] Rifkin, J. (2015). The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism. Palgrave Macmillan.
- [5] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- [6] UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. UNESCO.
- [7] Barnett, R. (2000). Realizing the university in an age of supercomplexity. McGraw-Hill Education (UK).
- [8] Fullan, M., & Scott, G. (2009). Turnaround leadership for higher education. Jossey-Bass.
- [9] Francisco Maciá Pérez, José Vicente Berná Martínez, José Manuel Sánchez Bernabéu, Iren Lorenzo Fonseca, Andrés Fuster Guilló. (2016). Smart university. hacia una universidad más abierta. ISBN: 978-84-267-2328-4.
- [10] Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). "Design-based research: A decade of progress in education research?". Educational researcher, 41(1), 16-25.
- [11] Wright, C. & Nyberg, D. (2017). "An Inconvenient Truth: How Organizations Translate Climate Change into Business as Usual". Academy of Management Journal, 60(5), 1633-1661.
- [12] United Nations. (2015). "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development". New York: United Nations.
- [13] Griggs, D. J., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., ... & Noble, I. (2013). "Sustainable development goals for people and planet". Nature, 495(7441), 305-307.
- [14] Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). "Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning". Journal of Engineering Education, 94(1), 103-120.
- [15] Woods, D. R. (2000). "Helping Students Learn in a Learner-Centered Environment: A Guide to Facilitating Learning in Higher Education". Stipes Publishing.
- [16] Ecosistema Tellus UPM. <https://blogs.upm.es/tellus/>
- [17] Rodríguez Rama, J. A., Martín S., D. A., García L., A., Maroto L., J., & Godoy M., C. (2019). Monitorización de espacios urbanos, como herramienta educativa para el apoyo en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para una Smart University. En Efficient, Sustainable, and Fully Comprehensive Smart Cities. II Ibero-American Congress of Smart Cities (ICSC-CITIES 2019) (p. 306). ISBN 978-958-5583-78-8.
- [18] Rodríguez Rama, J. A., García Laso, A., Martín Sanchez, D. A., Maroto Lorenzo, J., García de la Noceda, C., & Morano Rodríguez, A. J. (2017). AulaEnergía ETSIME-UPM: Un espacio colaborativo de difusión, formación tecnológica y desarrollo de la energía: Geotermia. En "GeoEner 2017: IV Congreso de Energía Geotérmica en la Edificación y la Industria" (pp. 134-143). Madrid.
- [19] Gershenfeld, N. (2012). "How to make almost anything: The digital fabrication revolution". Foreign Affairs, 91(6), 43-57.
- [20] Schuurman, D., De Marez, L., & Ballon, P. (2016). "The impact of Living Lab methodology on open innovation contributions and outcomes". Technology Innovation Management Review, 6(1), 7-16.
- [21] UESEVI-UPM. Actividades Acreditables. <https://minasyenergia.upm.es/actividades-uesevi.html>

"Trabajando para la sociedad"

- [22] Hidalgo, J. M. S., Rojas, M. M., & Gámez, J. C. (2018). Metodología de desarrollo de competencias y aprendizaje basado en proyectos en un entorno de Ciudades Inteligentes mediante Internet de las Cosas. Transforming education for a changing world, 10.
- [23] World Health Organization. (2006). "Air quality guidelines: Global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide". World Health Organization.
- [24] ASTM C1074-19, Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [25] Carino, N. J., y Lew, H. S. (2001, 21-23 de mayo). El método de la madurez: From Theory to Application. Proceedings of the 2001 Structures Congress & Exposition, Washington, D.C., American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Peter C. Chang, Editor, 2001, 19 p.
- [26] Plan de Conservación Preventiva de la Biblioteca Histórica de la ETSIME-UPM. Titanio Estudio (2019-2020).
- [27] PLA madera. Addnorth. <https://filament2print.com/es/madera-piedra/1494-pla-madera-addnorth.html>
- [28] Evaluación del riesgo de transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de Prevención y recomendaciones. Ministerio de Sanidad. 18 de noviembre de 2020.
- [29] Informe Científico sobre vías de transmisión de SARS-CoV-2. Informe para el Ministerio de Ciencia e Innovación de España. 29 de octubre de 2020.