

# LINKS

Revista Internacional



2 HAMBRE CERO



17 ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS



7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE



15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES



5 IGUALDAD DE GÉNERO



4 EDUCACIÓN DE CALIDAD



16 PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS



6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO



11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES



9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA



10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES



12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES



1 FIN DE LA POBREZA



14 VIDA SUBMARINA



3 SALUD Y BIENESTAR



13 ACCIÓN POR EL CLIMA



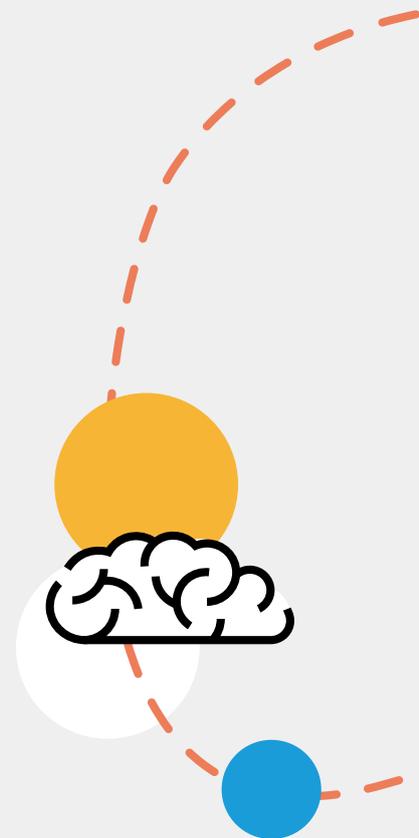
8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

**Centro de Vinculación Global**  
Universidad Tecnológica,  
Uruguay



# LINKS

La Revista Internacional del Centro de Vinculación Global de la Universidad Tecnológica de Uruguay ofrece la oportunidad a estudiantes, docentes e investigadores de UTEC y universidades asociadas, de publicar artículos académicos y reflexiones sobre el desarrollo de Ciencia, Tecnología y Sociedad en el Sur Global.



En caso de querer citar un artículo de la revista, podrás hacerlo según las reglas APA: Apellido, A., Apellido, B. y Apellido, C. (2023). Título del artículo específico. LINKS, Revista Internacional, Universidad Tecnológica, Uruguay, Volumen I (1), número de página inicio – número de página fin.

Disponible en: <https://utec.edu.uy/es/sobre-utec/documentos-de-interes/links-revista-internacional/>



La portada de este volumen de LINKS refleja la integración de sostenibilidad agroambiental y educación con tecnología aplicada. Inspirada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, simboliza el compromiso con un futuro donde innovación, conocimiento y cuidado ambiental se unen para transformar nuestra realidad de manera sostenible e inclusiva. Esta imagen destaca la colaboración entre ciencia, tecnología y sociedad como motores del cambio, promoviendo soluciones que impulsen el desarrollo sostenible.



Haga click en el título para ir a la página

Editorial \_\_\_\_\_ 6

**Sección 1 - PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES (ODS 12)** \_\_\_\_\_ 9

## **Agroambiental**

Agrofotovoltaica: un enfoque innovador para la sostenibilidad agrícola y energética \_\_\_\_\_ 10

Evaluación de diferentes concentraciones de microalgas como potencial bioestimulante para la germinación de semillas de *Raphanus sativus* \_\_\_\_\_ 22

## **Industria**

Revisión de primeros reportes de sostenibilidad del principal productor de celulosa en Uruguay al 2022 \_\_\_\_\_ 36

Estudio Exploratorio de Evaluación de Modelos de Negocio Circulares en Uruguay \_\_\_\_\_ 47

**Sección 2 - EDUCACIÓN DE CALIDAD (ODS 4)** \_\_\_\_\_ 57

## **Tecnología**

Creación del primer grupo universitario de competencias e investigación en robótica de UTEC: Urubots \_\_\_\_\_ 58

Videojuego Educativo Orientado a la Prevención de Enfermedades: Estudio de Caso en un Centro Educativo en Asunción, Paraguay \_\_\_\_\_ 73

## **Diseño y arquitectura**

Paisajes de aprendizaje: Una forma de involucrar a la comunidad en el proceso de ideación, diseño y construcción de un centro educativo para educación de calidad en el siglo XXI \_\_\_\_\_ 88



Universidad Tecnológica

© CVG - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
2024, Montevideo, Uruguay

### Consejo Directivo Central provisorio (CDCp)

#### Universidad Tecnológica

Dr. Rodolfo Silveira

Lic. Graciela Do Mato

Ph.D. Dr. Andrés Gil

### Nota Editorial

**Mag. Belén González Fernández**, Consultora del Centro de Vinculación Global (CVG, UTEC)

### Comité Editorial

**Lic. Natalia Azzi**, Coordinadora del Centro de Vinculación Global

**Lic. Belén Cardarello**, Coordinadora de Relacionamento Internacional (ITR Suroeste)

### Diseño y armado

Rodríguez

### Comité de Evaluación

#### Evaluadores/as externos/as

**Dr. Roberto Eduardo Quintal-Palomo**, Docente Encargado del Laboratorio de Control Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY, México).

**Mag. Paula Mosera**, Directora Ejecutiva de la Fundación ReachingU.

**Everton Felix**, Coordinador de Asuntos Binacionales, Campus Santana do Livramento, Instituto Federal Sul-riograndense (IFSul, Brasil).

#### Evaluadores/as UTEC

**Prof. T.P. Rossana Mántaras Gadea M.A.**, Docente Encargada con funciones de gestión del Programa de Lenguas y de la Maestría en Diseño de Ambientes de Aprendizaje, ITR Suroeste.

**Arq. Inés Pombo**, Responsable de Infraestructura Edilicia.

**Ing. Luis Bahú, Dr.**, Profesor Asociado en el área de Riego y Drenaje, Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible, ITR CentroSur.

**Maximiliano Fernández do Santos**, Docente Encargado del Taller de Aplicaciones de Internet Ricas (RIA), Tecnólogo en Informática, ITR Suroeste.

**Mag. Lucía Pittaluga Fonseca**, Docente Encargada del área de Bioeconomía, Ingeniería Agroambiental, ITR CentroSur.



## Editorial

Bienvenidos y bienvenidas a LINKS, la Revista Internacional de la Universidad Tecnológica (UTEC, Uruguay). Nos complace presentar el segundo número del Volumen 2, dedicado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En su segundo año de publicación, esta revista se consolida como un espacio para la difusión de producción científica en español y portugués, ofreciendo a investigadores, investigadoras y profesionales de Uruguay y la región la oportunidad de publicar en su lengua materna.

Impulsada desde el Centro de Vinculación Global de UTEC, LINKS refleja nuestra misión de fomentar la colaboración internacional, reconociendo que los desafíos globales están intrínsecamente conectados y tienen impacto en las realidades locales. Generar conocimiento para abordar estos desafíos requiere un intercambio global continuo y la colaboración activa entre comunidades académicas y profesionales. En este contexto, LINKS se presenta como un espacio de pensamiento colectivo y reflexión desde una perspectiva regional.

Para este volumen, la convocatoria abierta a la comunidad académica se centró en los ODS. Recibimos 23 artículos, los cuales pasaron por un riguroso proceso de evaluación y arbitraje. Este año hemos publicado dos números: el primero incluyó once artículos, y este segundo reúne siete contribuciones que abordan desafíos clave, como la innovación educativa y la sosteni-

bilidad en prácticas agrícolas, industriales y tecnológicas.

En los textos se reúnen diversas trayectorias que exploran cómo construir sistemas más resilientes, sensibles y responsables. Desde la economía circular y la robótica educativa hasta la biotecnología y la arquitectura, los autores y autoras no solo analizan los retos actuales, sino que demuestran que la búsqueda de sostenibilidad exige enfoques innovadores y colaboración transdisciplinar. Este volumen enriquece las conversaciones sobre los ODS, destacando su impacto tanto en el ámbito académico como en la práctica, y ofreciendo perspectivas inspiradoras que nos guían hacia un futuro más sostenible.

En el contexto de una agricultura cada vez más presionada por la creciente demanda global de alimentos, los estudios sobre microalgas y agrofotovoltaica ofrecen caminos posibles para una producción agrícola más sostenible. En el artículo **“Evaluación de diferentes concentraciones de microalgas como potencial bioestimulante para la germinación de semillas de *Raphanus sativus*”**, se explora el uso de bioestimulantes derivados de microalgas como una alternativa al uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos. Las y los autores demuestran cómo *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* pueden mejorar la germinación de cultivos, reduciendo el impacto ambiental, promoviendo la salud del suelo y contribuyendo al desarrollo de sistemas alimentarios resilientes.

El artículo **“Agrofotovoltaica: un enfoque innovador para la sostenibilidad agrícola y energética”** analiza la combinación de actividades agrícolas con la generación de energía solar, conocida como agrofotovoltaica (AFV). Este enfoque innovador en la gestión de recursos naturales aborda problemas críticos como la seguridad alimentaria y energética, así como la mitigación del cambio climático. En Uruguay, con su abundante radiación solar, la AFV tiene un gran potencial para optimizar el uso de la tierra y contribuir a un desarrollo rural sostenible. Al integrar investigación, tecnología y colaboración multisectorial, esta iniciativa presenta un modelo replicable para contextos con desafíos similares.

El artículo **“Estudio exploratorio de evaluación de modelos de negocio circulares en Uruguay”** pone en evidencia la necesidad de desarrollar cadenas de valor sostenibles. Utilizando la herramienta NETcircular+, desarrollada por el Grupo de Economía Circular y Sostenibilidad Industrial (ECSI) de la Universidad Mondragón (MU) en España, evalúa el nivel de circularidad de 27 empresas en Uruguay. Este trabajo subraya la importancia de establecer métricas como base para estudios comparativos y para fomentar la transición hacia prácticas empresariales más responsables. Resulta interesante la perspectiva de cambio sistémico dentro de los sectores productivos, alineándose con los ODS y abriendo camino para la economía circular.

El estudio de caso **“Revisión de primeros reportes de sostenibilidad del principal productor de celulosa en Uruguay al 2022”** analiza los reportes de sostenibilidad 2019-2020 de Montes del Plata en Uruguay, basados en los Estándares GRI (Global Reporting Initiative) de 2016. Considerando la relevancia

del sector forestal en Uruguay, el estudio aporta transparencia sobre los impactos económicos, sociales y ambientales reportados por el principal productor de celulosa del país, fomentando la alineación de las prácticas industriales con las expectativas sociales y ambientales para avanzar hacia una economía más responsable.

En cuanto a la innovación educativa, hay tres artículos que dialogan entre sí, fomentando competencias clave para el siglo XXI, preparando a los estudiantes para un entorno laboral en constante cambio y promoviendo el desarrollo de tecnologías con potencial para transformar sectores como la agricultura, la salud y la industria.

En el artículo **“Creación del primer grupo universitario de competencias e investigación en robótica de UTEC: Urubots”**, la conformación del grupo de robótica Urubots marca un hito en la integración de la inteligencia artificial y la automatización en la educación superior. Este esfuerzo responde a las demandas del futuro del trabajo y posiciona a Uruguay en el mapa global de la robótica. Por otro lado, el artículo **“Videojuego Educativo Orientado a la Prevención de Enfermedades: Estudio de Caso en un Centro Educativo en Asunción, Paraguay”** demuestra cómo los videojuegos pueden ser aliados en la promoción del bienestar. Este estudio, evidencia el impacto positivo en el aprendizaje de estudiantes al abordar temas como la prevención del COVID-19, la diabetes y el dengue. Además de su valor educativo, destaca el potencial de la tecnología para construir comunidades más saludables, integrando educación, innovación y bienestar social.

Finalmente, el artículo **“Paisajes de aprendizaje: Una forma de involucrar a la**

## **comunidad en el proceso de ideación, diseño y construcción de un centro educativo para educación de calidad en el siglo XXI”**

explora el impacto que el diseño arquitectónico de los espacios educativos tiene sobre los procesos de aprendizaje. Al involucrar a la comunidad en el diseño de estos espacios, se fomenta un sentido de pertenencia, creando entornos que responden a las necesidades del siglo XXI.

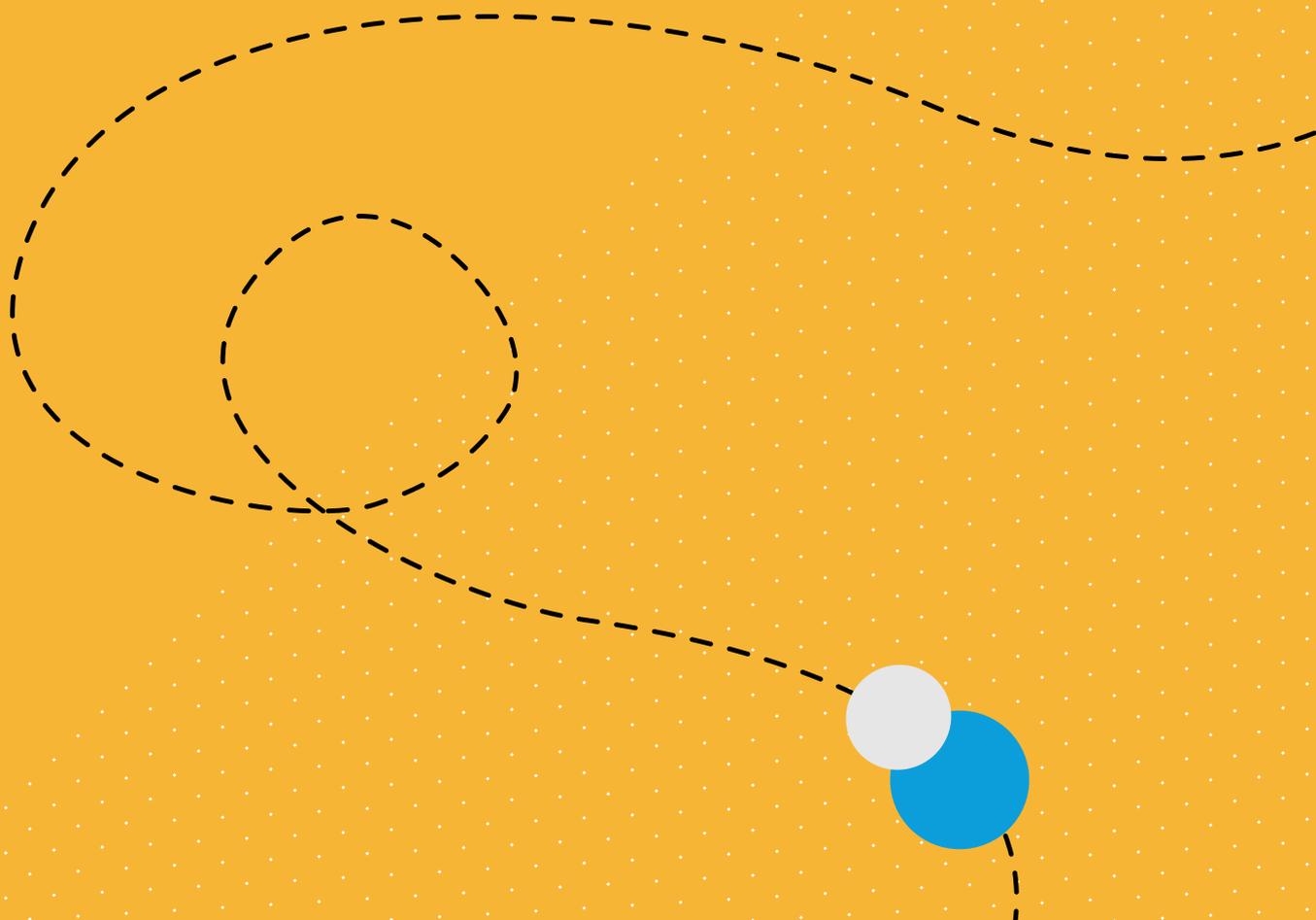
Los artículos incluidos en este número evidencian el poder transformador de la sostenibilidad, entendida como un imperativo ético y práctico que requiere un proceso continuo de colaboración activa entre diversos sectores de la sociedad. El Dr. Andy Stirling, destacado académico en las intersecciones de ciencia, tecnología y sostenibilidad, argumenta que la sostenibilidad actúa como un marco para movilizar imaginarios socioecológicos basados en los valores esenciales del bienestar humano, la equidad social y la integridad ecológica. En este contexto, Stirling sostiene que las transiciones actuales no deben entenderse como trayectorias únicas, sino como acciones colectivas, dinámicas y emergentes, coordinadas a través de interacciones locales y adaptativas. De manera metafórica, el autor utiliza el vuelo sincronizado de los estorninos, conocido como “murmullo”, para ilustrar cómo los diversos actores —personas, comunidades y organizaciones— contribuyen conjuntamente a las transformaciones sociales y ecológicas que impulsamos.

Con esta nueva edición de LINKS Revista Internacional, aspiramos a movilizar estos imaginarios e inspirar a nuestros lectores y lectoras a reflexionar sobre cómo los artículos presentados pueden catalizar nuevas prácticas y perspectivas en sus propios entornos.

Al reconocer el diálogo continuo entre conocimiento y acción, entre lo tecnológico y lo humano, y entre lo global y lo local, les animamos a reimaginar el futuro y ser parte de los movimientos que transforman nuestros sistemas, instituciones y comunidades hacia modelos más sostenibles y equitativos.

SECCIÓN 1

# Producción y consumo responsables (ODS 12)



Modalidad: Artículo profesional y de investigación

# Agrofotovoltaica: un enfoque innovador para la sostenibilidad agrícola y energética

Wellington Mezzomo<sup>1</sup> · Conrado Fleck dos Santos<sup>2</sup> · Luis Bahu Ben<sup>1</sup>  
Diego Barreto<sup>1</sup> · Rogério Ricalde Torres<sup>1,3</sup> · Santiago Jaunarena<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible, Universidad Tecnológica, Durazno, Uruguay; wellington.mezzomo@utec.edu.uy ORCID: 0000-0002-1169-0620, luis.bahu@utec.edu.uy ORCID: 0000-0003-4284-3789, diego.barreto@utec.edu.uy ORCID: 0000-0003-2539-0319, santiago.jaunarena@utec.edu.uy

<sup>2</sup>Ingeniería en Energías Renovables, Universidad Tecnológica, Durazno, Uruguay; conrado.fleck@utec.edu.uy

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Sul, Brasil; rogerio.torres@vacaria.ifrs.edu.br ORCID: 0000-0002-4590-1473

## Resumen

La Agrofotovoltaica (AFV) es una tecnología innovadora que combina la generación de energía solar con actividades agrícolas, ofreciendo soluciones para desafíos críticos como la seguridad alimentaria, la generación de energía sostenible y la mitigación del cambio climático. Este artículo explora cómo la AFV se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y presenta oportunidades globales y específicas de Uruguay. La AFV ha demostrado su capacidad para aumentar significativamente la eficiencia del uso de la tierra al permitir que los paneles solares coexistan con cultivos, lo que puede estabilizar la producción de alimentos y energía, simultáneamente. Países como Alemania, India y Chile han implementado proyectos piloto exitosos que muestran beneficios económicos, sociales y ambientales. Uruguay, con su alta radiación solar, se encuentra en una posición favorable para

adoptar la AFV. La tecnología ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia de los recursos naturales, aumentar la seguridad alimentaria y reducir el impacto ambiental de la agricultura y la generación de energía. La Universidad Tecnológica de Uruguay (UTEC) lidera investigaciones en el país para evaluar técnicamente la eficiencia del uso del suelo, agua, energía, así como la viabilidad económica de dicha tecnología en el contexto local.

A pesar de sus beneficios, la implementación de la AFV enfrenta desafíos, como la inversión inicial, capacitación de agricultores, aceptación cultural, entre otros. Es esencial una colaboración efectiva entre sectores gubernamentales, académicos y empresariales para impulsar la investigación e implementación de la tecnología en Uruguay.

## Palabras clave

Cultivo bajo sistemas fotovoltaicos · Cambio climático · Desarrollo sostenible · Impacto ambiental.

## Abstract

Agrophotovoltaics (APV) is an innovative technology that integrates solar energy generation with agricultural activities, offering solutions to critical challenges such as food security, sustainable energy generation, and climate change mitigation. This article explores how APV aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) and presents both global and specific opportunities for Uruguay.

APV has demonstrated its ability to significantly enhance land use efficiency by allowing solar panels to coexist with crops, thereby potentially stabilizing food and energy production simultaneously. Countries such as Germany, India, and Chile have successfully implemented pilot projects showcasing economic, social, and environmental benefits.

Uruguay, with its abundant solar radiation, is well-positioned to embrace APV. The technology presents opportunities to enhance the efficiency of natural resources, bolster food security, and diminish the environmental impact of agriculture and energy generation. The Technological University of Uruguay (UTEC) spearheads research efforts in the country, evaluating the technical efficiency of land, water, and energy utilization, as well as the economic feasibility of such technology within the local context.

Despite its advantages, APV implementation encounters challenges such as initial investment, farmer training, and cultural acceptance. Effective collaboration among governmental, academic, and business sectors is imperative to propel research and

implementation efforts of the technology in Uruguay.

## Keywords

Cultivation under photovoltaic systems · Climate change · Sustainable development · Environmental impact.

## Introducción

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, respaldada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), busca impulsar la transformación global hacia un futuro sostenible, abordando los desafíos más urgentes del mundo en este momento. Se centra en mejorar la calidad de vida, preservar el medio ambiente y promover sociedades inclusivas y pacíficas. En su núcleo, se encuentran los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen desde la erradicación de la pobreza y el hambre, hasta la igualdad de género, la protección de los ecosistemas y la promoción de energías limpias (Naciones Unidas [ONU], 2018).

En este sentido, es fundamental destacar que la seguridad alimentaria, energética e hídrica se ha convertido en un desafío crítico que enfrenta una creciente población, que conlleva mayor demanda y presión sobre los recursos naturales. Para abordar esta problemática, se requiere adoptar enfoques integrales que combinen la eficiencia en el uso de los recursos, la innovación tecnológica y la promoción de prácticas sostenibles en la producción y consumo (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2016).

Es esencial tener en cuenta los efectos del cambio climático, que representan una amenaza cada vez más urgente para la seguridad alimentaria y la disponibilidad de agua. Los ODS deben cumplirse de manera simultánea con la protección y conservación de los recursos naturales, así como hacer frente a los efectos del cambio climático, mediante estrategias de adaptación y mitigación.

En este contexto, la integración sinérgica de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos junto con sistemas agrícolas, conocido como Agro-fotovoltaica (AFV) —concepto que se abordará más adelante—, se presenta como un enfoque interesante para cumplir con los ODS. Este sistema permite maximizar el aprovechamiento de espacios agrícolas y optimizar recursos ambientales, sociales y económicos mediante el aprovechamiento dual de la tierra.

El sistema de producción AFV, se alinea con los ODS, ya que promueve la energía renovable (ODS 7: energía asequible y no contaminante) y la agricultura sostenible (ODS 2: hambre cero) como enfoque para hacer frente al cambio climático y sus efectos, a la vez que fomenta la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y mejora de prácticas agrícolas, contribuyendo así al desarrollo sostenible en múltiples dimensiones. Según Agostini et al. (2021), estos sistemas pueden contribuir directa y positivamente en 7 (ODS 2, ODS 6, ODS 7, ODS 8, ODS 11, ODS 13 y ODS 17) de los 17 ODS fijados por la ONU, sin generar impactos negativos.

Estos sistemas integrados aprovechan tanto la radiación solar como la superfi-

cie de cultivos, permitiendo la generación simultánea de electricidad y alimentos en el mismo espacio y por eso Agostini et al. (2021) enfatiza que esta tecnología ha despertado mucho interés los últimos años. Asimismo debido a la creciente demanda de energía, la necesidad de utilizar la tierra de manera más eficiente y la urgencia de abordar el cambio climático han impulsado la investigación y la implementación de sistemas AFV en todo el mundo (Weselek et al., 2019).

Este artículo tiene como objetivo explorar las oportunidades que ofrece la Agro-fotovoltaica a nivel global y examinar sus potencialidades en el contexto específico de Uruguay. Se basa en una serie de estudios científicos y revisiones que abordan esta tecnología desde diversas perspectivas, incluyendo aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

La Universidad Tecnológica (UTEC) del Uruguay, en el marco del Grupo de Investigación Estratégica (GIE) ha iniciado un proyecto pionero que marca un hito significativo al abrir una nueva línea de investigación en el país. La UTEC está dando sus primeros pasos en el desarrollo del primer proyecto piloto de AFV en Uruguay, demostrando su compromiso con la innovación y la búsqueda de soluciones sustentables para los desafíos energéticos y agrícolas que enfrenta la nación.

Esta iniciativa no solo promete aumentar la eficiencia en el uso de la tierra, agua y energía, sino que también busca contribuir de manera positiva a la mitigación de los efectos del cambio climático. Este proyecto de la UTEC representa un paso significativo hacia un futuro más sos-

tenible y resiliente para las prácticas agrícolas y sistema de generación de energía en Uruguay.

## Oportunidades de la Agrofotovoltaica a Nivel Global

La Agrofotovoltaica destaca por su capacidad para aumentar la eficiencia del uso de la tierra al permitir la coexistencia de paneles solares y cultivos en la misma área (Valle et al., 2017; Trommsdorff et al., 2019; Weselek et al., 2019; Trommsdorff et al., 2020;). Esta sinergia ha captado la atención de grupos de investigación y desarrollo tanto en el ámbito científico, agrícola y energético.

La instalación de sistemas AFV brinda a los agricultores la oportunidad de diversificar sus entradas económicas. Trommsdorff et al. (2020), señalan que, al diversificar sus actividades, los agricultores aumentan sus ingresos y mejoran su resiliencia frente al cambio climático, pues no dependen únicamente de la producción de cultivos. Además, la energía generada puede usarse en equipos agrícolas, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia energética. También se pueden identificar cultivos que se benefician más del sistema, lo que permite a los agricultores explorar nuevas técnicas y ampliar su gama de productos.

El Prof. Adolf Goetzberger, fundador de Fraunhofer ISE, y el Dr. Armin Zastrow fueron los primeros en proponer este tipo de doble uso de la tierra con su artículo de 1981 “*Kartoffeln unter dem Kollektor*”, publicado en la revista “*Sonnenenergie*” (Goetzberger et al., 1981).

En 2014, el grupo de innovación APV-RESOLA (“Agrofotovoltaica: contribución al uso eficiente de los recursos de la tierra”) tomó esta idea y la amplió con investigaciones adicionales. El Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania financió el proyecto como parte del programa de investigación FONA, que se enfoca en el desarrollo sostenible (Trommsdorff et al., 2020).

Esto dio lugar a un proyecto piloto en la finca de Heggelbach, cerca del lago Constanza, Alemania. El proyecto investigó los aspectos económicos, técnicos, sociales y ambientales de la tecnología AFV en condiciones reales, con el objetivo de demostrar su viabilidad básica (*ibid*).

El proyecto en Heggelbach se encuentra instalado en un terreno cultivable que abarca una superficie de un tercio de hectárea, y está equipado con 720 módulos fotovoltaicos bifaciales. Esto proporciona una capacidad instalada de 194 kilovatios pico (kWp). Los resultados mostraron un significativo aumento en la eficiencia del uso del terreno, entre un 60 y un 86 por ciento, gracias al sistema fotovoltaico. Se observó una mayor adaptación de los cultivos durante los períodos de sequía en los años 2017 y 2018 (*ibid*).

En estudio realizado por Valle et al. (2017) en Francia, muestra los resultados relacionados al aumento de la productividad total de la tierra cuando se combinan los sistemas de producción de alimento y energía aplicando la tasa de utilización de la tierra como indicador. En incremento se ve respaldado por hallazgos de Weselek et al. (2019), quienes indican que la AFV puede aumentar 70% la productividad de la tierra.

Además del uso de la tierra, es importante entender el impacto de los paneles solares sobre la humedad del suelo para el desarrollo de los cultivos. Como parte del Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea para el periodo 2014-2020, Horizonte 2020, Fraunhofer ISE colabora con socios de Argelia en el proyecto WATERMED 4.0 para averiguar cómo influye la AFV en el régimen hídrico. Este estudio aborda la reducción de la evaporación y de las temperaturas del aire y del suelo, además de examinar el uso de módulos fotovoltaicos para recolectar agua de lluvia.

En ese sentido, Trommsdorff et al. (2019) realizaron estudios en la India que muestran que el efecto de la sombra y la reducción de la evaporación de la AFV pueden aumentar hasta un 40% la producción de tomates y algodón, lo que conlleva un aumento de la eficiencia del uso de la tierra.

Trommsdorff et al. (2022) compilaron estudios sobre cambios en microclimas debido a la AFV con respecto a cielo abierto. En algunos estudios se observó mayor humedad de suelo y aire, mientras que la temperatura resultó más equilibrada durante el día. A mayor distancia entre filas de paneles y menor sombra generada, se registra un aumento de radiación en el suelo, generando mayor irradiación en verano respecto al invierno.

A la luz de los estudios anteriores, se puede afirmar que los sistemas AFV contribuyen a la reducción del consumo de agua, tal como lo confirman estudios como los de Ramos-Fuentes et al. (2023), Touil et al. (2021) y Weselek et al. (2019). Esta re-

ducción se logra al disminuir la exposición solar directa de los cultivos (Weselek et al., 2019), lo que potencialmente aumenta la productividad del agua en la agricultura. Ramos-Fuentes et al. (2023) demostraron el potencial de la AFV para reducir las entradas de riego (hasta un 19-47% en comparación con cultivo de maíz sin sombra), mediante la disminución de agotamiento del agua del suelo y la evapotranspiración de referencia.

A pesar de avances en entender la AFV y su impacto en los cultivos, persisten desafíos científicos significativos que requieren atención. La complejidad de las interacciones entre sombra de paneles, radiación solar y otras variables climáticas plantean la necesidad de investigaciones más específicas y dirigidas. La variabilidad de hallazgos, como la humedad del suelo que no siempre supera la de campos abiertos, es muestra de ello. La optimización de sistemas Agrivoltaicos, la eficiencia del uso del agua y adaptabilidad a cultivos exige una investigación más detallada para superar desafíos técnicos y maximizar beneficios de esta tecnología.

Por otro lado, es importante considerar aspectos económicos y políticos asociados con la implementación de la AFV. Schindele et al. (2020) destacan el contexto de la creciente demanda de energía solar y la competencia por el uso de la tierra. Indica que, en respuesta a la misma, varios gobiernos, como los de Japón, Francia, Massachusetts (EE. UU.), Corea del Sur y China, han introducido políticas de apoyo a la implementación de AFV desde 2017. Estos gobiernos están considerando la implementación de AFV, como en India y Ale-

mania, buscando información sobre cómo el costo nivelado de la electricidad (LCOE) de AFV difiere del de los paneles fotovoltaicos convencionales montados en suelo, así como sobre cómo los costos adicionales asociados con la instalación de AFV se relacionan con el beneficio de mantener la actividad agrícola bajo AFV.

Agostini et al. (2021) señalan que, a pesar del interés creciente en los sistemas AFV, la falta de análisis exhaustivos tanto económicos como ambientales, ha limitado su adopción. Su estudio concluye que los costos de estos sistemas son comparables a otros sistemas fotovoltaicos, pero destacan su significativa reducción en el impacto sobre la ocupación del suelo y la mejora continua en la calidad de la producción agrícola.

Con respecto a estudios realizados en América Latina, según Schneider (2018), los primeros tres sitios experimentales están en Chile. A partir de una cooperación de Fraunhofer Chile y el gobierno local, los primeros pilotos fueron ubicados en explotaciones con perfiles muy diferentes. En el primero, los beneficiarios cultivaban brócoli y coliflor con métodos profesionales. El segundo, fue instalado en una propiedad familiar de pequeño porte que cultiva hierbas. El último, se estableció en una región debilitada en infraestructura, suministrando energía a siete familias, incluyendo una incubadora de huevos de gallinas.

En tal sentido, en regiones sin red eléctrica, solo unos pocos módulos solares ya representan una mejora significativa en la calidad de vida, acceso a la información, educación y mejor atención médica (*ibid*).

Por tal motivo, la AFV también tiene

la capacidad de mejorar la resiliencia de las comunidades agrícolas al ofrecer la posibilidad de proporcionar una fuente adicional de ingresos a través de la generación de energía. Esto puede ser especialmente beneficioso en áreas rurales donde las oportunidades económicas muchas veces son limitadas (Ketzer, 2020).

La implementación de la AFV evita el despojo de tierras, impactos sociales negativos, y otros problemas asociados que, según El Mekaoui (2018), pueden suscitarse al ejecutar proyectos de energías renovables. La AFV promueve un desarrollo sostenible (integración entre energía, economía, sociedad, ambiente y gobierno), evitando la apropiación masiva de tierras agrícolas para la ocupación de plantas solares fotovoltaicas a ras de suelo. Por tanto, no sólo se mitigan impactos ambientales y sociales, sino que también tiene el potencial de contribuir económicamente a las comunidades y/o productores, previniendo conflictos socioambientales y fomentando un desarrollo inclusivo.

Si bien hay innumerables ventajas con la implementación de sistemas AFV, al ser un concepto todavía novedoso, en el ámbito mundial, aún es incipiente la existencia de estándares de proyectos, normas técnicas o de gestión y esquemas de regulación de precios para los proyectos AFV, con el fin de asegurar la alta calidad en la implementación de estos, aumentar la aceptación social y promover el uso compartido del suelo, para aumentar la resiliencia del sector agrícola (Cusva, 2022).

## Potencialidades de la Agrofotovoltaica en Uruguay

Debido a su ubicación geográfica, Uruguay se caracteriza por una notable incidencia de radiación solar, lo que favorece la implementación de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica. Según datos de la Dirección Nacional de Energía de Uruguay, el país cuenta con una radiación solar promedio de alrededor de 5 kWh.m<sup>-2</sup> al día, lo que posibilita la adopción de la AFV.

La AFV, una innovadora tecnología que combina la producción de energía solar fotovoltaica con la agricultura, ofrece un conjunto de oportunidades prometedoras para Uruguay, un país que enfrenta desafíos y oportunidades únicas en su desarrollo agrícola y energético (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, [MGAP], 2017).

La AFV presenta la oportunidad de aumentar la eficiencia del uso de la tierra, con la implementación de sistemas de energía solar sobre campos agrícolas permitiendo aprovechar al máximo el espacio, generando energía limpia mientras se cultiva la tierra. Esta doble utilización de la tierra no solo contribuye a una mayor productividad agrícola, sino que también diversifica las fuentes de ingresos para los agricultores.

Desde una perspectiva ambiental, la AFV contribuye a la reducción de la huella de carbono de la agricultura al ofrecer un proceso de generación de energía limpio. Además, la sombra proporcionada por los paneles solares puede proteger los cultivos de condiciones climáticas extremas,

reduciendo así la necesidad de riego y aumentando la resiliencia ante eventos climáticos adversos.

La investigación y el desarrollo relacionados con la AFV en Uruguay también representan una oportunidad clave, esto incluye investigaciones sobre la eficiencia de los cultivos bajo la sombra de los paneles solares, así como la gestión integrada de la producción agrícola y energética. La colaboración entre científicos, ingenieros y agricultores puede llevar a la optimización de los sistemas Agrofotovoltaicos para las condiciones específicas de Uruguay.

La AFV no solo es una tecnología innovadora sino también una plataforma educativa que puede aumentar la conciencia sobre la energía renovable y la agricultura sostenible, esto puede tener un impacto positivo tanto en las comunidades rurales como en los centros educativos y de investigación.

Aprovechar estas oportunidades requiere un enfoque interdisciplinario, inversión en investigación y desarrollo, y un compromiso continuo con la sostenibilidad. Esta combinación de factores está de acuerdo con las líneas estratégicas de Uruguay para un futuro sostenible y próspero, donde la agricultura y la energía solar trabajen juntas para impulsar el crecimiento y la resiliencia, como se puede verificar en el documento “Políticas públicas para un Uruguay agointeligente” publicado por el MGAP (2017).

Es importante destacar que, hasta la fecha, no se han llevado a cabo estudios específicos sobre la viabilidad de la tecnología de AFV en Uruguay. La ausencia de

antecedentes locales y la incertidumbre respecto a cómo responderán los cultivos a este sistema, dada la variabilidad climática característica del país, plantean desafíos significativos.

Además, la aceptación social del proyecto y su viabilidad económica para los agricultores uruguayos son inciertas. A pesar de estas consideraciones, existe interés potencial por parte del estado y el respaldo de la universidad. Se espera que, los estudios y proyectos a ejecutarse en este campo, se obtenga información valiosa que pueda contribuir a decisiones informadas por parte de los agricultores, promoviendo así la sostenibilidad y la eficiencia en el sector agrícola del país.

En este sentido los investigadores de UTEC se encuentran actualmente inmersos en un proyecto de investigación para abordar de manera integral la eficiencia del uso del suelo, agua, energía y analizar la viabilidad económica en el contexto.

## Consideraciones finales

La implementación de la tecnología Agrofotovoltaica se alinea de manera efectiva con los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la ONU. La AFV no solo promueve la generación de energía renovable y la agricultura sostenible, sino que también aborda desafíos críticos como la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático.

Representa una oportunidad única para abordar tanto los desafíos energéticos como los agrícolas. La experiencia internacional, ha demostrado que la AFV puede

mejorar significativamente la eficiencia en el uso de la tierra, mejorar las prácticas agrícolas incluso, bajo ciertos escenarios, aumentar la producción de alimentos, a la vez de generar energía renovable, proteger los cultivos de condiciones climáticas extremas y diversificar los ingresos de los agricultores.

En el caso de Uruguay, un país con abundante radiación solar y un compromiso con las energías renovables, la AFV tiene un gran potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética, mejorar los ingresos de los agricultores y reducir el impacto ambiental de la agricultura y la generación de energía.

La investigación en curso en la UTEC es un paso significativo hacia la comprensión de la eficiencia en el uso del suelo, agua, energía, así como la viabilidad económica.

Sin embargo, para aprovechar plenamente estas oportunidades, es esencial abordar desafíos como la inversión inicial requerida y la capacitación de agricultores en la gestión de sistemas Agrofotovoltaicos. Además, se necesita una coordinación efectiva entre los sectores gubernamentales, académicos y empresariales para impulsar la investigación y la implementación de esta tecnología en Uruguay, que tiene la capacidad de ser uno de los líderes en la implementación de esta tecnología en América Latina, aprovechando sus recursos naturales y su compromiso con la sostenibilidad energética y agrícola.

# Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



## Referencias Bibliográficas

Agostini, A., Colauzzi, M., y Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281(116102). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2016). Ecoinnovación y producción verde: Una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe (LC/TS.2017/3). Compilados por Rovira, S. Patiño, P. Schaper M. Santiago, Chile, Publicación de Naciones Unidas.

Cusva, García Andrea Carolina (2022). Análisis para determinar la viabilidad y potencialidad de sistemas agrofotovoltaicos en zonas agrícolas de Colombia. Tesis de maestría en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Bogotá, Colombia.

El Mekaoui, A. (2018). El sector energético retos y problemas sociales: caso de los megaproyectos en las comunidades del estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 22(1), 64-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46757993007>

Goetzberger, A., y Zastrow, A. (1981). Kartoffeln unter dem Kollektor. *Sonnenenergie*, 3(81),19-22. [https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2019/SE\\_3-81\\_Kartoffeln\\_unter\\_dem\\_Kollektor.pdf](https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2019/SE_3-81_Kartoffeln_unter_dem_Kollektor.pdf)

Ketzer, D. (2020). Land Use Conflicts between Agriculture and Energy Production. Systems Approaches to Allocate Potentials for Bioenergy and Agrophotovoltaics. Dissertation.

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2017).

Uruguay Agointeligente: los desafíos para un desarrollo sostenible. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2019-12/libro%20completo%20con%20hipervinculos.pdf>

Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. Acceso en 05/06/2023, disponible en [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

Ramos-Fuentes, I. A., Elamri, Y., Cheviron, B., Dejean, C., Belaud, G., y Fumey, D. (2023). Effects of shade and deficit irrigation on maize growth and development in fixed and dynamic agrivoltaic systems. *Agricultural Water Management*, 280(108187). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108187>

Schneider, K. (2018). Agrophotovoltaik goes global: von Chile bis Vietnam. Freiburg.

Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., ... y Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265(114737). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>

Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., ... y Vollprecht, J. (2020). Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition. A guideline for Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. 1 Edition, October. disponible en <https://solargrazing.org/wp-content/uploads/2021/03/APV-Guideline.pdf>

Trommsdorff, S., Schindele, S., Vorast, M., Durga, N., Patwardhan, S. M., Baltins, K., Söthe-Garnier, A., y Grifi, G. (2019). Feasibility and Economic Viability of Horticulture Photovoltaics in Paras, Maharashtra, India.

Trommsdorff, M., Dhal, I. S., Özdemir, Ö. E., Ketzner, D., Weinberger, N., y Rösch, C. (2022). Agrivoltaics: solar power generation and food production. En Gorjian, S., & Campana, P. E. (Eds.), *Solar energy advancements in agriculture and food production systems* (pp. 159-210). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>

Touil, S., Richa, A., Fizir, M., y Bingwa, B. (2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: a mini review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 20, 281–296. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09572-2>

Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Ryckewaert, M. y Christophe, A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, 206 (1495–1507). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>

Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J., Zikeli, S., Lewandowski, I., y Högy, P. (2021). Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00714-y>

Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. *A review. Agronomy for sustainable development*, 39(35) 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>



# Evaluación de diferentes concentraciones de microalgas como potencial bioestimulante para la germinación de semillas de *Raphanus sativus*

Rafaela Basso Sartori<sup>1</sup> · Eduardo Jacob-Lopes<sup>2</sup>  
Richard Alberto Rodríguez Padrón<sup>1</sup> · Luis Guillermo Ramírez Mérida<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible, Universidad Tecnológica, Durazno, Uruguay; rafabasso.sartori@gmail.com, richard.rodriguez@utec.edu.uy, luis.ramirez@utec.edu.uy

<sup>2</sup>Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; ejacoblopes@gmail.com

## Resumen

El continuo crecimiento de la población mundial ha impuesto grandes desafíos sobre la agricultura. Como resultado, los agricultores han adoptado ampliamente el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos para satisfacer la creciente demanda de alimentos en todo el mundo. Aunque estos productos han ayudado a muchos países en desarrollo a aumentar el rendimiento de sus cultivos, estos han resultado simultáneamente en muchos problemas, principalmente la disminución de la fertilidad del suelo y degradación de los ecosistemas locales. Así, para que la agricultura sea más sostenible, el uso de alternativas productos biológicos, con reconocidos efectos beneficiosos sobre el rendimiento y en la salud de las plantas. En este contexto, las microalgas son fuentes ricas en nutrientes y metabolitos bioactivos, que han ido ganando protagonismo en su forma como propiedades bioestimulantes. Los bioestimulantes son

productos derivados de la materia orgánica que, cuando aplicados en pequeñas cantidades, son capaces de estimular el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos y especies vegetales. En este sentido, este estudio evalúa diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* como potencial bioestimulante para inducir la germinación de semillas de *Raphanus sativus*. Específicamente, el primer experimento se realizó para conocer los datos cinéticos de cada microorganismo y el segundo evaluó la germinación de semillas del cultivar *Raphanus sativus* en el que se utilizó la suspensión de estos microorganismos para mantener la humedad ideal para el desarrollo. Se realizarán tratamientos por igual tanto para *Spirulina platensis* como para *Scenedesmus obliquus*, donde los cultivos fueron diluidos en agua destilada en suspensiones que contienen (T5) 5%, (T10) 10%, (T15) 15% y (T25) 25% y tratamientos de control que contenían únicamente agua destilada (TC1) y otro que contenía

únicamente medio de cultivo (TC2). Por fin, se confirmó que *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* actúan como bioestimulantes capaz de generar una buena tasa de germinación, contribuyendo a una mejor asimilación y estimulación del metabolismo del cultivar *Raphanus sativus*. Además, cuando comparamos las dos cepas, la microalga *Scenedesmus obliquus* obtuvo una mayor productividad celular (19,45 mg/L.h) y una mayor tasa de germinación 138,8% cuando se aplicó el tratamiento de suspensión al 15%.

## Palabras clave

Microalgas · Cianobacterias · Biomasa · Germinación · Sostenibilidad.

## Abstract

The continuous growth of the world population has imposed great challenges on agriculture. As a result, farmers have widely adopted the excessive use of synthetic fertilizers and pesticides to meet the growing demand for food around the world. Although these products have helped many developing countries increase their crop yields, they have simultaneously resulted in many problems, mainly the decline of soil fertility and degradation of local ecosystems. Thus, for agriculture to be more sustainable, the use of alternative biological products, with recognized beneficial effects on the performance and health of plants. In this context, microalgae are rich sources of nutrients and bioactive metabolites, which have been gaining prominence in their form as biostimulant properties. Biostimulants are

products derived from organic matter that, when applied in small quantities, are capable of stimulating the growth and development of various crops and plant species. In this sense, this study evaluates different concentrations of *Spirulina platensis* and *Scenedesmus obliquus* as a potential biostimulant to induce the germination of *Raphanus sativus* seeds. Specifically, the first experiment was carried out to know the kinetic data of each microorganism and the second evaluated the germination of seeds of the *Raphanus sativus* cultivar in which the suspension of these microorganisms was used to maintain the ideal humidity for development. Treatments will be carried out equally for both *Spirulina platensis* and *Scenedesmus obliquus*, where the cultures were diluted in distilled water in suspensions containing (T5) 5%, (T10) 10%, (T15) 15% and (T25) 25% and control treatments that contained only distilled water (TC1) and another that contained only culture medium (TC2). Finally, it was confirmed that *Spirulina platensis* and *Scenedesmus obliquus* act as biostimulants capable of generating a good germination rate, contributing to better assimilation and stimulation of the metabolism of the *Raphanus sativus* cultivar. Furthermore, when we compared the two strains, the microalgae *Scenedesmus obliquus* obtained higher cell productivity (19,45 mg/L.h) and a higher germination rate (138,8%) when the 15% suspension treatment was applied.

## Keywords

Microalgae · Cyanobacteria · Biomass · Germination · Sustainability.

## 1. Introducción

Las prácticas y perspectivas futuras de los agronegocios son de relevancia actual, pero enfrentan dos desafíos: mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos debido al crecimiento de la población mundial y minimizar los impactos en el medio ambiente y la salud humana. Recientemente, numerosas especies de microalgas han sido estudiadas por su efecto promotor en el crecimiento vegetal ligado a su uso como biofertilizantes y bioestimulantes, especialmente asociados a diversos compuestos bioactivos presentes en estos organismos, como polisacáridos, glucósidos, fitohormonas, poliaminas, lípidos y aminoácidos libres (Prisa y Spagnuolo, 2023).

Apesar del uso de estas alternativas biológicas es todavía relativamente bajo en comparación con el uso de productos sintéticos, representando no más del 5% del mercado mundial. Así, la creciente práctica de la agricultura orgánica, la necesidad de disminuir la materia orgánica del agua y del suelo, y una situación favorable al marco regulatorio son los principales factores que impulsan este mercado (Rhoden et al., 2022). Además, con la llegada de programas de manejo integrado de plagas y otras enfermedades que promueven el uso de productos orgánicos, se espera que el sector orgánico vea un aumento en el uso de procesos y productos basados en microalgas en un futuro muy cercano.

Las microalgas han surgido como un recurso potencial de biomasa sostenible debido a su neutralidad hacia el cultivo natural y los medios sintéticos. Estos microorganismos se han clasificado tradicio-

nalmente según los tipos de pigmentos, naturaleza química de los productos de reserva y estructura celular básica (Jacob-Lopes et al., 2019). En la taxonomía actual, los estándares incluyen 16 clases de estos organismos. Sin embargo, las cianobacterias (Cyanophyceae) y las algas verdes (Chlorophyta) son las más significativas en términos de exploración y uso biotecnológico (Borowitzka, 2018).

Las microalgas se pueden encontrar en casi todos los ambientes; encontrando un alto porcentaje en acuíferos (Riviers, 2006). *Spirulina platensis* pertenece a la familia de las cianobacterias (microalgas verdeazules), conocida también por su alto valor nutricional y considerada una de las fuentes naturales más completas de proteínas, vitaminas, minerales y otros nutrientes (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006). Por su parte, especies como *Scenedesmus obliquus*, se caracteriza por tener altas tasas de crecimiento, ser robustas y producir una alta fuente de metabolitos de interés (Jacob-Lopes et al., 2019).

La horticultura implica la explotación de una gran cantidad de especies vegetales, más conocidas como hortalizas, y que incluye cultivos de hoja, raíces, bulbos, tubérculos y frutos diversos. Esta actividad ha sido señalada como una excelente alternativa de agronegocios capaz de incrementar la generación de alimentos en el mundo (Singh et al., 2023). Dentro de la horticultura, el cultivo del rábano tiene la ventaja de permitir ganancias debido a su gran demanda en el mercado de alimentos frescos, además de ser intolerante al trasplante, lo que puede plantarse de forma sencilla y directa. El rábano es una fuente de vitami-

na C, fósforo y fibra con muchos beneficios para la salud humana, tiene un ciclo muy corto (entre 20 y 40 días) y se puede cultivar prácticamente todo el año, obteniendo así un rápido retorno (Dantas, 2014). En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial de germinación de diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* como producto bioestimulante en semillas de *Raphanus sativus*.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Microorganismos y medio de cultivo

Se propagaron cultivos axénicos de *Spirulina platensis* usando un medio de cultivo sintético con la siguiente composición (g/L): NaHCO<sub>3</sub> (3,2), NaCl (2,0), KNO<sub>3</sub> (0,8), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (0,2), MgSO<sub>4</sub> (0,08) y Solucion de hierro (0,01). Ya la microalga verde *Scenedesmus obliquus* se mantuvieron en un medio de cultivo sintético contendo (g/L): K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (0,003), MgSO<sub>4</sub> (0,75), CaCl<sub>2</sub>·(0,76), amonio citrato de hierro (0,06), Na<sub>2</sub>EDTA (0,01), NaCl (0,08), NaNO<sub>3</sub> (0,15), ácido cítrico (0,06), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (0,15), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (0,28), MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O (0,18), ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (0,02), Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (0,04), CoSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O (0,004). Las condiciones de mantenimiento fueron 25 °C y una intensidad de luz constante de 15 μmol.m<sup>-2</sup>/s.

### 2.2 Cultivo en biorreactor y datos cinéticos

Los cultivos se realizaron en un reactor tubular de vidrio de borosilicato, con volumen nominal de trabajo de 2,0 L,

ubicado en el laboratorio agroambiental de la Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC, ITR Centro-Sur, Durazno, UY. Las condiciones de cultivo fueron: concentración celular inicial de 100 mg/L, aireación constante de 1 VVM (volumen de aire por volumen de medio por minuto), una temperatura promedio de 24°C, pH entre 7-8, e iluminación constante de 5 Klux.

Los datos de concentración de biomasa se utilizaron para obtener la tasa de crecimiento específica máxima ( $\ln(X/X_0) = \mu_{max} \cdot t$ ), donde X es la concentración celular final (mg/L), X<sub>0</sub> es la concentración celular inicial (mg/L),  $\mu_{max}$  es la tasa de crecimiento específica máxima (h<sup>-1</sup>), y t es el tiempo de residencia (h). Para la productividad de la biomasa ( $PX = \mu \cdot X$ ), donde  $\mu$  es la tasa de crecimiento (h<sup>-1</sup>) y X es la concentración celular (mg/L). Los experimentos se realizaron por duplicado en el laboratorio agroambiental (UTEC, ITR Centro-Sur) y los datos cinéticos se refieren al promedio de cuatro repeticiones.

### 2.3 Condiciones y tratamientos experimentales

Se obtuvieron comercialmente semillas del cultivar *Raphanus sativus* y se realizaron los experimentos de germinación de semillas. Se prepararon cinco replicas en placas de Petri con 10 semillas en cada una de ellas, que contenían algodón como soporte. Cada una de ellas fue regada cada 24 h con los tratamientos respectivos.

Los tratamientos se realizaron por igual tanto para *Spirulina platensis* como para *Scenedesmus obliquus*, donde los cultivos de estos microorganismos se diluyeron

en agua destilada en suspensiones que contenían las siguientes concentraciones: (T5) 5%, (T10) 10%, (T15) 15% y (T25) 25%, resultando tratamientos equivalentes a concentraciones de 0,16 g/L, 0,32 g/L, 0,48 g/L y 0,80 g/L, respectivamente. Además, también se prepararon dos tratamientos de control que contenían únicamente agua destilada (TC1) y otro que contenía únicamente medio de cultivo respectivo a la microalga (TC2). Los experimentos se mantuvieron en una cámara de germinación (Tecnal, TE 402) con aireación continua, temperatura constante (25 °C) y fotoperiodo controlado de 12h:12h (luminosidad/oscuridad).

## 2.4 Análisis de desarrollo y crecimiento

El número de semillas germinadas de cada tratamiento se registró al final de las 96 horas para calcular el índice de germinación total (IG%) y la longitud promedio de la planta (cm), con el fin de evaluar las diferencias entre *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* y comparar entre las diferentes concentraciones utilizadas y las pruebas de control para cada una. El índice de germinación se determinó según la siguiente fórmula:  $IG\% = 100 \times (Gt/Gc) \times (Pt/Pc)$  donde, Gt es el número de semillas germinadas del tratamiento; Gc es el número de semillas germinadas del control; Pt es la longitud promedio (cm) de las plantas del tratamiento y Pc es la longitud promedio (cm) de las plantas del control.

## 2.5 Análisis estadísticos

Se utilizó el software Statistica 10.0

(StatSoft, USA) para probar las diferencias entre tratamientos mediante análisis de varianza (ANOVA unidireccional) y la prueba de Tukey. Las tendencias se consideraron significativas sólo cuando las medias de los parámetros comparados son diferentes en  $p < 0,05$  de significancia.

## 3. Resultados y discusiones

El crecimiento de microorganismos como *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* está controlado básicamente por una variedad de factores ambientales y para su cultivo son necesarias condiciones adecuadas de nutrientes, temperatura, potencial hidrogénico e iluminación. Por tanto, el conocimiento de los parámetros cinéticos de microalgas y cianobacterias se vuelve fundamental para evaluar sus mejores condiciones de crecimiento y productividad. Así, los resultados obtenidos de la cinética de crecimiento en nuestro estudio se resumen en la Tabla 1.

Parámetros	<i>Spirulina platensis</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>
$X_{\max}$ (mg/L)	1900 <sup>a</sup>	1967 <sup>a</sup>
$P_x$ (mg/L.h)	15 <sup>b</sup>	19,45 <sup>a</sup>
$\mu_{\max}$ (h <sup>-1</sup> )	0,0309 <sup>a</sup>	0,0368 <sup>a</sup>
TG (h)	22,4 <sup>a</sup>	18,8 <sup>b</sup>
TRH (h)	96 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>
R <sup>2</sup>	0,756 <sup>b</sup>	0,933 <sup>a</sup>

$X_{\max}$ : concentración celular máxima,  $P_x$ : productividad celular,  $\mu_{\max}$ : tasa de crecimiento específica, TG: tiempo de generación, TRH: tiempo de residencia hidráulica, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. Letras diferentes en la misma línea indican diferencias según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 1** - Parámetros cinéticos obtenidos para *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus*

como se muestra en la Tabla 1, *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* alcan-

zaron concentraciones máximas de crecimiento celular con nivel significativo similar entre las dos cepas, según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), con 1900 y 1967 mg/L en 96 h de cultivo. La tasa de crecimiento específico, tiempo de generación y productividad celular en biomasa para *Spirulina platensis* fue de 0,0309 h<sup>-1</sup>, 22,4 h y 15 mg/L.h, mientras que para *Scenedesmus obliquus* los resultados fueron 0,0368 h<sup>-1</sup>, 18,8 h y 19,45 mg/L.h, respectivamente.

La variación del rendimiento de biomasa (15 - 20 mg/L.h) para las dos cepas corrobora con los valores normalmente reportados en la literatura. Por ejemplo, para las cianobacterias, Singh y Kumar (2021) encontró una biomasa máxima de alrededor de 16 mg/L.h, mientras que Yadav et al. (2021) obtuvieron para *Spirulina platensis*, *Phormidium* sp. y *Oscillatoria* sp. un promedio entre 12-15 mg/L.h de biomasa seca, en 10 días de cultivo. La productividad de biomasa que obtuvimos para *Scenedesmus obliquus* fue casi 3 veces mayor que los valores obtenidos por Maroneze et al. (2016), y ligeramente superior al obtenido por De Morais et al. (2007) con rendimientos de biomasa de alrededor de 16 mg/L.h para *Scenedesmus obliquus*, en 12 días de crecimiento.

La productividad de la biomasa en nuestro estudio fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) para *Scenedesmus obliquus*, que obtuvo 22% más en comparación con la productividad de *Spirulina platensis*. Una observación pertinente es observar los valores de los coeficientes de determinación obtenidos mediante modelos de regresión lineal simple entre las variables. En este caso, los coeficientes de determi-

nación para *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* fueron  $R^2 = 0,756$  y  $R^2 = 0,933$ , respectivamente. Así, estos resultados mostraron que *Scenedesmus obliquus* explica más del 93% de la variabilidad, o sea, es la que mejor se ajusta a la muestra entre las variables estudiadas en este estudio, en este caso la correlación entre el crecimiento celular y la productividad de la biomasa en el tiempo de crecimiento obtenido para la microalga.

En cierto modo, estos resultados pueden estar asociados con el tipo de metabolismo relacionado con cada tipo de microorganismo, como se informó anteriormente. Además, según Gérin et al. (2020), la diferencia en el rendimiento de biomasa entre estos microorganismos puede estar asociada al medio de cultivo utilizado para su desarrollo. Como podemos observar, el medio de cultivo necesario para el desarrollo de *Spirulina platensis* tiene menos requerimientos de elementos en comparación con *Scenedesmus obliquus*. De hecho, la alta adaptabilidad de las diferentes cepas de *Spirulina* a ambientes extremos (ambientes alcalinos, salinos, alta temperatura, luz, entre otros) facilita la adaptación a medios de cultivo con bajos requerimientos de nutrientes, a lo que al final se suma el alto potencial de esta especie para la producción y comercialización de productos, debido a su bajo costo de mantenimiento (Costa et al., 2018).

Los cultivos comerciales de microalgas comenzaron en los años 1960 (*Chlorella*) seguidos de la *Spirulina* en los años 1970. En esta etapa, la proteína unicelular era el principal producto destinado a la industria, con aplicaciones dirigidas al uso

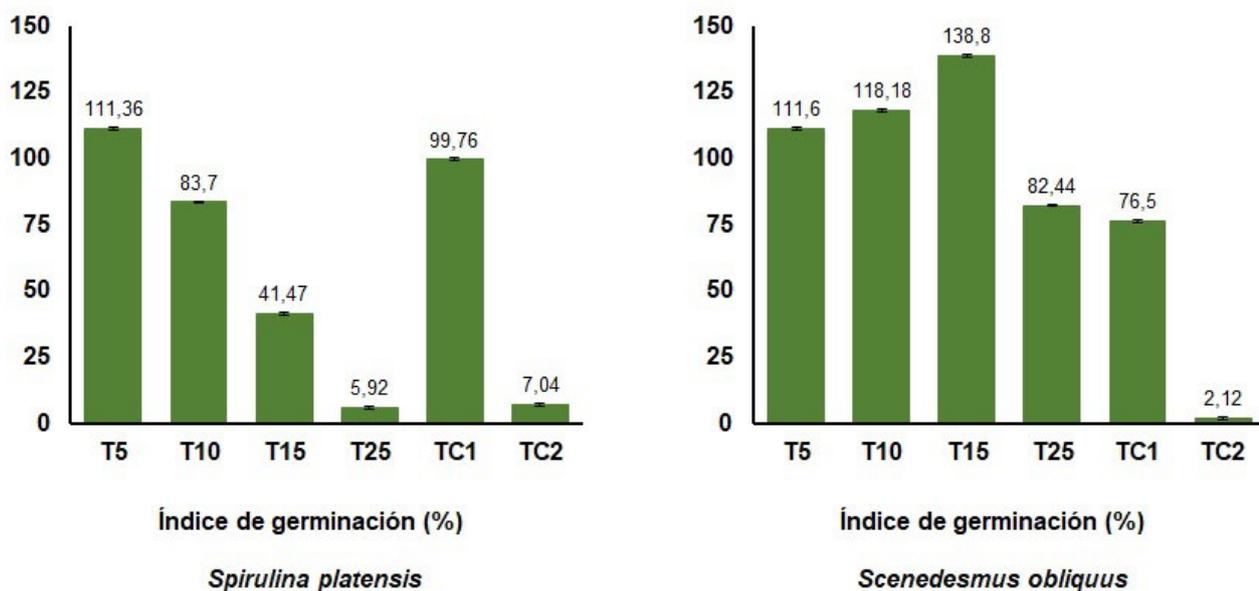
alimentario y profiláctico. Posteriormente surgió la producción de pigmentos y ácidos grasos poliinsaturados como aditivos alimentarios y comida para animales. Más recientemente, el uso de microalgas en la agricultura moderna ha despertado un gran interés debido a la amplia gama de beneficios que pueden aportar, tanto en el aumento de la productividad como en la salud de los cultivos, preservando al mismo tiempo el equilibrio ambiental (Jacob-Lopes et al., 2019).

Aunque se pueden utilizar varios productos para mejorar la productividad de los cultivos, la biomasa de microalgas tiene altos niveles de nutrientes que aportan efectos beneficiosos a las plantas. Es importante resaltar que diferentes compuestos biológicos pueden mejorar la productividad

agrícola a través de diferentes modos de acción y aplicabilidad (Gautam et al., 2021). En este sentido, la Figura 1 presenta los valores del índice de germinación encontrados en este estudio, con base en el uso de diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* en la germinación de semillas de *Raphanus sativus*.

Los resultados de la prueba de germinación (Figura 1) demuestran que las microalgas han demostrado tener efectos positivos en la germinación de las semillas. En particular, el valor de *Scenedesmus obliquus*, especialmente para la concentración del 15%, fue el más alto (138,8%) y significativamente diferente en comparación con otros tratamientos y concentraciones ( $p < 0,05$ ).

Si observamos por separado según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), los resulta-



**Figura 1** - Valores del índice de germinación (%) de *Raphanus sativus* en diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus*.

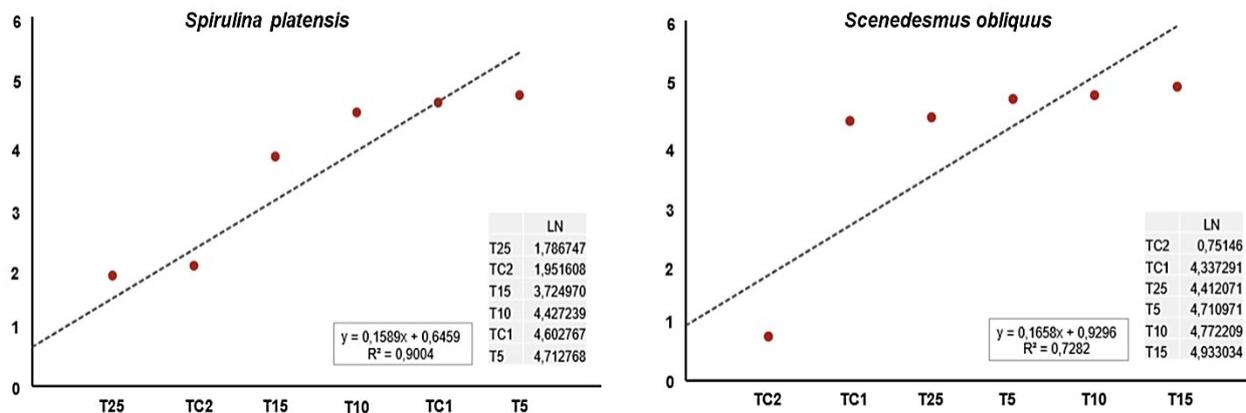
T5: 5%, T10: 10%, T15: 15%, T25: 25%, TC1: agua destilada, TC2: medio de cultivo. Letras diferentes en cada gráfico indican diferencias según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

dos finales de la prueba de germinación de *Spirulina platensis* demuestran que el tratamiento (T5) obtuvo la mayor tasa de germinación (111,36%). En la Figura 1, se puede notar un comportamiento lineal entre tratamientos (T5 a T25), donde las tasas de germinación se reducen a medida que aumenta la concentración de uso de *Spirulina platensis*. Esto podría estar asociado a que los bioinsumos, derivados de microalgas, mejoran cuando se aplican en dosis bajas, lo que significa que tienen la capacidad de regular positivamente y mejorar los procesos fisiológicos y metabólicos de la planta (Cordeiro et al., 2022).

Siguiendo los análisis realizados, en la Figura 2, se presentan modelos de regresión lineal, ajustados entre datos del índice de germinación de *Raphanus sativus* en diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus*. Para estos modelos se obtuvieron los coeficientes de determinación  $R^2 = 0,9004$  para *Spirulina*

*platensis* y  $R^2 = 0,7282$  para *Scenedesmus obliquus*, teniendo en cuenta todas las concentraciones utilizadas, separadas por cada cepa de microalga. Así, los resultados indican que los modelos lograron explicar el 90% y el 73%, respectivamente, de la variabilidad encontrada en la productividad de *Raphanus sativus*. Además, al observar los datos de la Figura 2, es posible identificar una mayor disparidad entre las concentraciones y los medios utilizados para *Spirulina platensis*, mientras que la mayoría de las concentraciones y los medios utilizados para los datos de *Scenedesmus obliquus* rondaron un índice de linealidad entre 4,3 y 4,9, excepto cuando se utiliza sólo medio de cultivo (linealidad: 0,75).

Si comparamos el índice de germinación de *Scenedesmus obliquus*, podemos asociar su aumento debido a un mayor crecimiento celular y productividad de biomasa (Tabla 1), comprobando que existe interacción entre estos análisis, estadística-



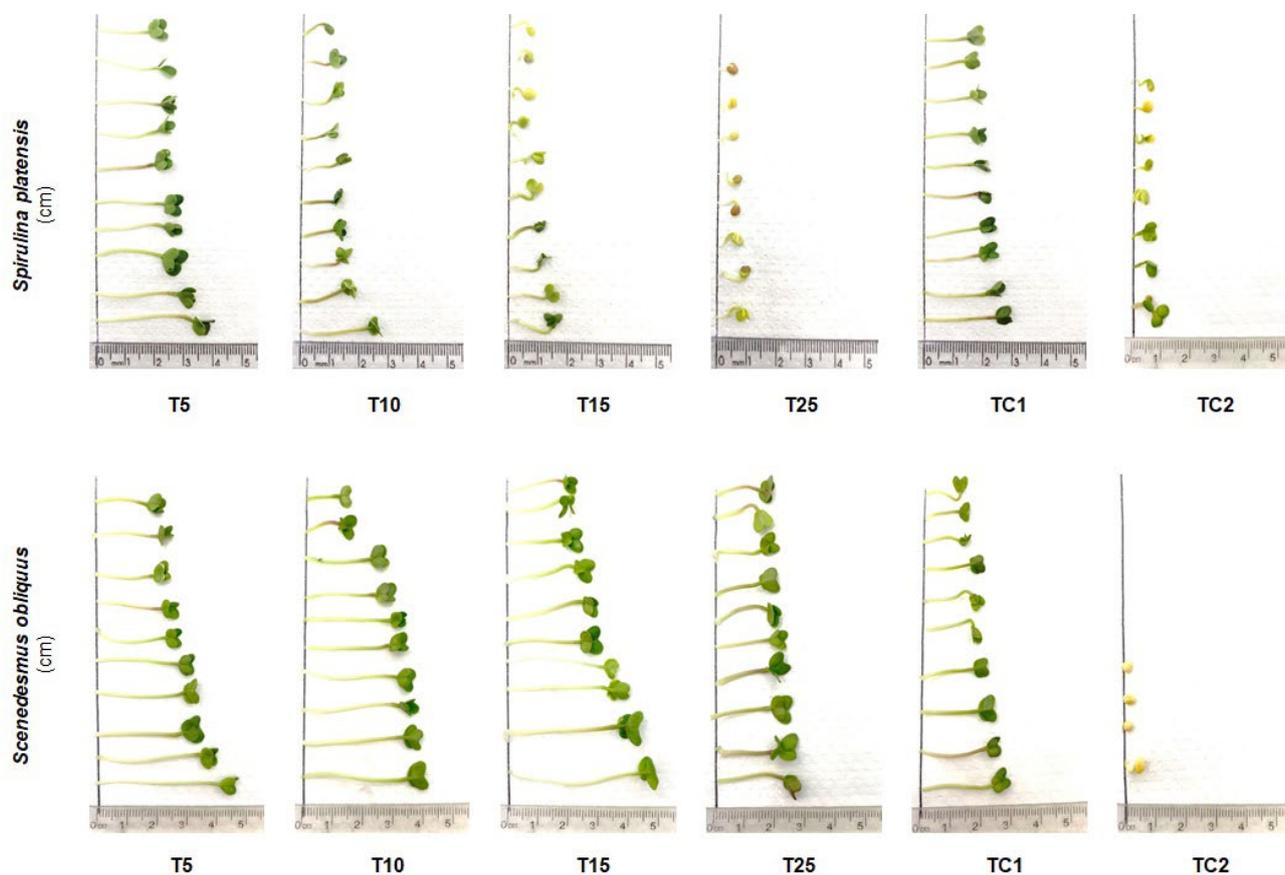
**Figura 2** - Regresión lineal de datos sobre el índice de germinación de *Raphanus sativus* en diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus*.

T5: 5%, T10: 10%, T15: 15%, T25: 25%, TC1: agua destilada, TC2: medio de cultivo. LN: linealidad.

mente. Sin embargo, este aumento solo se da cuando utilizamos una mayor concentración (10% y 15%) en la germinación de las semillas, lo que resultaría en más costos para el proceso, ya que existe una mayor demanda de biomasa. Cuando observamos los valores del 5% entre ambos microorganismos, la diferencia es prácticamente baja (0,24%). Además, los tratamientos al 25% fueron los más bajos en relación con las variaciones de concentración, tanto para *Spirulina platensis* como para *Scenedesmus*

*obliquus*. Estos resultados se pueden ver mejor en la Imagen 1, donde separamos los 10 crecimientos más altos de cada tratamiento para compararlos entre los dos microorganismos utilizados para la prueba de germinación.

Para los tratamientos de control, las tasas de *Spirulina platensis* fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), con una tasa alta para TC1 (99,76%) en comparación con TC2 (7,04%). Estos resultados corroboran también los hallazgos de Sce-



**Imagen 1** - Crecimiento de la planta del cultivar *Raphanus sativus* (cm) a diferentes concentraciones de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus*.

T5: 5%, T10: 10%, T15: 15%, T25: 25%, TC1: agua destilada, TC2: medio de cultivo.

*nedesmus obliquus*, donde TC1 (76,5%) y TC2 (2,12%) se encontraron en cantidades menores, en comparación con los cultivos que utilizaron microalgas. Sin embargo, el efecto de diferentes concentraciones de componentes utilizados en el medio de cultivo puede modificar el desarrollo inicial de las plantas. En este caso, la falta de nutrientes esenciales requeridos por *Raphanus sativus* provocó una menor tasa de germinación en los tratamientos control.

El aumento en el crecimiento de las plantas y la acumulación de biomasa debido a los diferentes tratamientos fue reportado previamente y relacionado con el aumento de clorofila y aminoácidos presentes en estos microorganismos (Lupatini, 2016). Varios estudios han demostrado que *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* contienen aminoácidos esenciales en las proporciones recomendadas por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (Campanella et al., 1999; Habib et al., 2008; Safi et al., 2013).

Cuando son absorbidos por las plantas, los aminoácidos y péptidos libres pueden incorporarse al metabolismo según demandas metabólicas específicas, como por ejemplo para la síntesis de clorofila, o para estimular procesos fisiológicos, actuando así, como moléculas de señalización (Cordeiro et al., 2022). También desempeñan un papel en el transporte de nutrientes dentro de la planta, particularmente nitrógeno. Además, están ampliamente involucrados en metabolismo primario y secundario, lo que lleva a la síntesis de varios compuestos que influ-

yen en la producción, el crecimiento y la tolerancia de la planta al estrés abiótico (Hilderandt et al., 2015).

En términos generales, los datos (Imagen 1) indican que los tratamientos estimularon el flujo de acciones metabólicas, justificando el aumento de las tasas de crecimiento y desarrollo del cultivar en tratamientos utilizados con diferentes concentraciones de cianobacterias y microalgas verdes. Por ejemplo, los promedios de crecimiento de *Spirulina platensis* fueron 2,94, 1,86, 1,43 y 0,74 cm para los tratamientos de 5, 10, 15 y 25%, respectivamente, en los cuales podemos identificar datos estadísticos proporcionalmente inversos, o sea, cuanto mayor la concentración de *Spirulina platensis*, menor fueran los rendimientos de *Raphanus sativus*. Sin embargo, para los tratamientos utilizados con *Scenedesmus obliquus*, el crecimiento promedio de las plantas en cm fue de 3,47 cm para el 15% y 2,29 cm para el 25%, mientras que los tratamientos de 5 y 10% obtuvieron el mismo crecimiento, según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), alcanzando un promedio de 3,16 cm para cada tratamiento reportado. Así, con estos resultados, podemos afirmar que *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* actúan como bioestimulante vegetal, contribuyendo a una mejor asimilación y estimulación del metabolismo del cultivar *Raphanus sativus*.

#### 4. Conclusión

Las microalgas han demostrado tener efectos positivos en la germinación y crecimiento de las semillas. Sin embargo,

existe una clara necesidad de invertir en investigaciones que consideren diferentes especies de microalgas como bioestimulantes, además de estudios que evalúen la cantidad y método de aplicación de sus extractos.

Teniendo esto en cuenta, nuestra investigación permitió identificar que el uso de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus obliquus* promovió la mejor tasa de germinación de las semillas utilizadas y el desarrollo de las plantas del cultivar *Raphanus sativus*, en particular, concentraciones utilizadas entre 5% y 15% alcanzaron un promedio de crecimiento de 2,94 cm y 3,47 cm y una tasa de 111,36 % y 138,8% de germinación, respectivamente. Además, el crecimiento celular de estas cepas alcanzó más de 1900 mg/L, con énfasis en la productividad celular de *Scenedesmus obliquus* (19,45 mg/L.h) en comparación con la productividad celular de *Spirulina platensis* (15 mg/L.h).

La comercialización de un bioestimulantes actualmente no requiere de una demostración clara de su mecanismo de acción, sin embargo un mayor conocimiento de cómo las diferentes moléculas bioactivas afectan la fisiología vegetal permite acelerar la selección de nuevas cepas y planificar estrategias encaminadas a incrementar las concentraciones de compuestos bioactivos de interés en biomásas de microalgas, allanando el camino para una nueva categoría de bioestimulantes caracterizados por una mayor estandarización, fiabilidad y una mayor eficacia en cultivos.

Finalmente, estas informaciones ayudan a definir protocolos más precisos en las aplicaciones de microalgas e las prime-

ras etapas para la generación de plántulas siempre con el objetivo de utilizar compuestos que conserven mejor el medio ambiente. Además, el desafío de producir más alimentos con recursos limitados convierte a las microalgas en una alternativa adecuada para mejorar y proteger la producción vegetal y proporcionar beneficios económicos y ambientales en el mundo actual.

## 5. Agradecimientos

Al Departamento de Investigación y Desarrollo de la Universidad Tecnológica del Uruguay. Josué 1:9

### Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



## Referencias

- Borowitzka, M. A. Biology of Microalgae. In: Microalgae in Health and Disease Prevention. Edited by Levine IA, Fleurence J. Academic Press, 23-72, 2018.
- Campanella, L.; Crescentini, G.; Avino, P. Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on *Spirulina*. *Analisis*, 27, 533–540, 1999.
- Cordeiro, E. C. N.; Mógor, Á. F.; de Oliveira Amatussi, J.; Mógor, G.; de Lara, G. B.; Marques, H. M. C. Microalga Biofertilizer Triggers Metabolic Changes Improving Onion Growth and Yield. *Horticulturae*, 8, 223, 2022.
- Costa, S. S.; Miranda, A. L.; Andrade, B. B.; De Moraes, M. G.; Costa, J. A. V.; Druzian, J. I. Influence of nitrogen on growth, biomass composition, production, and properties of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by microalgae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 552–562, 2018.
- Dantas, G. J.; Silva, P. F.; Matos, R. M.; Borges, V. E.; Neto, J. D. Produção comercial de rabanete fertirrigado com nitrogênio em ambiente protegido. *Revista Educação Agrícola Superior*. 29, 97-102, 2014.
- De Moraes, M. G.; Costa, J. A. V. Biofixation of carbon dioxide by *Spirulina* sp. and *Scenedesmus obliquus* cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor. *Journal of Biotechnology*, 129, 439–445, 2007.
- Ferreira, A.; Bastos, C. R. V.; Santos, C. M.; Acien-Fernandez, F. G.; Gouveia, L. Algaeculture for agriculture: from past to future. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1064041, 2023.
- Gautam, K.; Rajvanshi, M.; Chugh, N.; Dixit, R. B.; Kumar, G. R. K.; Dasgupta, S. Microalgal applications toward agricultural sustainability: Recent trends and future prospects. *Microalgae*, 339-379, 2021.
- Gérin, S.; Delhez, T.; Corato, A.; Remacle, C.; Franck, F. A novel culture medium for freshwater diatoms promotes efficient photoautotrophic batch production of biomass, fucoxanthin, and eicosapentaenoic acid. *Journal of Applied Phycology*, 32, 1581–1596, 2020.
- Habib, M. A. B.; Parvin, M.; Huntington, T. C.; Hasan, M. R. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*. No 1034, FAO, Rome, pp. 2–18, 2008.
- Hilderandt, T. M.; Nesi, A. N.; Araújo, W. L.; Braun, H. P. Amino acid catabolism in plants. *Molecules in Plant*, 8, 1563–1579, 2015.
- Jacob-lobes, E.; Maroneze, M. M.; Depra, M. C.; Sartori, R. B.; Dias, R. R.; Zepka, L. Q. Bioactive food compounds from microalgae: An innovative framework on industrial biorefineries. *Current Opinion in Food Science*, 25, 1–7, 2019.
- Lupatini, A. L.; Colla, L. M.; Canan, C.; Colla, E. Eliane Colla. Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of the Science of food and agriculture*, 1, 2016.
- Maroneze, M. M.; Siqueira, S. F.; Vendruscolo, R. G.; Wagner, R.; De Menezes, C. R.; Zepka, L. Q.; Jacob-Lopes, E. The role of photoperiods on photobioreactors—a potential strategy to reduce costs. *Bioresource Technology*, 219, 493–499, 2016.

Prisa, D.; Spagnuolo, D. Plant Production with Microalgal Biostimulants. *Horticulturae*, 9, 829, 2023.

Ramírez-Moreno, L.; Olvera-Ramírez, R. Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*arthrospira* sp.). *Interciencia*, 31, 657-663, 2006.

Riviers, B. *Biología e Filogenia das Algas*. Porto Alegre, Ed. Artmed, p. 21-27; 66-94; 153-183, 2006.

Rhoden, M. A.; Viana, J. G. A.; Silveira, V. C. P. Change in land use and economic dynamics of the Ibirapuitã River Environmental Protection Area of the Brazilian Pampa biome. *Semina: Ciências Agrárias*. Londrina, 43, 2137-2154, 2022.

Safi, C.; Charton, M.; Pignolet, O.; Silvestre, F.; Vacca-Garci, C.; Pontalier, P. Y. Influence of microalgae cell wall characteristics on protein extractability and determination of nitrogen-to-protein conversion factors. *Journal of Applied Phycology*, 25, 523–529, 2013.

Singh, P.; Kumar, D. Biomass and Lipid Productivities of Cyanobacteria- *Leptolyngbya foveolarum* HNBGU001. *Bioenergy Research*, 14, 278–291, 2021.

Yadav, G.; Sekar, M.; Kim, S. H.; Geo, V. E.; Bhatia, S. K. Lipid content, biomass density, fatty acid as selection markers for evaluating the suitability of four fast growing cyanobacterial strains for bio-diesel production. *Bioresource Technology*, 325, 124654, 2021.



# Revisión de primeros reportes de sostenibilidad del principal productor de celulosa en Uruguay al 2022



Juan Trujillo

Facultad de Ciencias Económicas y Administración, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay;  
juan.trujillo@fcea.edu.uy, ORCID: 0009-0000-4719-5720

## Resumen

Revisión de contenidos y análisis de cumplimiento con las formalidades para la emisión de los primeros reportes de sostenibilidad según Estándares GRI de la empresa Montes del Plata. Se analiza de forma longitudinal para 2019-2020 de qué manera la empresa informa sobre impactos, económico, sociales y ambientales que genera, comprobando un adecuado cumplimiento con los criterios obligatorios requeridos según estándares para la Opción Esencial. Se entiende que los contenidos y la calidad de ambos reportes logran cubrir satisfactoriamente los principios. Se identifican algunas oportunidades de mejora relacionadas a la exhaustividad, fiabilidad y puntualidad. Finalmente, se destaca la disposición a emitir reportes de sostenibilidad.

## Palabras clave

[Celulosa](#) · [Estándares GRI](#) · [Reportes de Sostenibilidad](#).

## Abstract

Review of content and compliance

analysis with the formalities for issuing the first sustainability reports according to GRI Standards by the company Montes del Plata. A longitudinal analysis for 2019-2020 is conducted to examine how the company reports on the economic, social, and environmental impacts it generates, confirming adequate compliance with the mandatory criteria required under the standards for the Essential Option. It is understood that the content and quality of both reports successfully meet the principles. Some opportunities for improvement are identified, related to comprehensiveness, reliability, and timeliness. Finally, the willingness to issue sustainability reports is highlighted.

## Key words

[GRI Standards](#) · [Pulp](#) · [Sustainability Reports](#)

## Introducción

En las últimas dos décadas y en un contexto de expansión de las exportaciones de bienes, las exportaciones de madera, celulosa y papel pasaron de representar el 5% en 2001

al 19% en el año 2021, colocando al sector entre los primeros tres rubros exportadores. (Uruguay XXI, 2022)

La instalación de plantas de producción de celulosa fueron las grandes impulsoras del crecimiento del sector forestal, generando un aumento significativo de las actividades y exportaciones totales del sector

En la actualidad, el sector representa en torno al 3.8% del PIB con francas perspectivas de crecimiento, producto de la instalación de una tercera planta de celulosa. Existen aproximadamente 1700 empresas vinculadas directamente al sector forestal que emplean de forma directa a más de 17.200 personas (Uruguay XXI, 2022)

Particularmente en el año 2022, la empresa Montes del Plata dispone de una capacidad de producción de 1.4 millones de toneladas celulosa/año, ocupando a más de 6.200 empleos entre directos e indirectos en toda la cadena de producción, lo cual la posiciona como el principal productor de celulosa del país, con una contribución del 1.5% del PIB nacional, representando el equivalente del 8.4% de las exportaciones de bienes. (Montes del Plata, 2020). La empresa gestiona 165.000 hectáreas forestadas entre campos propios y de terceros, con la responsabilidad de más de 30% de área propia explotada sobre espacios protegidos de conservación biológica, especies autóctonas y montes nativos. (Montes del Plata, 2020)

Por otro lado, la instalación de estas plantas, ha planteado fuertes debates y cuestionamientos en diversas dimensiones, alcanzando cuestiones vinculadas con la economía, el desarrollo y el ambiente.

Las preocupaciones y los intereses de la sociedad respecto al cuidado medio ambien-

tal se han puesto notoriamente de manifiesto con estos tipos de sistema de producción extractivos, al menos desde el punto de vista de su vínculo con la naturaleza, los cuales según Gudynas (2017) implican la sobre explotación de recursos naturales comunes, reforzando la concepción de la naturaleza como un reservorio de recursos desde una perspectiva utilitarista.

Tan notorio y relevantes han sido los debates y preocupaciones en torno al impacto ambiental de la producción de celulosa en Uruguay que generó un conflicto binacional entre Argentina y Uruguay por más de 8 años, producto de la instalación de la primera planta de celulosa en Uruguay, conflicto que ha sido dirimido a nivel de Corte Internacional de Justicia en la Haya. (López, 2012).

Lo anterior evidencia sucintamente la relevancia de la producción de celulosa sobre la economía nacional, los efectos sobre las inversiones, el empleo, y los aspectos sociales y ambientales derivados de la actividad.

Un modo de informar sobre los impactos económicos, ambientales y sociales que generan las empresas es a través de la emisión de informes de sostenibilidad; específicamente los Estándares GRI refieren a mejores prácticas internacionales diseñadas para informar al público general sobre una variedad de impactos en estas tres dimensiones, lo cual proporciona un esquema estándar para exponer acerca de las contribuciones positivas o negativas de las empresas al desarrollo sostenible.

Particularmente, Montes del Plata utiliza estándares GRI 2016 para emitir sus primeros reportes de sustentabilidad.

## Objetivo

Lo expuesto muestra la relevancia de disponer de información estructurada de la incidencia sobre estas dimensiones del principal productor actual de celulosa, por lo que mediante un estudio de caso, el cual abraza la revisión de contenidos y análisis del cumplimiento con las formalidades para la emisión de reportes de sostenibilidad según Estándares GRI 2016, se analiza de qué forma Montes del Plata, da cuenta de los impactos que genera en sus grupos de interés, mediante la revisión de sus dos primeros reportes de sostenibilidad emitidos en los años 2019 y 2020.

## Marco Conceptual

Se trata de un estudio de caso único de carácter descriptivo (Coller, 2005), con el propósito de la revisión de contenidos y el cumplimiento con las formalidades para la emisión de los reportes de sostenibilidad según estándares GRI, comparando longitudinalmente los reportes disponibles.

Los Estándares GRI surgen en el año 1997 como una respuesta a la creciente demanda de información transparente y confiable sobre el desempeño ambiental, social y económico de las organizaciones, proporcionando un marco internacionalmente reconocido y aportando una guía estructurada mediante un conjunto de principios y directrices para la elaboración de reportes de sostenibilidad que contribuyan a la transparencia, la confianza y la rendición de cuentas.

Estos estándares fueron desarrollados por el Global Sustainability Standards

Board, que opera de forma independiente bajo el auspicio de la Global Reporting Initiative, y fueron concebidos para ser utilizados por organizaciones de cualquier tamaño, sector o ubicación, siendo su principal objetivo proporcionar un marco coherente y comparable para la divulgación de información económica, ambiental y social, permitiendo a las partes interesadas conocer el impacto de la empresa y su contribución a la sostenibilidad.

Si bien se dispone de este marco estándar ampliamente difundido para la elaboración de informes de sostenibilidad, las interpretaciones, la preparación y la publicación de los informes basados total o parcialmente en los Estándares GRI son responsabilidad de quienes los producen (Global Reporting Initiative [GRI], 2021), no existiendo un requisito formal de validación y/o verificación del informe por parte de un tercero.

Un informe según estándares GRI 2016 se organiza en torno a principios claves como la relevancia, la materialidad, la exhaustividad, la precisión, el equilibrio, la claridad, la comparabilidad, la fiabilidad, la puntualidad, la participación de los grupos de interés y el contexto de sostenibilidad, los cuales actúan como guía para garantizar la calidad y credibilidad del reporte.

El contenido debe incluir información general sobre la organización, estrategia, gobernanza, ética y transparencia, así como el manejo de impactos económicos, ambientales y sociales. Los temas relevantes se identifican a través del análisis de materialidad, priorizando aquellos de mayor impacto para la empresa y sus partes interesadas.

Los estándares GRI se dividen en universales (GRI 101, GRI 102, GRI 103) que cubren aspectos generales de sostenibilidad, y específicos (GRI 200, GRI 300, GRI 400), que abordan el desempeño económico, ambiental y social. Las organizaciones deben decidir si su informe cumple con el nivel esencial o exhaustivo.

Al evaluar las formalidades para la emisión de reportes según los Estándares GRI 2016 y tratándose de un enfoque de triple resultado del desempeño organizacional, se requiere la identificación de indicadores relevantes y la evaluación de la coherencia de la información presentada.

El proceso de evaluación de formalidades consiste en verificar si estos principios se aplican adecuadamente en la recopilación, presentación y verificación de la información, además de verificar la mención a la opción de conformidad utilizada, “Esencial” o “Exhaustiva”, la inclusión del índice de contenidos GRI, la priorización y verificación de los temas materiales más relevantes para la organización y sus partes interesadas y la verificación de participación de estos últimos en la identificación de los temas..

Adicionalmente se requiere considerar la atención a las particularidades del proceso de elaboración del reporte, lo que incluye la gestión de datos, la verificación de la información y la divulgación transparente de las metodologías utilizadas. (Global Reporting Initiative, s.f)

Como se expuso previamente, aunque no es obligatorio, se recomienda la verificación externa del informe para mayor credibilidad. Finalmente, el informe debería ser accesible al público, generalmente en formato digital.

## **Consideraciones de partida para la revisión de los Reportes de Sostenibilidad**

A setiembre de 2022, Montes del Plata ha emitido únicamente dos reportes de sostenibilidad de forma consecutiva, años 2019 y 2020.

La evaluación de formalidades para la emisión de ambos reportes se evalúa contra los Estándares GRI 2016 en español (Global Reporting Initiative, 2017)

## **Revisión de los Reportes de Sostenibilidad**

Ambos reportes declaran conformidad con la opción Esencial de los Estándares GRI como se observa en la Tabla 1, explicitando el cumplimiento en cada uno de los principios, tanto en lo relativo a la definición de los contenidos como al aseguramiento de la calidad de la información incorporada.

La opción Esencial contiene la información mínima necesaria para comprender la naturaleza de la organización, sus temas materiales e impactos relacionados y cómo estos se gestionan.

Se encuentra explícito para ambos que el responsable de la elaboración del documento es el área de “Sustentabilidad y Comunicaciones”.

El primer reporte, 2019, menciona la capacitación certificada de 20 colaboradores de distintas áreas en la metodología de elaboración de reportes según los Estándares de referencia.

Documento	Opción	Extensión [paginas]
Reportes de Sostenibilidad 2019	Opción Esencial	108
Reportes de Sostenibilidad 2020	Opción Esencial	148

**Tabla 1** - Opción según Estándar GRI 2016. Fuente: Elaboración propia

## Análisis de cumplimiento de formalidades de los Reportes

Se observa en ambos reportes qué en lo relativo a los criterios obligatorios formales relacionados con: (1) declaración, (2) información general y (3) enfoque de gestión:

### Criterios Obligatorios para cumplir con las formalidades

Los informes de sostenibilidad analizados verifican la conformidad con el cumplimiento de los Criterios Obligatorios requeridos según Estándares GRI (GRI 101 Fundamentos 2016) relativos a:

1. La correcta utilización de declaración apropiada.
2. La correcta inclusión de índice de contenidos GRI en apartado específico: "Acerca de este reporte" con referencia precisa a la página donde se encuentra la información de referencia.
3. La correcta inclusión de los contenidos obligatorios para aportar información contextual sobre la organización según GRI 102: Contenidos Generales 2016 para Opción Esencial
4. Los temas materiales son informados según un enfoque de gestión y cobertura establecidos en GRI 103: Enfoque de

Gestión 2016, Contenido 103-1 Explicación del tema material y su Cobertura

5. Cumplimiento con la utilización de Estándares temáticos GRI de la serie 200, 300 y 400 para informar sobre temas materiales.

En referencia a la utilización de GRI103: Enfoque de Gestión 2016, no se declaran omisiones en los Contenidos 103-2 y 103-3, sin embargo, para algunos temas materiales no es claro o evidente el cumplimiento con los requerimientos de presentación de información.

No se explicita si existe una notificación por parte de la organización de la utilización de los estándares hacia GRI o si el documento se encuentra registrado.

### Principios relativos a la definición del contenido

Respecto a los principios para la elaboración de informes expuestos en la Sección 1, GRI 101 Fundamentos 2016 relativos a la definición del contenido del informe:

#### Inclusión de los Grupos de Interés:

En un apartado anexo se identifica claramente quienes son, de qué forma se relacionan y qué expectativas tienen los grupos de interés de la organización.

**Contexto de sostenibilidad:**

Se observa que el reporte da cuenta de cómo la organización vincula sus objetivos y pilares estratégicos haciendo referencia a Objetivos de Desarrollo Sostenible. Describe como los temas económicos, ambientales y sociales se relacionan con su estrategia, riesgos y objetivos de largo plazo, incluyendo su cadena de valor.

**Materialidad:**

Da cuenta explícita de cómo determina los temas Materiales, los cuales son considerados desde una perspectiva interna y/o interés para los principales Grupos de Interés, y clasificados según importancia relativa, exponiendo en el reporte aquellos clasificados como de prioridad alta para ambos o alguno de estos.

La matriz de materialidad expuesta en los anexos de los reportes, representa gráficamente el criterio antes descripto.

**Exhaustividad:**

No se dispone de información adicional u eventualmente otros reportes de sostenibilidad de organizaciones que realizan actividades similares para realizar | económicos, ambientales y sociales significativos adecuadamente, y si estos permiten que los grupos de interés evalúen el desempeño de la organización informante en el periodo objeto del informe.

El reporte explícita que el documento tampoco fue sometido a la verificación de un tercero, lo cual no contribuye a la determinación de la exhaustividad del mismo.

**Principios relativos a las definiciones sobre la calidad**

Relativo a los principios para la elaboración de informes expuestos en la Sección I, GRI 101 Fundamentos 2016 relativos a las definiciones sobre la calidad del informe:

**Precisión:**

El autor del presente trabajo, el cual no dispone de vínculo o interés específico con la organización que emite los reportes, como revisor imparcial observa qué: ambos reportes indican los datos que se han medido, se describen las bases de cálculo y sus consideraciones, también aquellos datos que se han estimado y las metodologías utilizadas.

Se observa que las declaraciones cualitativas son coherentes con la información aportada y las evidencias expuestas, permitiendo sostener que existe un nivel adecuado de precisión.

**Equilibrio:**

Se observa que se declaran resultados favorables y desfavorables, si bien estos últimos son escasos en términos relativos, se relacionan con algunos pocos temas materiales valorados inferiormente en la matriz de materialidad y son expuestos desde una perspectiva comparativa contemplando, por un lado, el desempeño del año previo, conjuntamente con parámetros correspondientes a normativa nacional y estándares internacionales, por otro.

Esto podría tener cierta explicación para la elaboración del primer informe del 2019,

pero no dispone de sustento técnico para no presentar la información de años previos en el informe 2020, impidiendo al usuario identificar tendencias y evoluciones más allá de un periodo de comparación.

No obstante, el hecho de disponer de parámetros de referencia previstos por la normativa nacional o estándares de buenas prácticas internacionales para parte importante de los temas materiales, permite al menos disponer de una referencia valiosa para evaluar el desempeño sobre el tema.

#### **Claridad:**

Es notorio la claridad con la que se exponen los contenidos en ambos reportes, la información se presenta de forma comprensible y se evitan detalles excesivos que pueden generar confusión.

Ambos documentos son fácilmente navegables y bien estructurados, permiten encontrar la información con relativa facilidad. El contenido gráfico y la estructura facilitan la lectura.

Las páginas contienen un encabezado que indica en que apartado se encuentra el lector, y a que Estándar Temático y Contenido GRI corresponde.

El reporte del año 2019, se encuentra en formato electrónico embebido dentro de la web, lo que presenta ciertas desventajas para la accesibilidad. Sin embargo, el reporte de año 2020 presenta mejoras notorias en este aspecto. El mismo se encuentra en formato electrónico descargable, el cual adicionalmente permite la navegación me-

dante links dentro del mismo documento y el direccionamiento hacia algún contenido multimedia exterior, el cual favorece ampliamente el recorrido del documento, incluso aumentando el nivel de accesibilidad mediante otras tecnologías que pueden permitir la traducción o resolver otras necesidades de accesibilidad de ciertos grupos con distintas capacidades.

#### **Comparabilidad:**

Si bien únicamente se dispone de dos reportes consecutivos, se aprecia coherencia en cuanto a los métodos utilizados para calcular los datos, los supuestos y explicaciones de métodos aplicados, así como el formato del informe, el cual se mantiene prácticamente invariable, incorporando mejoras en términos de claridad expuestas previamente.

Se presentan cifras absolutas y relativas a la producción, lo que permite realizar comparaciones con información previa. No obstante, como se mencionó respecto al equilibrio, únicamente se prestan datos históricos del periodo previo informado, impidiendo al lector identificar tendencias y evoluciones más allá de un periodo de comparación.

La Cobertura de los temas materiales se mantiene similar en los periodos informados comparados, pero en el segundo reporte de sostenibilidad emitido, incorpora algunos temas enriqueciendo el contenido del informe, (ver en Tabla 2).

Se observa adicionalmente que presenta otros temas relevantes no completados en los estándares, tales como Certificaciones, Clima Organizacional e Innovación.

TEMA	Estándar temático	Contenido	Estándar específico	2019	2020
Agua y efluentes	GRI 303: Agua y Efluentes 2018	303-1	Interacción con el agua como recurso compartido.	No	Si
		303-2	Gestión de los impactos relacionados con los vertidos.	No	Si
		303-3	Extracción de agua.	Si	Si
		303-4	Vertido de agua.	Si	Si
		303-5	Consumo de agua.	Si	Si
Biodiversidad	GRI 304: Biodiversidad, 2016	304-1	Centros de operaciones en propiedad, arrendados o gestionados ubicados dentro de o junto a áreas protegidas o zonas de gran valor para la biodiversidad fuera de áreas protegidas.	Si	Si
		304-2	Impactos significativos de las actividades, los productos y los servicios en la biodiversidad.	Si	Si
		304-3	Hábitats protegidos o restaurados	Si	Si
		304-4	Especies que aparecen en la Lista Roja de la UICN.	Si	Si
Certificaciones	--	--	Indicadores propios.	Si	Si
Calidad	--	--	--	Si	no
Clima organizacional	--	--	Indicadores propios.	Si	Si
Compliance	GRI 205: Anticorrupción, 2016	205-3	Casos de corrupción.	No	Si
	GRI 307: Cumplimiento ambiental	307-1	Incumplimiento de la legislación y normativa ambiental.	No	Si
	GRI 419: Cumplimiento socioeconómico	419-1	Incumplimiento de leyes y normativas en los ámbitos social y económico.	No	Si
Comunidades locales / Donaciones	GRI 413: Comunidades Locales, 2016	413-1	Operaciones con participación de la comunidad local, evaluaciones del impacto y programas de desarrollo.	Si	Si
		404-1	Medía de horas de formación al año por empleado.	Si	Si
Desarrollo de talentos (capacitación, evaluación)	GRI 404: Formación y Enseñanza, 2016	404-2	Programas para mejorar las aptitudes de los empleados y programas de ayuda a la transición.	Si	Si
		404-3	Porcentaje de empleados que reciben evaluaciones periódicas del desempeño y desarrollo profesional.	Si	Si
Desempeño económico	GRI 201: Desempeño Económico, 2016	201-1	Valor económico directo generado y distribuido.	Si	
Eficiencia organizacional	--	--	Indicadores propios	Si	Si
Emisiones y cambio climático	GRI 305: Emisiones, 2016	305-1	Emisiones directas de GEI (alcance 1).	Si	Si
		305-2	Emisiones indirectas de GEI al generar energía (alcance 2).	Si	Si
		305-3	Otras emisiones indirectas de GEI (alcance 3).	Si	Si
		305-7	Óxidos de nitrógeno (NOX), óxidos de azufre (SOX) y otras emisiones significativas	Si	Si
Empleo	GRI 401: Empleo, 2016	401-1	Nuevas contrataciones de empleados y rotación de personal.	Si	Si
		401-2	Beneficios para empleados a tiempo completo.	No	Si
Energía	GRI 302: Energía, 2016	302-1	Consumo energético de la organización.	Si	Si
		302-3	Intensidad energética.	No	Si
Fiscalidad	GRI 207: Fiscalidad, 2019	207-4	Presentación de informes por país.	Si	Si
Incidentes Ambientales	--	--	--	Si	no
Innovación	--	--	Indicadores propios.	Si	Si
Residuos	GRI 306: Residuos, 2020	306-1	Generación de residuos e impactos signifi relacionados con los residuos.	No	Si
		306-2	Gestión de impactos significativos relacionados con los residuos.	No	Si
		306-3	Residuos generados.	Si	Si
		306-4	Residuos no destinados a eliminación.	Si	Si
		306-5	Residuos destinados a eliminación.	Si	Si
Salud y seguridad empleados y contratistas		403-1	Sistema de gestión de la salud y la seguridad.	Si	Si
		403-2	Identificación de peligros, evaluación de riesgos e investigación de incidentes.	Si	Si
		403-3	Servicios de salud en el trabajo.	Si	Si
		403-4	Participación de los trabajadores sobre salud y seguridad en el trabajo.	Si	Si
		403-5	Formación de trabajadores sobre salud y seguridad en el trabajo.	Si	Si
		403-6	Fomento de la salud de los trabajadores.	Si	Si
		403-7	Prevención y mitigación de los impactos en salud y la seguridad.	Si	Si
		403-8	Trabajadores cubiertos por un sistema de gestión de la salud y la seguridad.	Si	Si
		403-9	Lesiones por accidente laboral.	Si	Si
		403-10	Dolencias y enfermedades laborales.	No	Si
Uso de suelo	--	--	Indicadores propios.	Si	Si

**Tabla 2 - Comparación Estándares Específicos 2019-2020. Fuente: Elaboración propia**

### **Fiabilidad:**

En ninguno de los reportes es posible evaluar la fiabilidad mediante la revisión de los contenidos. No se encuentran declaraciones expresas en referencia a la accesibilidad a las fuentes originales y su disponibilidad para revisión por parte de fuentes externas.

El reporte explicita que el documento tampoco fue sometido a la verificación de un tercero, por lo que al igual que con el principio de exhaustividad, la determinación de la fiabilidad por esta vía no es aplicable.

Desde la perspectiva ex ante, en cuanto a los procesos de toma de decisiones subyacentes vinculadas a la determinación de los contenidos de los informes y las Coberturas de los temas o la participación de los Grupos de Interés y de qué manera se evidencian estos en los documentos, ambos reportes exponen de qué forma se consideraron las perspectivas, expectativas y distintos requerimientos de los Grupos de Interés a través de distintas actividades, permitiendo revisar las decisiones claves.

Estas actividades incluyen lo siguiente: Análisis de buenas prácticas del sector forestal, bibliografía referida a la sostenibilidad en la industria [GRI, SASB], revisión de encuestas de clima organizacional, encuestas a representantes BID<sup>1</sup>, compilación de las principales materias requeridas por socios accionistas en distintos informes, análisis de los principales requerimientos regulatorios, estudios de percepción y de seguimiento realizados en las comunidades de influencia.

Se destaca que, si bien el proceso lógico de validación de los datos requeriría la conformidad de las áreas responsables, en ambos casos se explicita textualmente que los datos aportados fueron entregados y validados por cada una de las gerencias responsables.

### **Puntualidad:**

A la fecha de elaboración del presente estudio, no se encuentra disponible un tercer reporte correspondiente al año 2021. Adicionalmente, ninguno de los reportes disponibles indica fecha de publicación, lo cual imposibilita determinar regularidad y en qué medida se ha mantenido la frecuencia de elaboración que permita y sea de utilidad en tiempo, para que los grupos de interés puedan integrar la información en su toma de decisiones.

Por otro lado, sí se observa regularidad en cuanto a la duración de los periodos objeto de los informes, ambos reportes cubren desde el 01/01 al 31/12 del año informado.

## **Conclusiones**

Del estudio de caso longitudinal efectuado sobre los reportes de sostenibilidad en referencia a la revisión crítica de contenidos expuestos y el cumplimiento con las formalidades para la emisión de los mismos, es relevante destacar una serie de hallazgos.

En primera instancia es relevante mencionar que el marco de referencia utilizado responde a estándares interna-

---

<sup>1</sup> **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo

cionales para la emisión de reportes de sostenibilidad, en particular Estándares GRI, Opción Esencial. Este aspecto no es menor, ya que otorga un marco exhaustivo y ordenado para dar cuenta sobre los aspectos económico, sociales y ambientales a los grupos de interés, más aún, si se considera que la cantidad de empresas a nivel nacional que utilizan los estándar GRI<sup>2</sup> para emitir sus reportes, son prácticamente inexistentes.

En segunda instancia, se observa un adecuado cumplimiento con los criterios obligatorios requeridos según el estándar para la declaración de la Opción Esencial. Adicionalmente es de destacar que, en referencia a la definición de contenidos y la calidad de los reportes, se trata de dos documentos que logran adecuadamente cubrir los principios según estándares.

Por otro lado, se identifican algunas oportunidades que podrían mejorar aspectos vinculados a la exhaustividad con que se aborda los temas materiales y sus Coberturas y la fiabilidad, ya sea mediante declaración y permitiendo el acceso a fuentes originales por terceros o grupos de interés, o la participación de agentes externos para verificación.

También sería conveniente incluir datos históricos más allá del periodo informado, el hecho de contar únicamente con información histórica del año anterior al periodo informado, no permite observar tendencias en los aspectos materiales cubiertos. Otro aspecto menor, pero

contribuiría a la toma de decisiones para los grupos de interés, tiene que ver con el conocimiento sobre la regularidad y puntualidad de la emisión de los mismos

No se explicita si existe notificación por parte de la empresa en la utilización de los estándares hacia GRI o si el documento se encuentra registrado.

Por último y como un aspecto más que relevante, se entiende altamente positivo el hecho de la emisión de reportes de sostenibilidad, es de esperar que sea el inicio sistemático de esta actividad.

## Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



<sup>2</sup> GRI *Sustainability Disclosure Database* dejó de publicarse en diciembre de 2020. Según la base disponible 2018, únicamente tres empresas en Uruguay emitían sus reportes según estándares GRI: Banco de Seguros del Estado, Securitas Uruguay y Gralado SA.

## Referencias

Coller, X. (2005). Estudio de casos. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas. ISBN: 84-7476-387-8

Global Reporting Initiative (s.f) <https://www.global-reporting.org/about-gri/>

Global Reporting Initiative. (2016). GRI 101: Foundation 2016. <https://reportadviser.com/wp-content/uploads/2021/05/GRI-101-foundation-2016.pdf>

Global Reporting Initiative.(2017). Estándares GRI 2016 en español. <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/resource-center/>

Gudynas, E. (2013). Extracciones, extractivismos y extrahecciones. Un marco conceptual sobre la apropiación de recursos naturales. Observatorio del Desarrollo N° 18. CLAES Centro Latino Americano de Ecología Social

Laguna, Hugo. (2022). Seminario de Sector Forestal Asociación de Ingenieros Agrónomos. Oficina de Programación y Política Agropecuaria. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Uruguay.

López Escarcena (2012). El asunto de las plantas de celulosa sobre el Río Uruguay. Revista Chilena de Derecho, vol. 39 N° 3, pp. 849 - 860 [2012]

Montes del Plata. (2020). *Reporte de Sostenibilidad 2020*. <https://www.montesdelplata.com.uy/espanol/reporte-sostenibilidad-gri-2020-21?sid=234&doc=1>

Montes del Plata. (2019). *Reporte de Sostenibilidad 2019*. <https://www.montesdelplata.com.uy/espanol/reporte-sostenibilidad-gri-2019-21?sid=233&doc=1>

Uruguay XXI (2022), *Sector Forestal en Uruguay*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/54d7c374d7aac91a7ea7b-0d7b48973c687d47084.pdf>

# Estudio Exploratorio de Evaluación de Modelos de Negocio Circulares en Uruguay

Silvia Belvisi Crossa<sup>1</sup>, Lili María Inés Vázquez Boasso<sup>2</sup>,  
Joan Manuel F. Mendoza<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Tecnólogo Químico, Informático e Industrial Mecánico, Universidad Tecnológica, Paysandú, Uruguay; silvia.belvisi@utec.edu.uy

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay; ivazquezboasso@gmail.com

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Mondragon Unibertsitatea, País Vasco, España; jmfernandez@mondragon.edu

## Resumen

Uruguay ha mostrado un compromiso creciente con la economía circular (EC) a través de diversas iniciativas impulsadas desde los sectores público, académico y privado. Sin embargo, el desarrollo de soluciones sistémicas que permitan el establecimiento de modelos de negocio circulares y cadenas de valor sostenibles sigue siendo un área poco explorada. Este estudio se centra en la evaluación de la circularidad de 27 empresas uruguayas de sectores como el agroalimentario, industrial, de servicios y de gestión de residuos, utilizando la herramienta NETcircular+ desarrollada por el Grupo de Economía Circular y Sostenibilidad Industrial (ECSI) de la Universidad Mondragón (MU) en España.

A través de esta metodología, se midió el nivel de adopción de prácticas circulares en distintas áreas empresariales, identificando fortalezas, debilidades y oportunidades para mejorar su desempeño circular. Los resultados preliminares indican que las empresas tienen un nivel de sensibilización

importante sobre los desafíos ambientales, pero aún enfrentan limitaciones en la integración de prácticas circulares. Este trabajo representa un paso inicial en el desarrollo de métricas de diagnóstico y monitoreo de la circularidad empresarial en Uruguay, con miras a establecer una línea de base y permitir futuros estudios comparativos con el contexto europeo.

## Palabras clave

[Economía Circular](#) · [Modelos de Negocio Circulares](#) · [Eco-Innovación Sur Global](#) · [Pensamiento del Ciclo de Vida](#) · [Modelos de Negocios Sostenibles](#).

## Abstract

Uruguay has shown a growing commitment to the circular economy (CE) through various initiatives promoted by the public, academic and private sectors. However, the development of systemic solutions that enable the establishment of circular business models and sustainable

value chains remains an underexplored area. This study focuses on the evaluation of the circularity of 27 Uruguayan companies from sectors such as agri-food, industrial, services and waste management, using the NETcircular+ tool developed by the Circular Economy and Industrial Sustainability Group (ECSI) of Mondragón, Spain.

Through this methodology, the level of adoption of circular practices in different business areas was measured, identifying strengths, weaknesses, and opportunities to improve their circular performance. Preliminary results indicate that companies have a significant level of awareness about environmental challenges, but still face limitations in the integration of circular practices. This work represents an initial step in the development of diagnostic and monitoring metrics for business circularity in Uruguay, with a view to establishing a baseline and allowing future comparative studies with the European context.

## Keywords

[Circular Economy](#) · [Circular Business Models](#) · [Eco-Innovation](#) · [Global South](#), [Life Cycle Thinking](#) · [Sustainable Business Models](#).

## Introducción

La economía circular (EC) es un modelo económico orientado a reducir la extracción de recursos naturales y minimizar la generación de residuos, prolongando la vida útil de los materiales y optimizando su valor en cada fase del ciclo de vida (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

En el contexto de los países del Sur Global, como Uruguay, la implementación de soluciones circulares ha sido menos robusta en comparación con las naciones del Norte Global, donde estos enfoques están más avanzados (Sarmiento dos Muchangos, 2021). En América Latina y el Caribe (LAC), las iniciativas de economía circular han tendido a centrarse en el reciclaje y la gestión de residuos, dejando de lado otros modelos circulares más amplios e integrales (UNEP, 2023). Uruguay, por ejemplo, ha desarrollado políticas como Uruguay Circular y ha planificado la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) en 2024. No obstante, existen desafíos estructurales significativos para avanzar hacia una economía más circular y sostenible (Ministerio de Industria, 2021).

Este artículo analiza 27 empresas uruguayas que pertenecen a sectores clave como el agroalimentario, industrial, servicios y gestión de residuos. En cada una de ellas se evaluó su nivel de circularidad y su capacidad para adoptar modelos de negocio circulares. La metodología utilizada es NETcircular+ desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mondragón, España. Adicionalmente se encuestó a cada empresa sobre la aplicación de esta herramienta y su facilidad para ser respondida. En base a este análisis se concluye que la herramienta es apta para emplearse en el contexto empresarial uruguayo.

## Marco teórico

La economía circular (EC) se define como un modelo alternativo al sistema lineal de producción y consumo, cuyo

objetivo principal es reducir la extracción de recursos naturales y la generación de residuos, promoviendo un uso más eficiente de los mismos mediante estrategias que prolongan el ciclo de vida de los productos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). En lugar de seguir la lógica lineal de “tomar, hacer y desechar”, la EC propone un ciclo continuo en el cual los materiales se reutilizan, reparan, reciclan y recuperan, manteniéndolos en el flujo económico el mayor tiempo posible (Geissdoerfer et al., 2017). Este enfoque busca optimizar el valor de los recursos en todas las etapas del proceso productivo.

La EC se alinea estrechamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12, que fomenta la producción y el consumo sostenibles, pero su impacto es transversal, ya que contribuye significativamente a otros ODS. El ODS 3 (Salud y Bienestar) se beneficia de una EC al reducir la contaminación y mejorar la salud pública; el ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico) se ve impulsado por la creación de empleos verdes y oportunidades en la innovación sostenible; el ODS 13 (Acción por el Clima) es apoyado a través de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, y el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) es favorecido por la conservación de los recursos naturales (Geissdoerfer et al., 2017).

Uno de los pilares clave de la EC es el desarrollo de modelos de negocio circulares (MNC) que se enfocan en minimizar el uso de recursos y reducir la generación de residuos y emisiones (Ghisellini et al., 2016). Los MNC permiten extender, intensificar o desmaterializar los ciclos materiales y energéticos, promoviendo así la eco-innovación y la creación de productos y servicios sostenibles (Bocken et al., 2016).

nibles (Bocken et al., 2016).

La implementación de la EC en América Latina y el Caribe (LAC) enfrenta barreras estructurales que dificultan su adopción. Estas incluyen el limitado acceso a tecnología avanzada, financiamiento y capacidades institucionales, lo que ralentiza la transición hacia una economía más circular (Sarmientos Muchangos, 2021). A pesar de su vasta biodiversidad y recursos naturales, la EC ha sido predominantemente asociada con la gestión de residuos y el reciclaje, dejando de lado otros modelos más integrales. La falta de infraestructura adecuada y políticas de largo plazo que incentiven el desarrollo de prácticas circulares ha sido una limitación clave para la región (UNEP, 2023). Es fundamental en LAC adoptar un enfoque integral que permita movilizar recursos y fomentar transformaciones positivas, integrando incentivos innovadores, ajustes en los comportamientos, avances tecnológicos y la revisión de políticas para impulsar el cambio en el sector público y en el privado (Circularity Gap Report América Latina y el Caribe, 2023, p. 95).

El diagnóstico del nivel de circularidad en las empresas es fundamental para identificar áreas de mejora y diseñar estrategias efectivas de transición hacia la EC. En este sentido, dentro del contexto europeo y basado en la vinculación universidad y empresa, se desarrolló el proyecto NET Circular. A través de su módulo ANALYTICS, es posible medir el grado de adopción de prácticas circulares en diversas áreas empresariales, desde la gestión organizacional hasta la gestión de productos y residuos. Esta herramienta permite evaluar el desempeño circular de las empresas, ofrecien-

do una visión integral de sus fortalezas y debilidades en el camino hacia la circularidad (Geissdoerfer et al., 2017).

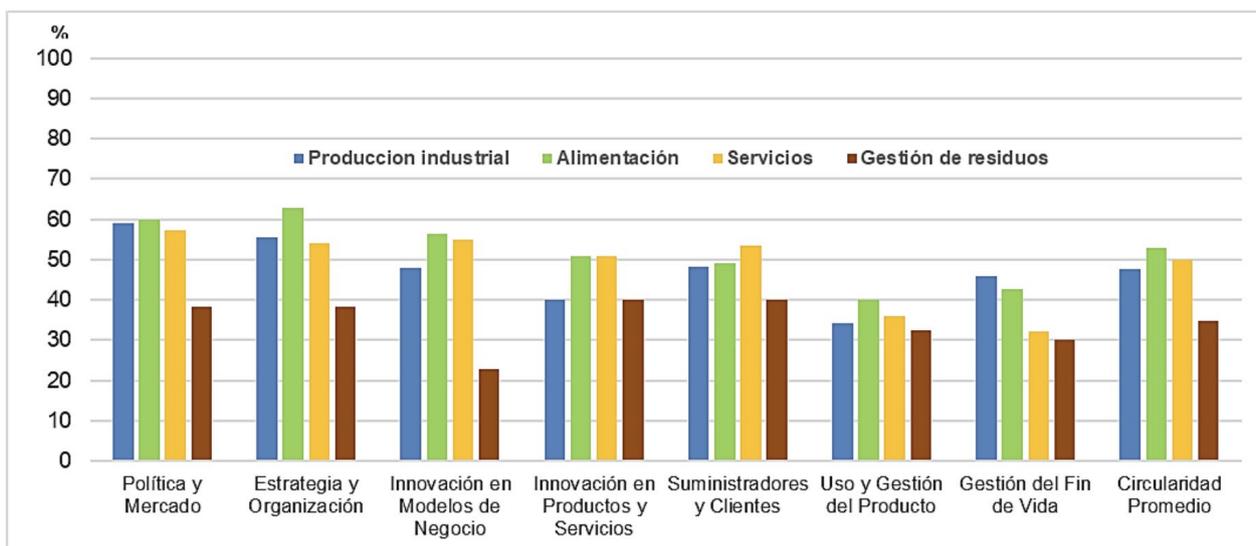
## Materiales y Métodos

En cada empresa seleccionada se realizó un análisis de los principales retos e intereses empresariales para transitar hacia una EC mediante entrevistas con profesionales de las empresas utilizando el módulo ANALYTICS de la herramienta NETcircular+ (<https://www.netcircularplus.eus/>). En la página citada se puede visualizar las herramientas, el acceso al diagnóstico es cerrado y fue brindado por ECSI de MU a los efectos de realizar este trabajo.

Este módulo aplicado determina el desempeño de cada empresa en lo que respecta a 7 áreas de acción en EC: i) estrategia, organización, planificación y capacitación, ii) innovación en modelos de negocios, iii) innovación en productos

y servicios, iv) proveedores, colaboradores y clientes, v) uso y gestión del producto y servicio, vi) gestión del fin de vida del producto y servicio, y vii) política y mercado.

El relevamiento consiste en la aplicación de un cuestionario compuesto por 40 preguntas relacionadas con la economía circular (EC). Se utiliza una escala Likert que varía de 1 a 5, donde 1 indica “poco implementado” y 5 representa “totalmente implementado”. En esta escala, el valor de 5 se asocia al 100% de circularidad, aplicándose luego una escala lineal descendente para los valores menores. Para cada ítem de desempeño circular, se calcula el promedio de las respuestas obtenidas en las preguntas correspondientes. A partir de este diagnóstico, se proponen medidas e innovaciones destinadas a incrementar la incorporación de conceptos y soluciones de economía circular (EC) en los modelos de negocio evaluados.



**Figura 1** - Promedio de circularidad de las 27 empresas uruguayas agregado por sector económico.

## Resultados y Discusión

La Figura 1 presenta el nivel promedio de circularidad de las 27 empresas uruguayas agregadas en los siguientes sectores económicos: producción industrial (12), alimentación (8), servicios (5) y gestión de residuos (2).

El nivel de circularidad de las empresas promediado por sector económico varía entre 35% (mínimo asociado a las que realizan gestión de residuos) y 53% (máximo asociado a las de alimentación), siendo el promedio global de circularidad de las 27 empresas equivalente al 46%.

Las empresas alimentarias cuentan con capacidad para mejorar la salud de las personas (ej. ofrecer productos con alto valor nutricional y antioxidante haciendo uso de etiquetas informativas), reducir el uso de fertilizantes tóxicos y facilitar la recuperación de nutrientes en un sector que es una de las mayores fuentes de residuos en Uruguay. Sin embargo, el sector presenta dificultades en incorporar la EC en los procesos productivos por su escasa experiencia en el desarrollo de prácticas circulares.

Entre las posibles mejoras destacan: i) establecer alianzas que faciliten la implementación de la EC, ii) incorporar sistemas de medición de la EC, iii) invertir en tecnología y maquinaria, iv) considerar sistemas de pago que promuevan la incorporación de prácticas circulares por parte de los consumidores, y v) apoyar a productores para incorporar prácticas circulares.

Las empresas de servicios cuentan con programas específicos para promover la EC (ej. planes de gestión ambiental) y know-how en operaciones de logística. Sin

embargo, el sector tiene dificultades en el acceso al financiamiento y personal cualificado insuficiente como para poner en marcha soluciones de EC. Se detecta una falta de conocimiento sobre el rol de los servicios en el despliegue de una EC sostenible. Entre las estrategias más relevantes identificadas destacan i) el fomento de la digitalización para inventariar flujos energéticos y materiales y optimizar eficiencias, ii) el seguimiento post venta para la reutilización de productos a través del despliegue de logística inversa para empresas de distribución, iii) fomentar la compra verde, iv) implementación de espacios de co-working, v) desarrollar plataformas de difusión de conceptos de EC.

Las empresas de producción industrial tienen un alto nivel de capacitación en innovación y gestión de materiales y residuos (en planta) así como del uso de tecnologías limpias y sistemas de gestión ambiental. Sin embargo, la utilización de la maquinaria no está optimizada, el tiempo para innovar en materia de EC es reducido y costoso (dado el limitado acceso al financiamiento), y su diversificación de productos es baja con una elevada inestabilidad en los suministros, lo que dificulta la oferta de propuestas de valor circulares y sostenibles. Entre las mejoras destacan: i) incentivar la formación y sensibilización de los profesionales industriales, ii) utilizar indicadores de circularidad para la mejora continua de procesos y productos, iii) fortalecer la red logística instaurando un sistema circular de recuperación de recursos en todas las fases de la cadena productiva mediante el uso de tecnologías digitales y el establecimiento de alianzas estratégi-

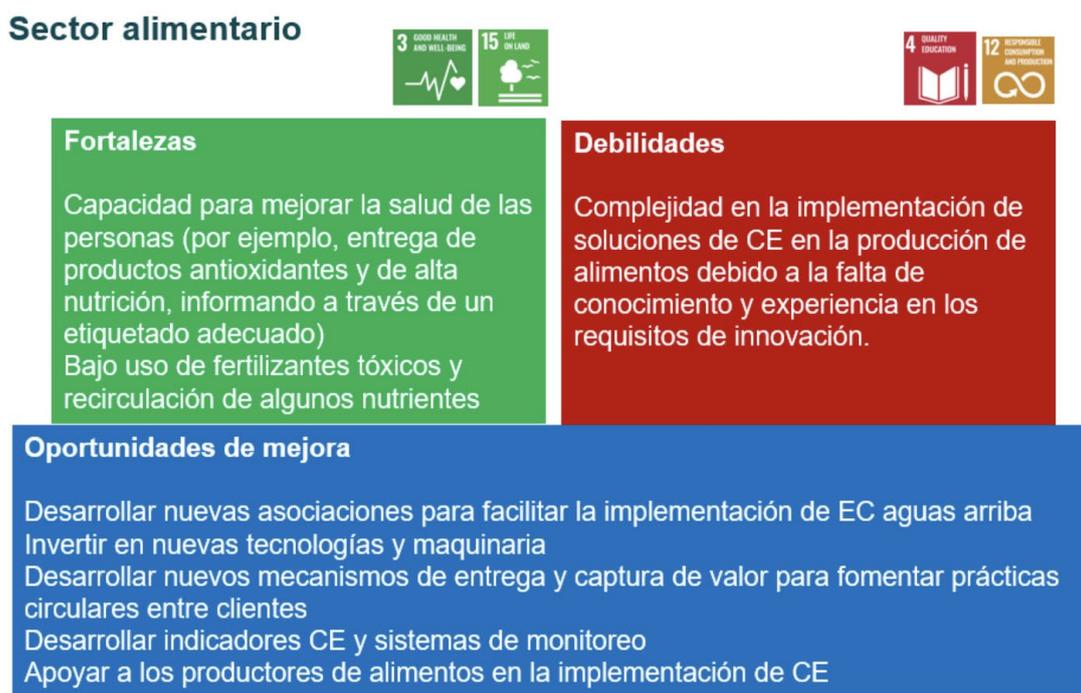
cas, iv) eco-diseñar priorizando el uso de bio-materiales y fuentes de energía renovables, v) fomentar la simbiosis industrial para el intercambio de residuos como recursos entre industrias, vi) plantear soluciones de servitización (ofrecer servicios vinculados a un producto, en lugar de venderlo directamente).

Las empresas de gestión de residuos disponen de capacidades para gestionar la distribución y tratamiento de residuos, incluyendo la trazabilidad de los procesos. Tienen capacidad para producir biogás y compost a partir de desechos orgánicos, articulando con diferentes agentes sociales. Entre las mejoras aplicables destacan i) utilizar nuevas tecnologías limpias y adecuar la logística para hacerla más eficiente, ii) invertir en investigación para convertir residuos en nuevos productos sostenibles, iii) buscar proveedores y clientes que for-

talezcan la cadena productiva donde el eje central sea la prevención y tratamiento de residuos. Es fundamental renovar los vehículos y modernizar las tecnologías de gestión de residuos. Además, se necesita optimizar los procesos industriales y asegurar un suministro constante de residuos. Esto permitirá ofrecer productos y subproductos derivados de residuos con menores costos y menor impacto ambiental.

Estos resultados demuestran que las empresas han iniciado el desarrollo de soluciones de EC pero en ningún caso han implementado todas las oportunidades para construir cadenas de valor circulares.

En las figuras 2 y 3 se presenta en forma esquemáticas el análisis de dos sectores, alimentario e industrial. Se señalan las fortalezas, debilidades y las oportunidades detectadas. Los ODS vinculados se detallan para cada sector.



**Figura 2** - Análisis sector alimentario.

## Sector Industrial



Figura 3 - Análisis sector industrial.

## Conclusiones

El análisis evidencia la sensibilización de las empresas estudiadas hacia la problemática ambiental y una disposición favorable hacia la adopción de prácticas de economía circular (EC). No obstante, la transición hacia modelos de negocio circulares y sostenibles requiere una estrategia más estructurada y detallada. Esto es, profundizar el conocimiento sobre los beneficios específicos y las oportunidades que la EC ofrece a nivel económico y ambiental. Las empresas necesitan orientación clara y práctica sobre cómo integrar soluciones tecnológicas y no tecnológicas, adaptando las mejores prácticas a su realidad y su entorno particular.

En resumen, la implementación efectiva de la EC en Uruguay requiere una com-

binación de sensibilización, capacitación, investigación, transferencia tecnológica, simbiosis industrial y políticas públicas.

Cabe destacar que la selección de las empresas no fue realizada mediante un muestreo estadístico, sino que este estudio representa un primer avance hacia el desarrollo de cadenas de valor sostenibles en Uruguay, pero no permite generalizaciones a nivel nacional. Es fundamental continuar con investigaciones de esta naturaleza, que permitan medir la evolución de la economía circular en las empresas, tomando esta línea de base como punto de referencia. Además, resulta indispensable realizar un análisis comparativo con el uso de la herramienta en contextos europeos, lo que aportará una visión más amplia y contextualizada de las diferencias y similitudes entre las regiones. Este proceso de monitoreo será

clave para evaluar el impacto de las políticas públicas, las acciones empresariales, los esfuerzos académicos y la participación de la sociedad en su conjunto, proporcionando información valiosa para consolidar el avance hacia una economía circular integral en Uruguay.



## Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



## Referencias

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.

Circularity Gap Report América Latina y el Caribe. (2023). Cerrando la Brecha de Circularidad en América Latina y el Caribe.

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition (Vol. 1). Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.

Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in

context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>

Lewandowski, M. (2016). Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. *Sustainability*, 8(1), 43. <https://doi.org/10.3390/su8010043>

Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438. <https://doi.org/10.1038/531435a>

Webster, K. (2015). *The Circular Economy: A Wealth of Flows*. Ellen MacArthur Foundation Publishing. <https://ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-a-wealth-of-flows-2>

Ministerio de Ambiente. (2021). Uruguay + Circular. <https://www.gub.uy/ministerioambiente/politicas-y-gestion/uruguay-circular> (accessed April 2023).

Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2021). Plan Nacional de Economía Circular. <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/node/7021> (accessed April 2023).

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380.

Lorenzo, I. (2020). Economía Circular y Cambio Climático: contribución desde Uruguay a través de la valorización de residuos. Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay.

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Wiley, New Jersey.

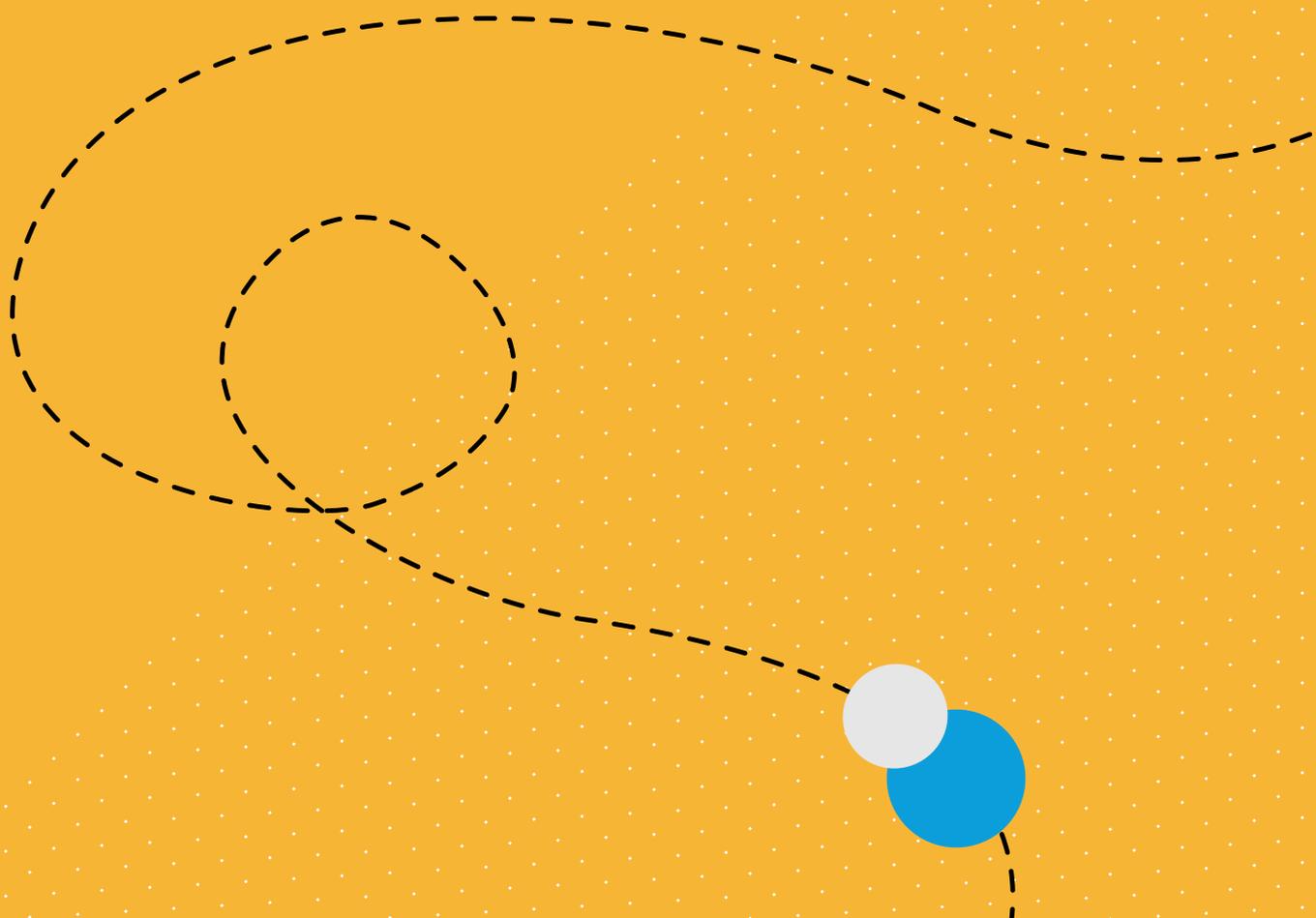
Sarmento dos Muchangos, L. (2021). Circular Economy in the Global South: Unlocking its potential. *Sustainability Science*, 16(3), 747–758. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00947-1>

Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Unlocking Circular Economy Finance in Latin America and the Caribbean: The Catalyst for a Positive Change*. UNEP – Finance Initiative, Geneva, Switzerland.

SECCIÓN 2

# Educación de calidad (ODS 4)



# Creación del primer grupo universitario de competencias e investigación en robótica de UTEC: Urubots

André Luiz da Silva Kelbouscas<sup>1,2</sup> · Nathalie Assunção Minuzi<sup>2</sup>  
Ricardo Bedin Grandó<sup>1,2</sup> · Marion Agustina de Freitas Vidal<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Ingeniería de Control y Automática, Universidad Tecnológica, Rivera, Uruguay; andrekelbouscas@utec.edu.uy, ricardo.grando@utec.edu.uy, marion.defreitas@estudiantes.utec.edu.uy

<sup>2</sup>Robótica e Inteligencia Artificial, Universidad Tecnológica, Rivera, Uruguay; nathalie.minuzi@utec.edu.uy

## Resumen

El artículo presenta la creación del primer grupo universitario de competencias e investigación en robótica de la Universidad Tecnológica (UTEC), denominado Urubots. A partir de las experiencias de docentes extranjeros en competencias de robótica y de una posible inserción de Uruguay en competencias latino americana y mundial de robótica de la Robocup, se tiene la principal motivación para la creación del grupo. Son presentados el perfil de los integrantes del grupo, principales proyectos en desarrollo, sus reconocimientos hasta el momento y proyectos futuros.

## Palabras clave

Urubots · Grupo de robótica e IA · Robótica para enseñanza e investigación.

## Abstract

The article presents the creation of

the first university group of robotics skills and research at the Technological University (UTEC), called Urubots. Based on the experiences of foreign teachers in robotics competitions and a possible insertion of Uruguay in Latin American and global Robocup robotics competitions, there is the main motivation for the creation of the group. The profile of the group members, main projects in development, their recognitions so far and future projects are presented.

## Keywords

Urubots · Robotics and AI team · Robotics for education and research.

## 1. Introducción

La introducción de la robótica en la sociedad ocurre de manera exponencial. El foro económico Mundial (2023) presenta que un punto clave en los cambios del futuro del trabajo en la sociedad es la au-

tomatización ya sea en nivel de hardware como en el software. En este sentido, se conoce el hecho de que los robots incrementan la velocidad y precisión de procesos industriales mientras lo realizan de forma más segura y con mayor calidad.

Teniendo esto en cuenta el escenario presentado, se intuye que los trabajadores deben insertarse en áreas más conceptuales e interpersonales. Según el informe del Foro Económico Mundial (2023) la automatización de los servicios apoyado en tecnologías como la robótica e Inteligencia Artificial generará un cambio profundo en los puestos de trabajo a nivel global. (Elife, 2023). Con el objetivo de apoyar a los estudiantes en su formación y que puedan desarrollar estas competencias para el mundo del trabajo el grupo de robótica Urubots de la Universidad Tecnológica (UTEC) fue creado en el año 2022, en el Instituto Tecnológico Regional Norte (ITRN), por los docentes Msc. André Kelbouscas e Msc. Ricardo Grandó.

Con base en este contexto el grupo pretende introducir a estudiantes de la universidad a la robótica e inteligencia artificial, sirviendo como impulso para el desarrollo de actividades de investigación científica, desarrollo, extensión y la participación en competencias a nivel nacional, latinoamericano y mundial.

## 1.1 Revisión de Literatura

### 1.1.1 Robótica educativa

En contexto de la enseñanza y aprendizaje de la robótica es cada vez más difundido en las instituciones de educación a

nivel mundial. Con esta mirada se entiende que este tipo de actividad puede potenciar aspectos en los estudiantes como la creatividad y resolución de problemas complejos. En Uruguay, según Benavides et al (2013) ya se articulan prácticas como la de Butia Bots que trabajan el tema de la inserción de la robótica como una herramienta pedagógica donde se busca promover la construcción del conocimiento, apoyando que el estudiante salga de un concepto abstracto hacia un concreto.

Se destaca también que en el contexto uruguayo el tema de la robótica está profundamente relacionado con el Plan Ceibal, que promueve este tipo de propuestas educativas, como presenta Rivoir (2009).

De acuerdo con Pereiro (2015) la robótica es una posibilidad en el campo de la enseñanza pues permite interactuar con distintas áreas del conocimiento y la promoción de competencias como el trabajo en equipo, creatividad e interdisciplinariedad para la solución de problemas en el área de la robótica e IA.

## 1. Propuesta Metodológica

Con el objetivo de construir con los estudiantes las habilidades técnicas vinculadas al área de robótica e inteligencia artificial, se plantea la formación de UruBots basado en las experiencias que se están generando.

Este tipo de acción, dentro de una institución de enseñanza en nivel superior, busca incentivar la investigación, extensión y enseñanza de la comunidad académica. Los estudiantes integrantes del grupo Urubots pertenecen a distintas carreras de la universidad, realizando aportes según su área de

interés en el grupo desarrollando un proceso interdisciplinario.

Otro punto que se puede destacar es que el pertenecimiento al grupo provee a los estudiantes contactos con distintas carreras y áreas de desarrollo tecnológico, brindando experiencias de networking y oportunidades laborales alineadas con la propuesta de innovación y desarrollo en nivel nacional e internacional. Es importante destacar que estas relaciones que se establecen basadas en un interés común de los estudiantes puede impulsar la generación de futuras alianzas para el desarrollo.

En este sentido, como parte del proceso formativo se pretende que los estudiantes del grupo de robótica sean incentivados a participar de investigaciones científicas en conjunto con los docentes a cargo, teniendo como metas esenciales el descubrimiento y la innovación en las áreas tratadas. Algunas investigaciones ya se encuentran en desarrollo, siendo las más destacadas en el área de robótica móvil terrestre fue desarrollada con robots Turtlebots 3 Burger y con los robots de Small Size League, robots específicos para utilización en competencias.

Además, también hay proyectos en el área de robótica aérea, con un drone desarrollado totalmente en UTEC, en Robótica de Servicios, con manipulación, navegación, mapeo de hogares y en Robótica Asistencial, con desarrollo de tecnología embebida con enfoque en asistencia en terapias de rehabilitación motora.

El proceso de crear un grupo con tales objetivos empezó por la articulación entre docentes y estudiantes, basados en sus inquietudes y necesidades de profundización de la temática. De todos modos, se entendió

la necesidad de que para formalizar el grupo algunos puntos serían de extrema relevancia como por ejemplo, conocer el perfil de los participantes y pensar estrategias de desarrollo y temáticas de interés para que los estudiantes puedan seguir motivados.

Por esta razón, el grupo tuvo como uno de sus lineamientos, la realización de nivelación de conocimientos seleccionados como básicos para el trabajo en UruBots. Para sistematizar el ingreso de los participantes se ha decidido utilizar una metodología de formación permanente en formato de mini cursos, los cuales son dictados por un referente del tema.

Esa propuesta de formación continua, ocurren semanalmente, el cual tiene una duración aproximada de dos horas. Las formaciones, tienen un carácter teórico práctico, donde los estudiantes tienen la oportunidad de profundizar sus conocimientos en determinados temas. Así mismo, al culminar la instancia de taller grupal se dejan tareas relacionadas al mini curso de la semana, para el que deseen ampliar sus conocimientos sobre la temática dictada en el taller.

Como política de motivación para realizar los cursos, el grupo logró la certificación, como una estrategia de valoración al esfuerzo y tiempo de dedicación para las instancias. Así, es posible potenciar dentro del grupo una dinámica de formación y que le aporten créditos dentro de la institución (necesarios para egresar) a los integrantes del grupo.

El cronograma inicial consiste en 8 minicursos/talleres, los mismos son: Gestión de Proyectos, Python básico, Linux y ROS, Simulación de robots, Práctica con robots, Introducción al Deep Learning, Intro-

ducción a la Visión por Computador, Overleaf y Metodología Científica y Electrónica para Robótica. Además, los mismos tienen como objetivo orientar a los integrantes a su área de interés, si esta ya no estaba previamente definida.

Se tienen integrantes con formaciones en diversos bachilleratos. Entre ellos: ingeniería, informática, mecánica, entre otros. Hay integrantes que tienen trayectorias de competencias Ceibal con legos, los mismos también poseen conocimientos



**Figura 1** - Estudiantes y docentes a cargo en el taller de entrenamiento para el grupo

## 2.1 Equipo

El equipo de UruBots se compone por al menos diez estudiantes de la UTEC, los cuales son alumnos de ICA (Ingeniería en Control y Automática), PRIA (Posgrado en Robótica e Inteligencia Artificial) e ILOG (Ingeniería en Logística). En la Figura 1, se muestran algunos estudiantes junto a los docentes en uno de los talleres organizados por el grupo.

en la plataforma de arduino y comunicación en red, que comparten sus experiencias y saberes con los demás integrantes del grupo.

Además se poseen integrantes con medallas en robótica, los cuales participaron de la FIRST LEGO League, la cual es una competencia de robótica de Ceibal, siendo la misma clasificatoria para otras competiciones.

La gestión del equipo está a cargo de dos docentes del Instituto Tecnológico-

co Regional Norte de Utec: uno es docente adjunto de robótica del PRIA, ingeniero en computación (Universidad Federal de Santa María) con una maestría en ingeniería de computación (Universidad Federal de Río Grande), MSc. Ricardo Grandó y otro que es docente encargado de programación de la ICA y también docente del PRIA, ingeniero en automatización (Universidad Federal de Río Grande) y máster en ingeniería de computación (Universidad Federal de Río Grande), MSc. André Kelbouscas.

### 2.2.1 Turtlebots 3

El primer robot adquirido por el laboratorio de robótica fue el Turtlebot 3 Burger, se muestra en la Figura 2, el cual es un robot educativo utilizado mayoritariamente

para la didáctica. El mismo fue adaptado para realizar un proyecto de investigación con inteligencia artificial, donde fue utilizado la técnica de IA de aprendizaje por refuerzo, esta técnica es muy utilizada para control de robots, en especial robots móviles. Se configuró la computadora para entrenar las redes neuronales, se creó un ambiente de simulación, se entrenaron los robots en la simulación y se configuraron los turtlebots para que funcionara en un ambiente real. Al crear el escenario se realizó el *sim-to-real* (simulación para real) donde se probaron las nuevas abordajes de Inteligencia Artificial

El primer proyecto se realizó de enero a marzo de 2022; se envió un artículo sobre el mismo a la Conferencia Internacional de Robótica y Sistema Ope-



**Figura 2 - ERobots Turtlebots Burger**

racional de Robots (IROS 2022), la cual es la segunda mayor conferencia de robótica del mundo. En julio se plantea realizar avances con estos robots, teniendo en vista realizar nuevos tests con nuevos abordajes de IA.

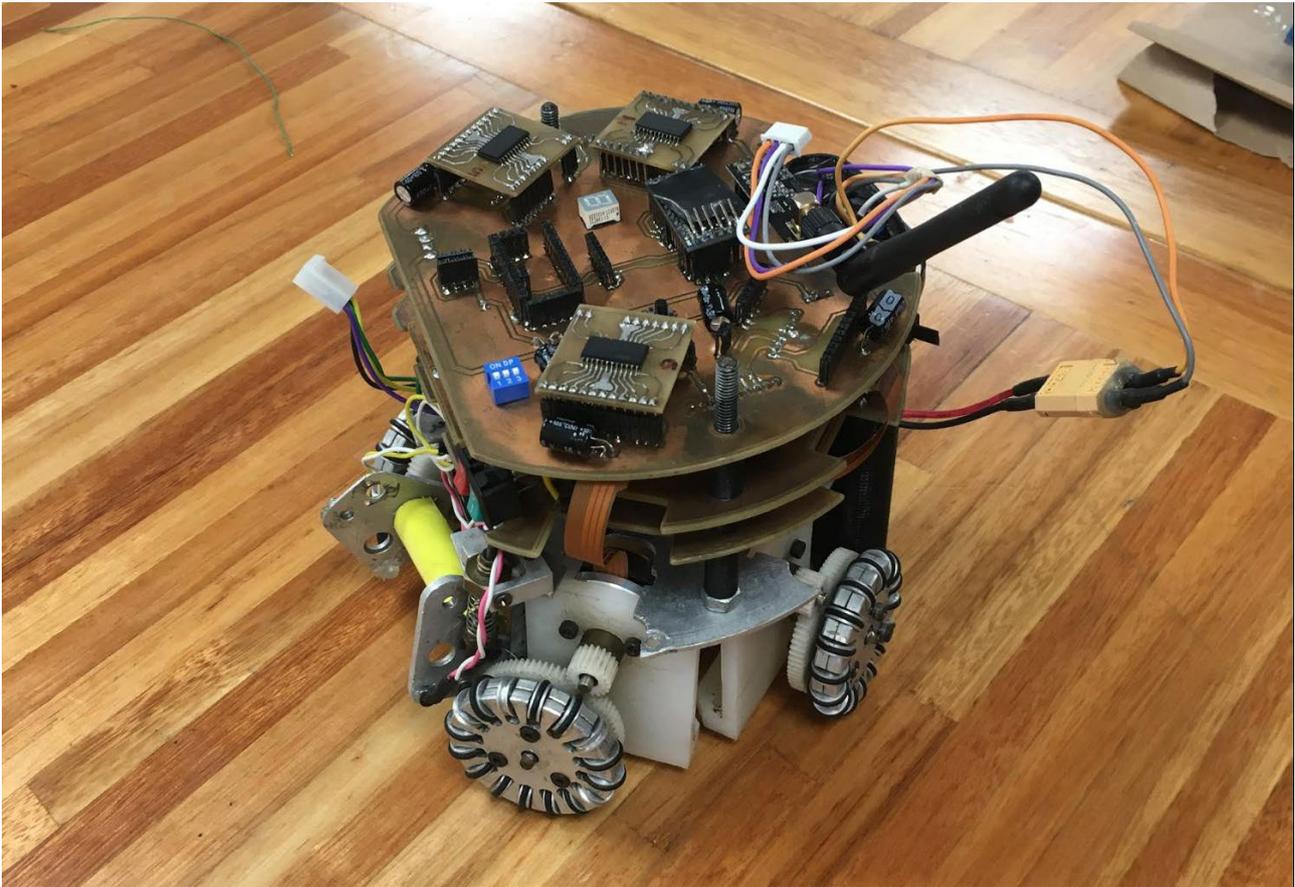
En esta investigación han estado utilizando técnicas de Deep Reinforcement Learning (Deep-RL) para presentar soluciones novedosas con un rendimiento mejorado. Algunos ejemplos se pueden encontrar en la propia ingeniería, en tareas relacionadas con control y sistemas discretos, en sistemas continuos e incluye robótica. Particularmente en este último, Deep-RL se aplicó primero en tareas relacionadas con la manipulación con escenarios estables y observables y se mejoró aún más en este contexto. Sin embargo, para los robots no estacionarios, como los robots móviles terrestres, el problema se vuelve más complejo debido a la interacción con los obstáculos del entorno físico.

En general, se desarrollan nuevas técnicas de Deep-RL centradas en la discretización de las acciones del agente para superar este problema, simplificando el problema. Trabajos recientes han logrado buenos resultados en la exploración de enfoques basados en este tipo de técnicas para realizar la navegación sin mapa de muchos tipos de robots móviles. Actualmente, los enfoques de Deep-RL distribuidos demuestran buenas alternativas al problema del consumo de tiempo cuando se realiza el entrenamiento de agentes en entornos simulados limitados.

### 2.2.2 Robots *Small Size League Soccer* (SSL)

El segundo proyecto está direccionado para el área de fútbol de robots y robótica móvil, involucrando Diseño Asistido por Computadora (CAD), montaje de robots, electrónica, computación, visión computacional e IA. El grupo trabaja en el desarrollo de 10 robots para participar en la categoría de la Robocup: Small Size Soccer League (SSL). Esta categoría, SSL, tiene reglas y limitaciones para el desarrollo de robots, como por ejemplo, los robots deben tener un máximo de 180 mm de diámetro y 150 mm de altura. Hasta el final de 2022, se desarrollaron diez robots por el grupo UruBots para lograr realizar una competencia local a finales de 2022 en UTEC. Este proyecto fue apoyado por la embajada de Estados Unidos, la cual brindó 20 mil dólares. El monto fue utilizado para compras de insumos para los robots (motores, drivers, baterías, cables, tarjetas) y brindar becas de iniciación científica.

Se trabajó en la construcción del robot, principalmente en tres divisiones: la parte electrónica (comunicación entre tarjetas y control de motores), la actualización del CAD (se adaptó un CAD desarrollado por la Universidad Federal do Rio Grande (FURG) de Brasil, universidad colaboradora en el proyecto), y en el entorno de simulación de la competencia. En la Figura 3 se presenta el robot de SSL desarrollado por FURG.



**Figura 3** - Robot SSL de FURG que sirvió de modelo para el desarrollo del Robot SSL de Urubots

### 2.2.3 Uteco

Este robot fue una compra específica para investigación por parte del Posgrado en Robótica e Inteligencia Artificial (PRIA) y tiene como principal objetivo la investigación en el área de interacción humano-robot (HRI). Bautizado de Uteco, el robot es de tipo humanoide y tiene posibilidades de movimientos y de conversaciones a partir de sensores (cámaras, sensores táctiles, micrófonos) y actuadores (motores y parlantes).

Una de las principales directrices de

investigación que se pretende, es dar al robot es trabajar con una base de datos donde Uteco tenga la capacidad de recordar sus antiguas conversaciones con una persona al reencontrarla en un futuro y a su vez proponer nuevas preguntas e interacciones. En la Figura 4, se muestra el robot NAO en una demostración de funcionamiento.

El Uteco es un robot estándar el cual tiene su propia competencia en la Robocup, es una competencia de fútbol de robots humanoides del tipo NAO (modelo desarrollado por la empresa Softbank de Japón), y



**Figura 4 - Robot Uteco**

es nuestro primer robot en esta categoría de competencia. En el futuro se busca la adquisición de más NAOs para el desarrollo de la equipo de fútbol humanoide.

#### 2.2.4 Sistema Auxiliar de Rehabilitación Motora - Reausys

La integración entre humanos y máquinas robóticas en un sistema ofrece la oportunidad de tecnología de asistencia que puede tener aplicaciones en el área biomédica. El sistema robótico puede contribuir, asegurando mayor potencia, precisión y velocidad en los movimientos, si se integra con un paciente en rehabilitación. Los sistemas que utilizan cables para conexiones entre sensores y microcontrola-

dores no son cómodos para que el paciente realice su terapia. También restringen las posibilidades de terapias a realizar, al limitar el movimiento de las extremidades por la longitud y disposición de los cables, además de poder enredarse.

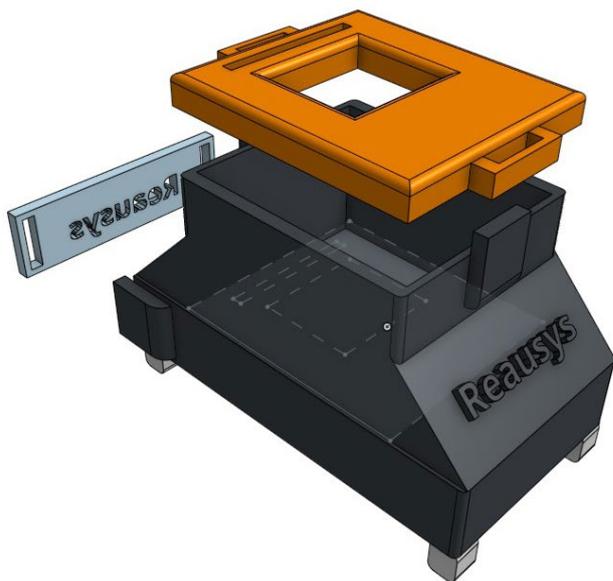
Los sistemas de rehabilitación con componentes inalámbricos tienen la ventaja de la libertad de movimiento y permiten una fácil adaptación para la inserción de nuevos dispositivos en la red de sensores. Algunos trabajos e investigaciones en el campo de la medicina utilizan módulos ESP8266, Zigbee, ESP32 o Bluetooth para la comunicación entre dispositivos. Entre las posibilidades de esta comunicación, existen ventajas y desventajas, tales como: costo, velocidad de transmisión, integridad

de datos y eficiencia energética, ya que estos sistemas son alimentados por batería. Son muchos los trabajos que utilizan la tecnología Wi-Fi para la transmisión de datos en el estándar 802.11 (2,4 GHz).

Reausys es un sistema que consiste en una serie de dispositivos distribuidos y embarcados, donde los cuales tienen como objetivo principal monitorear la capacidad motora de una persona y así auxiliar en terapias de rehabilitación motora. Es parte de la maestría de uno de los docentes a cargo del grupo de robótica, Msc. André Kelbouscas.

La principal directriz del proyecto es el low cost (bajo costo de desarrollo), ya que dispositivos comerciales en la temática tienen un gran costo. Con este proyecto, se busca que pequeñas y medianas empresas de salud (como fisioterapias y locales específicos de rehabilitación) puedan acceder a equipos inteligentes para ayuda en el proceso. La diferencia de los equipos comerciales y de otras universidades cuando se los com-

para con Reausys, es que en Reausys se está desarrollando dispositivos que trabajan con un protocolo de comunicación que aún no se utiliza para este fin. Llamado de espnow, este es propiedad de la fabricante de circuitos integrados espressif que solo funciona con tarjetas específicas esp8266. Se tiene para este desarrollo un dispositivo con un microcontrolador Wemos D1 mini y se tiene acoplado en una IMU (unidad de medición inercial) MPU9265 para captar el movimiento, además también una pantalla OLED para mostrar informaciones acerca del dispositivo (cantidad de batería del dispositivo, si logró hacer las conexiones necesarias, entre otras funcionalidades). Se desarrolló un modelo 3D de un prototipo para hacer pruebas. Una vez finalizada la parte de prototipado final, se desarrollará un software para hacer la parte de configuración y personalización de terapias basadas en juegos con estos dispositivos. En la Figura 5, se presenta el primer modelado de la tecnología asistencial en desarrollo.



**Figura 5** - Reausys: primera versión del modelado 3d para impresión aditiva.

### 2.2.5 Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs)

La maestría del otro docente a cargo del grupo, Msc. Ricardo Grando, fue acerca de la temática de drones, donde los docentes del grupo han ganado competencias con los mismos. La maestría fue realizada casi en su totalidad en simulación, por lo cual el grupo ahora desea continuar ese trabajo con un drone real. La idea principal de este proyecto es hacer el sim-to-real (a partir de la simulación hacer las pruebas en un entorno real y hacer la comparación de los resultados y desempeños) para el drone.

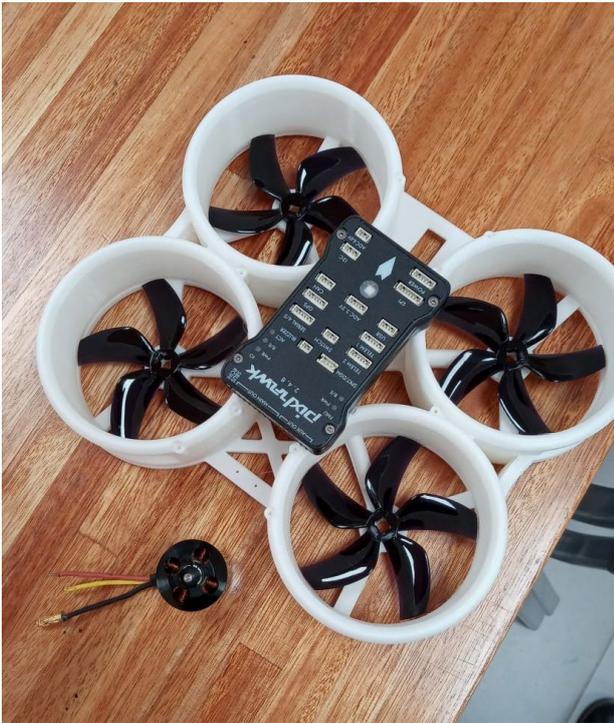
En los últimos años, el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) se ha vuelto cada vez más popular en tareas de algunos campos como la industria, la investigación y el ejército. Los avances en tecnologías relacionadas con la impresión 3D, la detección, el procesamiento integrado y la eficiencia y miniaturización de la batería permitieron un desarrollo más amplio de vehículos aéreos más pequeños y eficientes.

La mayoría de los vehículos aéreos no tripulados comerciales están diseñados para operar en entornos al aire libre con su sistema de software fuertemente equipado y dependen de la retroalimentación precisa de los datos del GPS, ya sea para encontrar y mantener la posición actual correcta del vehículo o para navegar a un nuevo punto de referencia deseado. Sin embargo, la cantidad de vehículos aéreos no tripulados con la capacidad de navegar en ambientes interiores es bastante pequeña, principalmente debido a la alta dependen-

cia del GPS, que no es confiable o no está disponible en escenarios de este tipo.

Existen algunos escenarios en los que la señal GPS está restringida y el funcionamiento de UAV autónomos puede ser útil, como por ejemplo escenarios con grandes estructuras metálicas, electromagnetismo, entre otros. Los UAV en estas tareas a menudo son empleados manualmente por un operador humano externo que, en la mayoría de los casos, se basa únicamente en una transmisión basada en un sistema de video para controlar el vehículo y navegar a través de los objetivos del vuelo. Además del hecho de que es difícil para un operador humano lograr la conciencia necesaria para realizar dichas tareas, una falla en la comunicación con el vehículo para recibir datos de imágenes y enviar comandos puede resultar en pérdida de datos, navegación imprecisa e incluso accidentes. Por lo tanto, estos temas son abordados por los investigadores sobre el desarrollo de un UAV hoy en día.

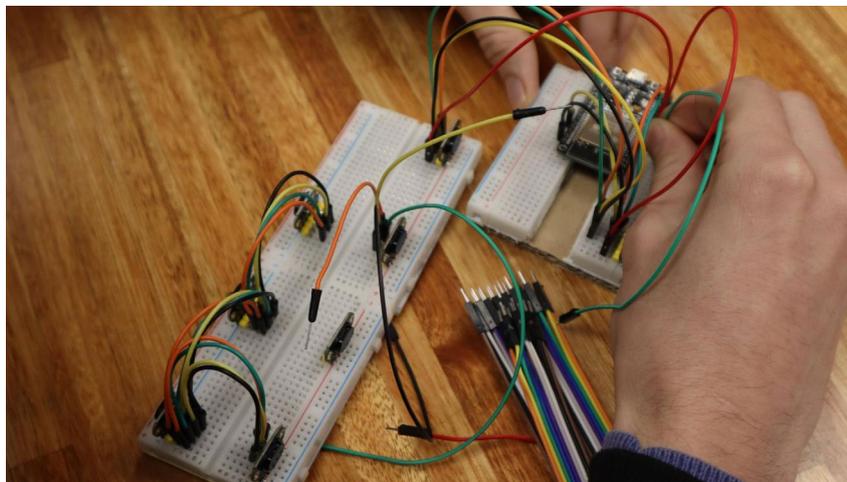
Con todo ese contexto, inicialmente, el grupo logró un préstamo de dos drones de la carrera de Ingeniería en Logística de UTEC Norte. Después del aprendizaje con estos vehículos, se concluyó que ellos no tienen capacidad para levantar el peso mínimo necesario para las pruebas. De esta forma, se decidió construir un drone propio para investigación. La impresión 3D del frame fue hecha, los insumos y materiales para su construcción fueron comprados. Actualmente, este vehículo está en el proceso de armado para que pueda realizar su primer vuelo. En la Figura 6, se presenta el desarrollo de los prototipos de los frames de los drones.



**Figura 6** - Prototipo del drone en desarrollo por Urubots

Se incluirá en el mismo una placa lidar con sensores de distancia, para poder tener la capacidad de no chocar con ningún obstáculo y así lograr la validación

de los tests de simulación, en la Figura 7 se muestra este desarrollo. Será construido un escenario para la realización de las pruebas.



**Figura 7** - Prototipado del sistema de detección de distancia del drone con sensores *lidar*

### 3. Resultados preliminares

Fue escrito un artículo sobre el proyecto Turtlebot 3 para IROS, Conferencia Internacional de Sistema Operacional de Robot. Además, el grupo ya tiene un artículo aceptado en el Journal of Robotics and Intelligent Systems (JINT) en la parte del proyecto el UAV. Asimismo, en ese mismo proyecto de UAV el grupo ha logrado un artículo en parceria con FURG y Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) de Brasil en la Conferencia Internacional de Robots y Sistemas Inteligentes - IROS. Ambos JINT y IROS son considerados los segundos mejores Journals y Conferencia en el área de Robótica en el mundo, teniendo así en vista la posibilidad de participaciones en congresos de altísima calidad.

Además, se logró el apoyo externo de veinte mil dólares de la embajada de EE.UU. en Uruguay para proyectos con robótica e inteligencia artificial. De modo general, por el momento se tienen más de 30 miembros activos en el grupo de robótica, estando más de 10 de estos involucrados en los proyectos del grupo.

En el año de 2022 y 2023, algunos trabajos del grupo ganaron mención honorífica en la Feria Binacional de Tecnología - FEBITEC. En el año de 2022, dos proyectos de drone ganaron el segundo y tercer lugar del Hackaton de Drones: Big Bang!. En el año de 2023, el grupo fue a competir en la FIRA 2023, en Alemania, una de las más destacadas competencias de robótica para jóvenes, en la categoría Mission Impossible United obtuvieron el 1er puesto general. Esta competencia tenía más de 40 países participantes.

### 4. Proyectos futuros

Como proyectos futuros, se aspira a la participación en diversas competencias en el escopo local, latino americano y mundial. En especial, el grupo pretende adentrarse en competencias de Robótica de desarrollo terrestre: Very Small Size Soccer League , a nivel Latinoamericano; Small Size Soccer League (Weitzenfeld, 2015), tanto a nivel Latinoamericano como a nivel mundial; competencias ofrecidas por Robocup (Kitano, 1997), proyecto internacional creado en 1997 para promover, a través de competencias integradas por robots autónomos, la investigación y educación sobre inteligencia artificial. Para la Robótica de desarrollo aéreo, se busca participar de la Brazil Open Flying Robot League, además de hacer investigación con multiagentes. Por último, en un futuro se pretende participar en una categoría de desarrollo avanzado, como por ejemplo la categoría @home Servicios Domésticos (Wisspeintner, 2009).

### 5. Conclusiones

Este artículo presentó la creación del grupo de robótica del ITRN de UTEC Urubots, así como los proyectos en desarrollo y principales logros. También fue presentado el perfil de ingreso de los estudiantes al grupo, sus aspiraciones y proyectos futuros.

El grupo de robótica ha despertado gran interés de colaboración tanto en la Universidad Tecnológica como en otras instituciones de la región, como la Universidad del Trabajo del Uruguay y el Instituto Federal Sul Rio Grandense de Santana do Livramento - Brasil. Siendo así uno de los principales



**Figura 8** - Visitas al laboratorio de Robótica e Inteligência Artificial del ITRN de UTEC, donde se encuentra UruBots

atractivos de los diversos tours que se realizan para estudiantes de secundaria en UTEC, como se muestra en la Figura 8.

Los integrantes de UruBots están conformes con los resultados que se han obtenido durante esta primera instancia y es de común acuerdo el avance colectivo en cuanto a conocimientos sobre robótica, electrónica e IA. Siendo resultados de los talleres realizados semanalmente en conjunto con el apoyo de los encargados a la hora de ampliar los conocimientos de cada integrante del grupo, así como la participación en ferias, talleres y competencias de robótica nacionales e internacionales.

### Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



## Referencias

Elife, K., & Baki, A. E. (2023). New Technologies and Labor Market: A Look into the Future of Jobs and Employment. 14(2), 194-208.

Weitzenfeld, A., Biswas, J., Akar, M., & Sukvichai, K. (2015). Robocup small-size league: Past, present and future. In RoboCup 2014: Robot World Cup XVIII 18 (pp. 611-623). Springer International Publishing.

Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I., Osawa, E., & Matsubara, H. (1997). RoboCup: A challenge problem for AI. AI magazine, 18(1), 73-73.

Wisspeintner, T., Van Der Zant, T., Iocchi, L., & Schiffer, S. (2009). RoboCup@ Home: Scientific competition and benchmarking for domestic service robots. Interaction Studies, 10(3), 392-426.

BENAVIDES, Facundo, OTEGUI, Ximena, AGUIRRE, Andrés ANDRADE, Federico. ROBÓTICA EDUCATIVA EN URUGUAY: DE LA MANO DEL ROBOT BUTIÁ. Disponible en: <https://digital.fundacionceibal.edu.uy/jspui/handle/123456789/116>. Acceso en: 12 dic. 2023.

Rivoir, A. L. (2009). Innovación para la inclusión digital. El Plan Ceibal en Uruguay.

PEREIRO, Emiliano. Papert en Uruguay. Una mirada al construccionismo del programa LabTeD de Plan Ceibal en Educación Media. Disponible en: <https://digital.fundacionceibal.edu.uy/jspui/handle/123456789/216>. Acceso en 12, dic. 2023.



# Videojuego Educativo Orientado a la Prevención de Enfermedades: Estudio de Caso en un Centro Educativo en Asunción, Paraguay

Gustavo Morán · Celeste Pereira



Ingeniería en Informática, Universidad Columbia del Paraguay, Asunción, Paraguay;  
gustavod.moran.es@gmail.com, celesteavei00@gmail.com

## Nota de los autores

[Este trabajo recibió el Premio al Mejor Trabajo de Conclusión de Carrera otorgado por la Dirección de Investigación y Vinculación de la Universidad Columbia del Paraguay.](#)

## Resumen

La mayoría de las personas consideran que los videojuegos son únicamente sinónimo de diversión y ocio, no obstante, en los últimos años los videojuegos empezaron a ser utilizados como una herramienta educativa más, tanto en las casas de estudio como en los hogares. El presente trabajo se enfocó en diseñar e implementar un videojuego educativo orientado a la prevención de enfermedades que influya en la obtención de aprendizaje en estudiantes del 4° al 6° grado del Colegio Life Educational Center, ubicado en la ciudad de Asunción, Paraguay. Para el desarrollo del videojuego, que cuenta con tres niveles, en primer lugar, se realizó una investigación acerca de las enfermedades del COVID-19,

Diabetes y Dengue, que individualmente conforman cada uno de los mismos. Luego, utilizando una plataforma de desarrollo de videojuegos junto con programación de scripts en lenguaje de paradigma orientado a objetos se logró plasmar una lógica de negocios que indica cómo prevenir dichas enfermedades. Finalmente, para medir el aprendizaje de los estudiantes, se realizó una encuesta sobre cada nivel del videojuego. Posterior a su evaluación, los resultados obtenidos han demostrado que efectivamente el videojuego educativo orientado a la prevención de enfermedades influyó en el aprendizaje de los estudiantes.

## Palabras clave

[Videojuego Educativo · Prevención de Enfermedades · Videojuego sobre el COVID-19 · Videojuego sobre la Diabetes · Videojuego sobre el Dengue.](#)

## Abstract

The majority of people consider video games solely as a synonym for fun and

leisure. However, in recent years, video games have started to be used as an additional educational tool, both in educational institutions and households. This project focused on designing and implementing an educational video game aimed at disease prevention to influence learning in students from 4th to 6th grade at the Life Educational Center, located in Asunción, Paraguay. For the development of the video game, which consists of three levels, a research was conducted on COVID-19, Diabetes, and Dengue diseases, each forming an individual level. Then, using a game development platform along with object-oriented scripting language, a business logic was developed to indicate how to prevent these diseases. Finally, to measure student learning, a survey was conducted for each level of the video game. After evaluation, the results obtained have shown that the educational video game focused on disease prevention did indeed influence student learning.

## Key words

[Educational Video Game](#) · [Disease Prevention](#) · [COVID-19 Based Video Game](#) · [Diabetes Based Video Game](#) · [Dengue Based Video Game](#)

## Introducción

Las enfermedades pueden llegar a tener un efecto devastador en las personas, según la Organización Mundial de la Salud se las define como la “alteración o desviación del estado fisiológico en una o varias partes del cuerpo, por causas en general

conocidas, manifestada por síntomas y signos característicos, y cuya evolución es más o menos previsible” (Herrero, 2016). Lo llamativo es que las mismas no solo afectan al sujeto contagiado, sino también al conjunto de personas alrededor del mismo y dependiendo de ciertos factores este conjunto puede crecer exponencialmente. Esto mismo fue presenciado con la pandemia por COVID-19 durante los años 2020 al 2022, donde la enfermedad afectó a nivel mundial a millones de individuos en distintos aspectos y ámbitos, sin discriminar entre sanos o contagiados (Blake, 2020). Se ha podido observar el impacto en los distintos aspectos según los siguientes autores:

Según el Banco Mundial, en cuanto a crecimiento económico la pandemia causó una contracción económica mundial de un 4,3% en el año 2020 (Sandoval, 2021). Se observó también un aumento en los índices de desigualdad en América Latina y un descenso de participación laboral, sobre todo en mujeres, debido a la pandemia. Estos efectos ocurrieron a pesar de las medidas de protección social de emergencia que los países implementaron para evitarlos (El impacto social de la pandemia en América Latina, 2021). Otro sector que se vio sumamente impactado es el de salud pública, la pandemia resaltó la necesidad de sistemas de salud accesibles y eficaces, ya que los mismos se vieron sobrecogidos con la demanda. La pandemia ha irrumpido en un escenario económico, social y político complejo: aumento de la pobreza, bajo crecimiento y crecientes tensiones sociales (Blake, 2020).

Un problema ha sido evidente, los contagios masivos de la enfermedad. En-

tonces la duda que aparece es, ¿cómo puede uno influir en las personas para fomentar la obtención de conocimiento acerca de la prevención de la misma? Y, con el mundo moderno actual, ¿es posible conseguirlo mediante un videojuego?

El uso de los videojuegos como medio educativo no es un término nuevo, ya se han dado antecedentes que lo han logrado con éxito, entre los cuales se encuentran: Pueblo Pitanga, Enemigos Silenciosos (OMS, 2013), Microsoft Flight Simulator (1996), Minecraft Education Edition (2016), entre otros (Minecraft: Education Edition, 2018). Por ende, se propuso la realización de un videojuego educativo orientado a la prevención de enfermedades basado en niveles donde cada nivel cuenta con una temática dedicada a una (1) enfermedad. El videojuego posee tres (3) niveles en los cuales se afrontan a las enfermedades del COVID-19, la Diabetes y el Dengue. Para poner a prueba la capacidad del videojuego de influir en el aprendizaje, se ha designado la institución educativa Life Educational Center como muestra para la realización de una prueba de campo. Dicha institución fue escogida debido a su ubicación, ya que se encuentra entre las zonas más afectadas del país por el Dengue.

El siguiente estudio ha sido elaborado buscando demostrar que mediante un videojuego educativo orientado a la prevención de enfermedades se puede lograr influir en la obtención de aprendizaje por parte de los estudiantes del 4º al 6º grado del Colegio Life Educational Center. Posteriormente se realizó una verificación con los datos obtenidos mediante la aplicación de encuestas a los estudiantes.

## Método

Enunciamos el problema de investigación de la siguiente manera:

¿Cómo un Videojuego educativo, puede orientar en la prevención de enfermedades? Hemos planteado las siguientes preguntas de investigación:

### Pregunta General

¿La implementación del videojuego educativo influye en la obtención de aprendizaje sobre prevención de enfermedades por parte de los estudiantes del 4º al 6º grado del Colegio Life Educational Center?

### Pregunta Específicas

¿Cómo se pueden clasificar las enfermedades que serán utilizadas en el videojuego educativo?

¿Cómo serán diseñados los niveles y cuáles serán las mecánicas de juego?

¿Cómo se medirá la influencia que tiene el videojuego sobre los estudiantes del 4º al 6º grado del Colegio Life Educational Center?

¿Cuáles serán los resultados obtenidos tras la implementación del videojuego educativo?

### Objetivo General

Implementar un videojuego educativo sobre prevención de enfermedades que influya en la obtención de aprendizaje por parte de los estudiantes del 4º al 6º grado del Colegio Life Educational Center.

## Objetivos Específicos

Clasificar las enfermedades que serán utilizadas en el videojuego educativo.

Definir las mecánicas de juego y el diseño de los niveles

Aplicar encuestas para la medición de la influencia del videojuego en el aprendizaje de los alumnos del 4° al 6° grado del Colegio Life Educational Center.

Evaluar los resultados obtenidos tras la implementación del videojuego educativo.

## Tipos de Investigación

Se han empleado los siguientes tipos de investigación:

**Aplicada:** Debido a que es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías. Se buscan resolver problemas prácticos (Tamayo y Tamayo, 2003).

**Cuantitativa:** Ya que se usa para comprender frecuencias, patrones, promedios y correlaciones, entender relaciones de causa y efecto, por ello se recurrió a la realización de estudios estadísticos empleando como herramienta de recopilación de datos encuestas para medir la efectividad del proyecto y su posterior evaluación de resultados en formato de gráficos y tablas con números discretos (Santander Universidades, 2022).

**Participativa:** Teniendo en cuenta que esta investigación intenta resolver una cuestión que se deriva de forma explícita de una realidad de la comunidad nacional y de la experiencia práctica acumulada por

los investigadores. Se realiza la selección de la comunidad que se pretende estudiar, con base en la observación del fenómeno y los datos del problema junto con una revisión de la primera información que se obtiene sobre el problema (Tamayo y Tamayo, 1999).

## Conceptos Clave

### Motor de Videojuegos

Un motor de videojuegos es un conjunto de herramientas que agilizan el proceso de desarrollo de un videojuego. Estas herramientas permiten al programador enfocarse en desarrollar buenos juegos sin perder tiempo en otras tareas de menor importancia para la idea general del juego, pero de suma importancia para la experiencia de los jugadores (Ruelas, 2017).

El motor es considerado el núcleo que reúne todos los elementos que componen el juego, como lo son las reglas, objetivos, arte, animaciones, diálogos, textos, sonidos, motor de renderizado, motor de físicas, gestión de memoria, rutinas de programación, cinemáticas, interfaces de usuario, entre otros. Dichos elementos son interpretados por el motor para obtener un ambiente donde tanto el programador como luego el usuario final, puedan interactuar con los mismos (Mercado, 2021).

### Lenguaje de Programación C#

El lenguaje de programación C# se destaca como una herramienta esencial para los desarrolladores cuando se trata de desarrollar aplicaciones robustas y versátiles.

Creado por Microsoft, C# ha ganado una gran popularidad gracias a su combinación de orientación a objetos, seguridad, versatilidad y facilidad de uso, características que lo hacen un lenguaje de elección para una amplia gama de aplicaciones y proyectos. Ya sea para crear aplicaciones de escritorio, sitios web interactivos, juegos emocionantes o aplicaciones móviles innovadoras, C# brinda las herramientas y el poder necesario para llevar ideas a la realidad digital (Lenguaje C#: ¿Qué es y para qué sirve?, s/f).

## IDE

Un entorno de desarrollo integrado (IDE) es un sistema de software para el diseño de aplicaciones que combina herramientas del desarrollador comunes en una sola interfaz gráfica de usuario. Generalmente, un IDE cuenta con un editor de código fuente, un depurador, y automatización de las compilaciones locales. Los IDE permiten que los desarrolladores comiencen a programar aplicaciones nuevas con rapidez, ya que no necesitan establecer ni integrar manualmente varias herramientas como parte del proceso de configuración (¿Qué es y para qué sirve un IDE?, 2023).

## Justificación

El juego constituyó un medio elemental para estructurar el lenguaje y el pensamiento. El mismo actúa sistemáticamente sobre el equilibrio psicosomático, ayuda a reducir la sensación de gravedad ante el fracaso, hace posible el aprendizaje e incita al jugador a que participe activamente. Ayuda a desarrollar la estabilidad personal,

creatividad, competencia intelectual y la fortaleza emocional. El juego es una estrategia básica para estimular el desarrollo integral de la persona.

Las características mencionadas aplican para todo tipo de juegos, pero si se habla específicamente de videojuegos, se adquieren habilidades adicionales. Una de ellas es claramente la adquisición de competencias digitales, ya que la mayoría de los niños accede por primera vez al universo digital a través de un videojuego. De esta manera, el desarrollo de la alfabetización digital se da de forma lúdica y recreativa, una excelente manera de iniciarse en el mundo digital (Raventós, 2016).

Por ello, a raíz de la pandemia y todas sus consecuencias se vio la oportunidad de utilizar la capacidad de influenciar que tienen los videojuegos sobre los jugadores orientándola a las enfermedades. De esta manera, se ha planteado desarrollar un videojuego educativo que influya en el aprendizaje sobre la prevención de enfermedades por parte de los jugadores.

Una vez culminado el proceso de desarrollo del Videojuego Educativo Orientado a la Prevención de Enfermedades, se inició el proceso de formulación de las encuestas, esta herramienta fue elegida debido a su fácil implementación y sencillo mecanismo de evaluación de resultados, el contenido de las encuestas fue seleccionado tras investigaciones acerca de cómo realizar encuestas a niños y las buenas prácticas que deben ser llevadas a cabo. Una vez seleccionado el contenido de las mismas se procedió a contactar con la directora del Colegio Life Educational Center solicitando el permiso para poder aplicar

las encuestas en el aula con los estudiantes del 4° al 6° grado de la institución.

La aplicación de las encuestas fue de manera presencial consistiendo en una breve introducción del videojuego, para luego pasar a medir su nivel de conocimiento actual sobre las enfermedades que aparecen en el proyecto, esto mediante las encuestas, posterior a ello se procedió a dejarlos experimentar con el videojuego, una vez todos los alumnos lograron jugar con el mismo se volvió a realizar la aplicación de las encuestas, para esta vez medir su nivel de conocimiento tras el uso del videojuego, lo cual luego en la evaluación de resultados, permitió realizar un contraste entre los datos de las encuestas previas y posteriores a la experimentación con el proyecto, para así poder medir la obtención de conocimiento por parte de los estudiantes utilizando como herramienta educativa un videojuego.

## Especificación de la Solución

Se desarrolló un videojuego educativo orientado a la prevención de enfermedades basado en un sistema de niveles, que influye en la obtención de aprendizaje por parte de los jugadores. El videojuego cuenta con las enfermedades del COVID-19, la Diabetes y el Dengue, así como con sus correspondientes medidas de prevención, cada una con su respectivo nivel.

## Arquitectura de la Solución

A continuación, se detalla la arquitectura del videojuego.

La arquitectura del videojuego se centra en su nodo principal, la aplicación de Unity, la cual se encarga de centralizar todos los elementos necesarios para la creación, diseño y funcionamiento de un entorno

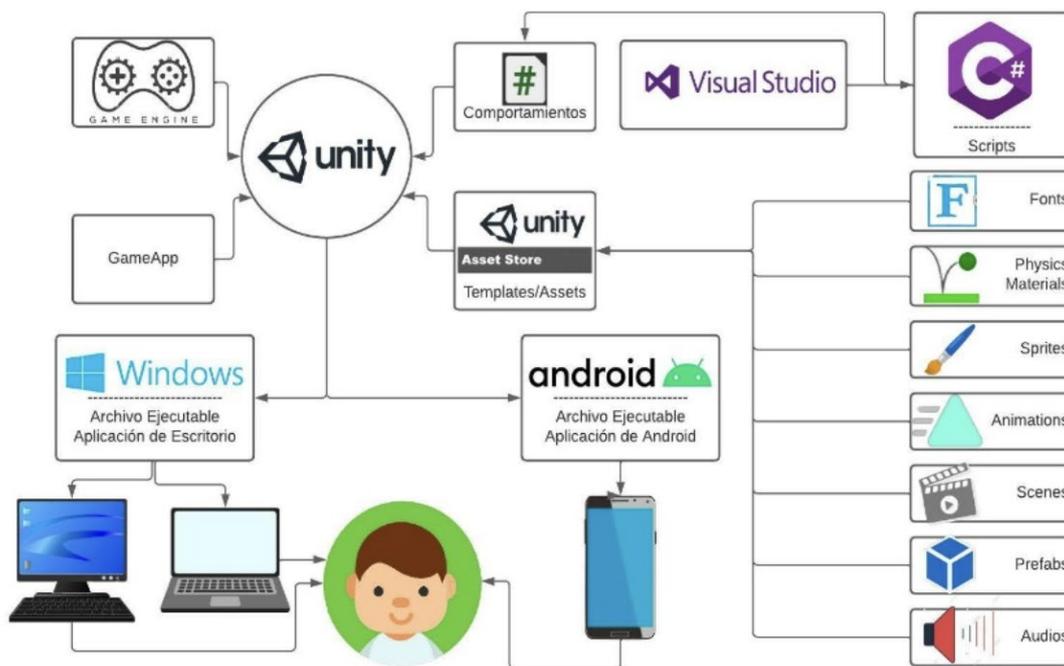


Figura 1 - Arquitectura del videojuego

interactivo. Unity utiliza su motor de videojuegos, en conjunto con scripts programados en C# con ayuda del IDE Visual Studio y los recursos de fuentes, materiales de físicas, atlas, animaciones, escenas, objetos prefabricados, audios, entre otros, para crear el producto final que consiste en un ejecutable tanto para Windows como para Android.

## Casos de Uso

A través de los siguientes diagramas de casos de uso se detallan las actividades clave del videojuego a desarrollar.

## Desarrollo del Videojuego

En base a la problemática inicial y ya con las investigaciones realizadas acerca de las 3 (tres) enfermedades a implementarse dentro del juego, se planteó como eje central del diseño el uso de la herramienta de desarrollo de videojuegos Unity, junto con el lenguaje de programación de paradigma orientado a objetos C# para la realización de los scripts, y se definió que el juego sería para los entornos Windows y Android. Seguidamente se procedió a la elección de los recursos a ser utilizados para

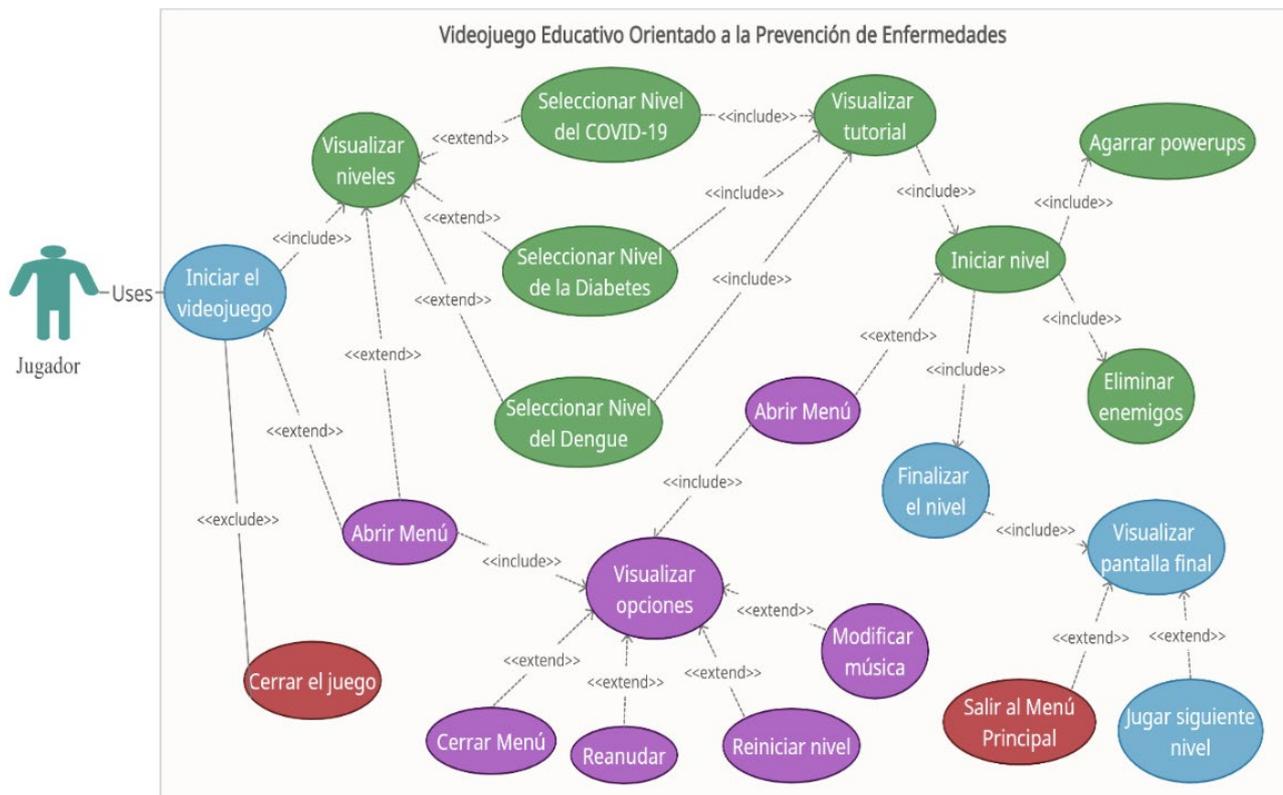


Figura 2 - Diagrama de casos de uso general del Videojuego

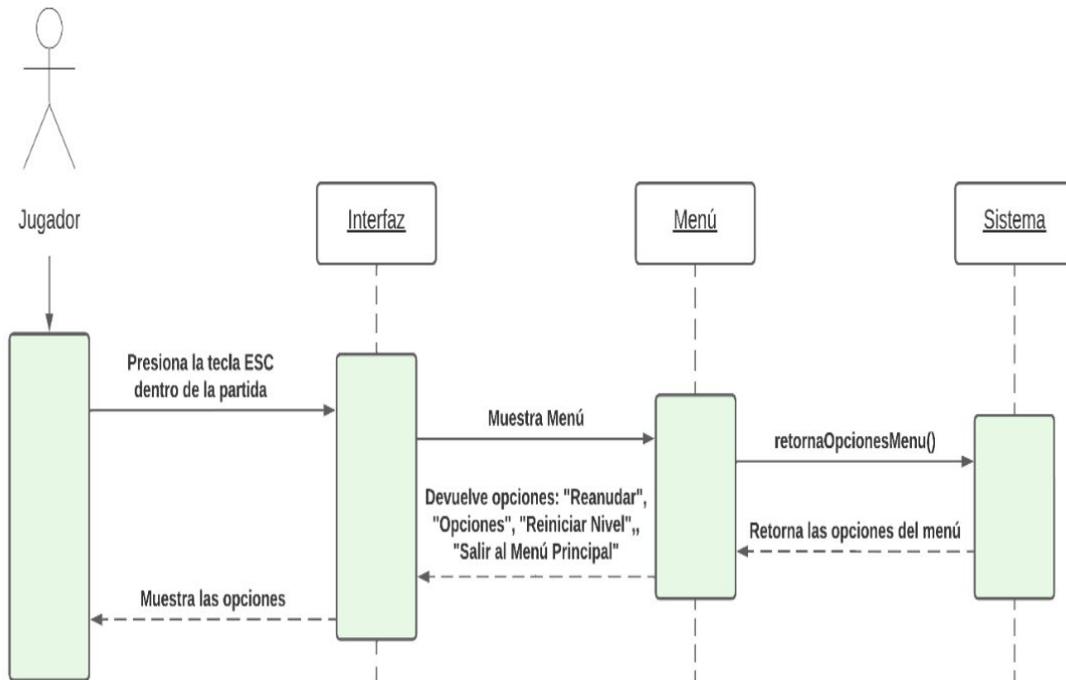


Figura 3 - Diagrama de secuencia general del menú interno del videojuego

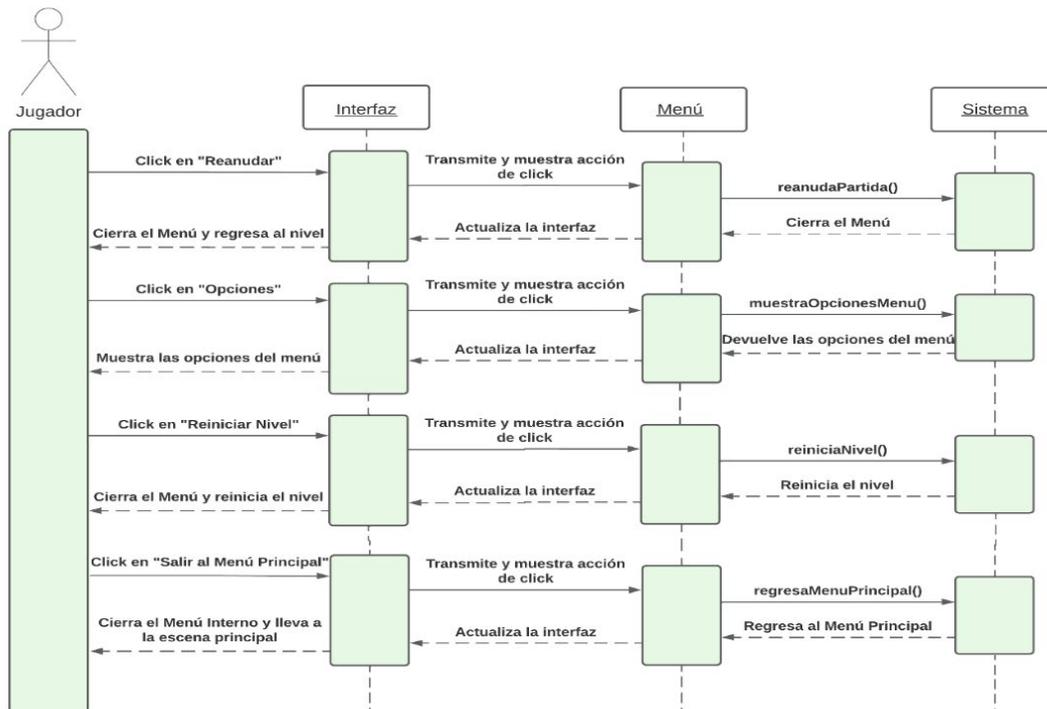


Figura 4 - Diagrama de secuencia específico del menú interno del videojuego

los distintos tipos de componentes de los niveles y la interfaz de usuario. Una vez definido lo anterior, se programaron los scripts de comportamiento de cada componente y los que lo requerían fueron animados, ya con los componentes listos se construyeron los niveles pasando primero por un proceso creativo para luego plasmar las ideas en la herramienta de desarrollo de videojuegos Unity, la ambientación de los mismos fue elegida buscando dar un efecto retro al videojuego.

**Nivel 1.** Se define que el nivel 1 del videojuego tenga como tema central la prevención del COVID-19, el diseño se realiza a partir de la idea de un escenario al aire libre, con plataformas a través de las cuales el jugador irá moviéndose a lo largo del nivel hasta llegar al punto final. Se incluyen elementos alusivos a la prevención del CO-

VID-19, tales como tapabocas, vacunas, vitamina C y lavamanos. El enemigo del nivel está representado en forma de un virus, que penaliza al jugador en caso de tener contacto con él. De esta manera se busca enseñar al jugador de manera lúdica cuáles son las medidas de prevención de la enfermedad.

**Nivel 2.** Al desarrollar el nivel 2, se decide como temática la Diabetes y es diseñado en base a un ambiente subterráneo, donde el escenario es de tonos lúgubres y limitado por un techo. Los elementos que ayudan al jugador consisten en alimentos saludables y una máquina caminadora que representa la realización de actividad física. Como antagonista principal del nivel figura una galletita con chispas de chocolate, y adicionalmente se tienen otros alimentos no saludables como trampas repartidas a lo largo del nivel para enfatizar el efecto que tiene la mala alimentación.

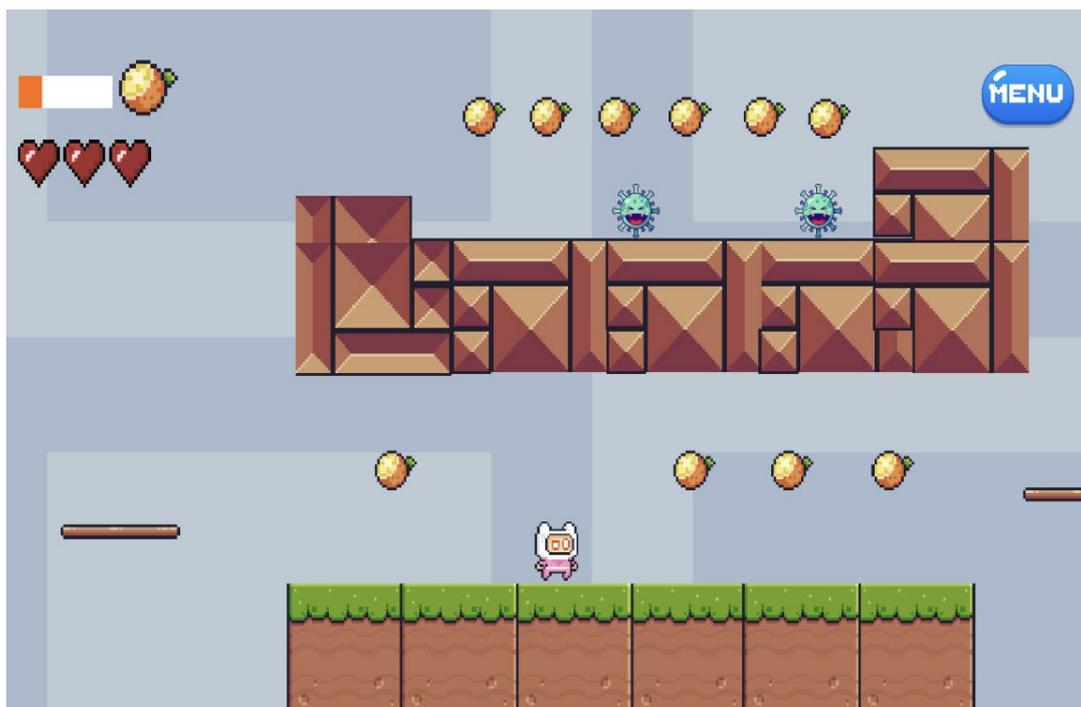
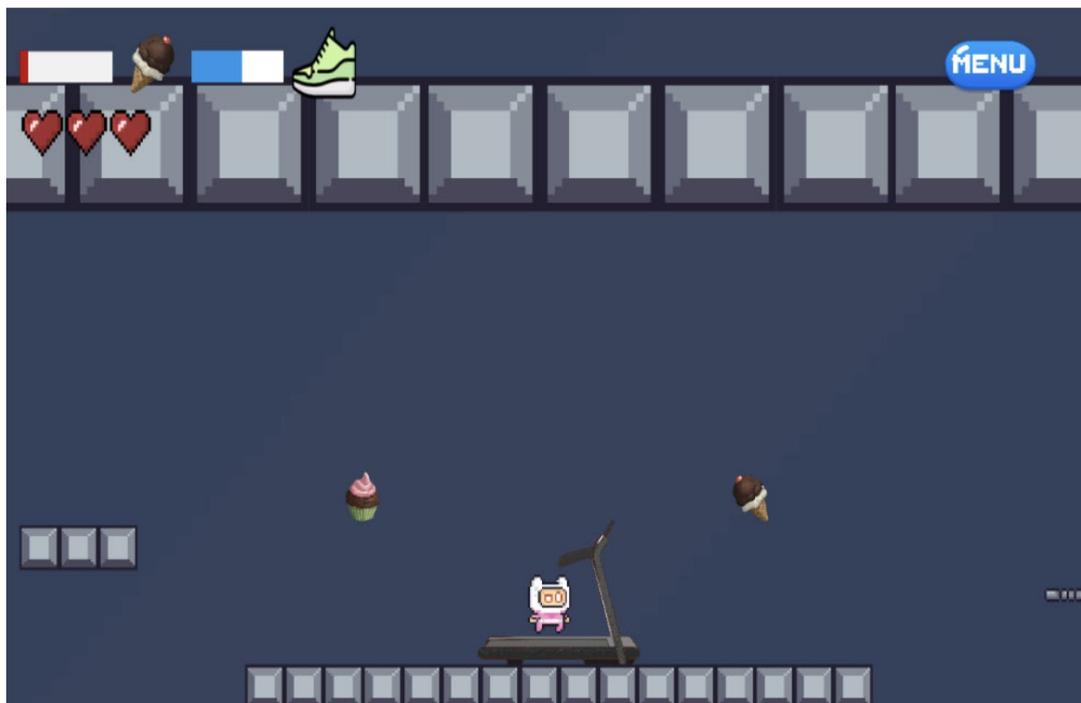


Figura 5 - Diseño del nivel 1 – COVID-19

**Nivel 3.** El nivel 3 es sobre la prevención del Dengue y es diseñado en base a un concepto de escenario en el cielo. Las trampas del nivel son los criaderos de mosquitos, representados por llantas y botellas

cuenta con botones en la pantalla para que el jugador pueda efectuar los movimientos del personaje.



**Figura 6** - Diseño del nivel 2 – Diabetes

rotas. Los mosquitos son el enemigo principal, que además de estar presentes en el escenario, también tienen unas pequeñas versiones de sí mismos que se generan y persiguen al jugador cuando el mismo toca algún criadero. Los premios del nivel son repelentes repartidos a lo largo del nivel, que otorgan al jugador inmunidad contra los mosquitos.

Por último, tras haber sido aprobada por ambos desarrolladores, la versión final del juego fue adaptada para el entorno móvil Android.

El videojuego en su versión Android

## Resultados

Se realizó una prueba de campo con 84 alumnos de 4°, 5° y 6° grado de Educación Escolar Básica, pertenecientes al rango de 8 a 11 años de edad. Dicha prueba tuvo lugar el día 14 de noviembre del 2022 en la institución educativa Life Educational Center ubicada en el barrio San Vicente de la ciudad de Asunción, en la calle Ingavi casi Madrinas del Chaco, y se realizó de la siguiente manera:

Antes de interactuar con el videojuego los alumnos completaron encuestas sobre

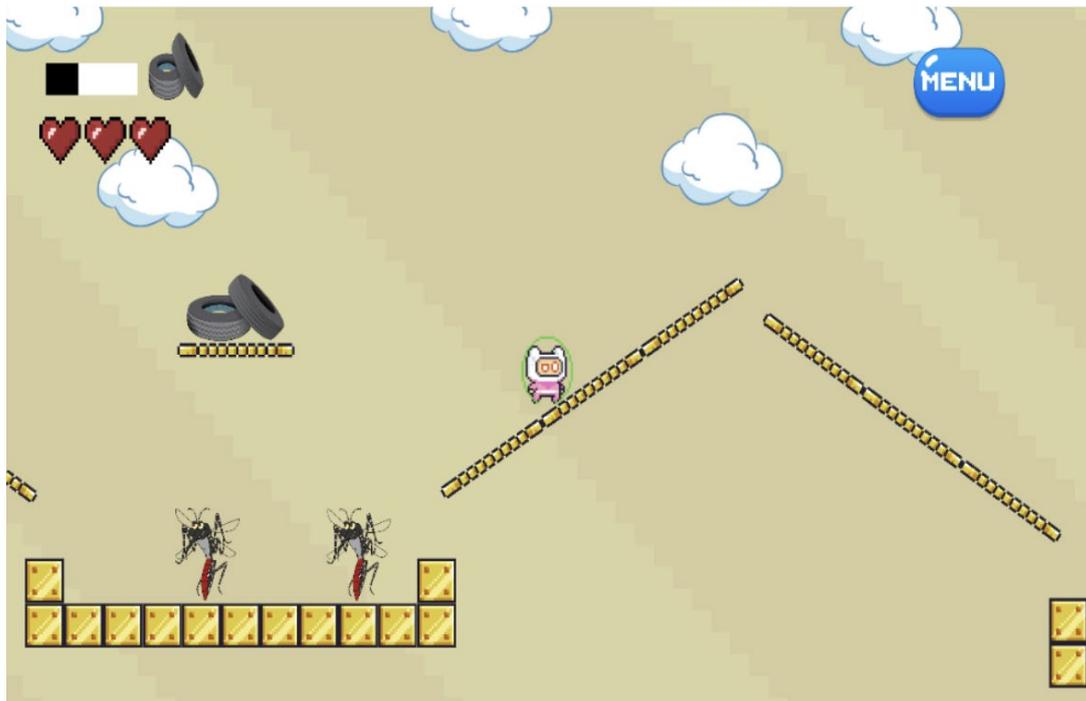


Figura 7 - Diseño del nivel 3 – Dengue

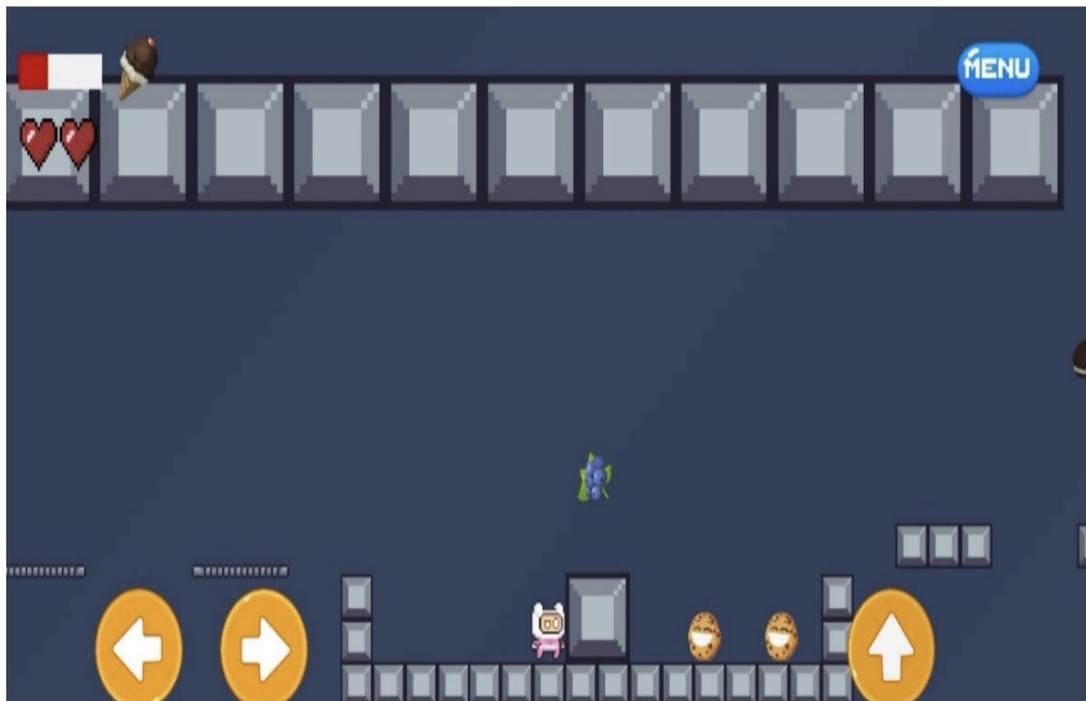


Figura 8 - Videojuego en plataforma Android

su conocimiento actual acerca de la prevención de las enfermedades involucradas en el proyecto, para más tarde experimentar con el mismo de manera individual, probando los tres niveles. Una vez que todos los alumnos tuvieron la oportunidad de jugar, completaron encuestas de nuevo para medir la influencia que tuvo la experiencia sobre su conocimiento en cuanto a la prevención.

## Resultados de las encuestas

Se presenta un resumen de las respuestas obtenidas al aplicar las tres encuestas a la muestra, tanto antes como después de que experimenten con el videojuego.

### 1. COVID-19

Al interpretar los resultados de las encuestas, se evidenció que el conocimiento que poseía la muestra sobre la prevención del COVID-19 antes de jugar el videojuego ya era bastante alto, dado que 77 de los 84 alumnos obtuvieron respuestas correctas, lo cual se asocia a que la pandemia ha puesto a las instituciones educativas y sus alumnos en la posición de adaptarse a las medidas de seguridad para evitar contagios y prevenir el COVID-19. Sin embargo, se puede observar que de los 7 alumnos que estaba en desconocimiento, 6 aprendieron tras la experimentación con el videojuego.

### 2. Diabetes

En cuanto a la Diabetes, el nivel de conocimiento sobre la prevención de la enfermedad era menor que el de COVID-19, ya que 60 de 84 alumnos obtuvieron res-

puestas correctas. Luego de haber jugado el videojuego, la mayor parte de la muestra que estaba en desconocimiento reflejó una influencia positiva del videojuego en su conocimiento, pasando de 24 alumnos en desconocimiento a solo uno. Se puede observar que 23 alumnos aprendieron tras la implementación del videojuego.

Preguntas	Respuestas Antes del Videojuego		Respuestas después del Videojuego	
	Correctas	Incorrectas	Correctas	Incorrectas
Pregunta 1	80	4	84	0
Pregunta 2	79	5	83	1
Pregunta 3	70	14	84	0
Pregunta 4	78	6	82	2
Pregunta 5	76	8	83	1
Pregunta 6	81	3	84	0

**Tabla 1 - Resultados de las encuestas sobre COVID-19 antes y después del videojuego**

### 3. Dengue

El nivel de conocimiento que poseía la muestra antes de la implementación del videojuego era similar al que poseía sobre prevención de Diabetes, 54 de 84 alumnos obtuvieron respuestas correctas. Tras la experimentación con el videojuego, un solo alumno respondió incorrectamente, por lo que se puede concluir que 29 alumnos aprendieron sobre la prevención del Dengue luego de haber jugado el videojuego.

De un promedio de 20 alumnos que se encontraba en desconocimiento antes

Preguntas	Respuestas Antes del Videojuego		Respuestas después del Videojuego	
	Correctas	Incorrectas	Correctas	Incorrectas
Pregunta 1	57	27	83	1
Pregunta 2	60	24	82	2
Pregunta 3	54	30	83	1
Pregunta 4	57	27	83	1
Pregunta 5	56	28	82	2
Pregunta 6	76	8	83	1

**Tabla 2** - Resultados de las encuestas sobre Diabetes antes y después del videojuego

de la implementación del videojuego, 19 alumnos lograron aprender.

### Comentarios

Se ha logrado desarrollar e implementar un videojuego educativo orientado a la prevención de enfermedades. Estas enfermedades fueron escogidas teniendo en cuenta el nivel de incidencia que tienen a nivel nacional y lo sencilla que resulta su prevención al ser aplicadas las medidas

Preguntas	Respuestas Antes del Videojuego		Respuestas después del Videojuego	
	Correctas	Incorrectas	Correctas	Incorrectas
Pregunta 1	46	38	82	2
Pregunta 2	54	30	84	0
Pregunta 3	45	39	83	1
Pregunta 4	62	22	84	0
Pregunta 5	54	30	84	0
Pregunta 6	61	23	80	4

**Tabla 3** - Resultados de las encuestas sobre Dengue antes y después del videojuego

requeridas para evitarlas.

Se ha conseguido realizar el diseño de los niveles y mecánicas de juego de acuerdo a lo planeado y que resulte tanto divertido como desafiante para el usuario final, efecto que fue comprobado al llevar a cabo la prueba de campo. Dicha prueba



**Figura 9** -Gráficos de resultados de todos los cuestionarios antes y después del videojuego

fue realizada de manera satisfactoria, con resultados de fácil interpretación que han permitido evaluar la influencia del videojuego en el conocimiento de la muestra.

Los resultados de la implementación del producto final reflejaron que el conocimiento del público objetivo puede ser influenciado de manera lúdica. Se demostró que, al ser evaluados tras experimentar con el videojuego, un porcentaje interesante del público objetivo obtuvo mejores resultados relativos al conocimiento de la prevención de las enfermedades abarcadas en este proyecto. Asimismo, un mayor porcentaje de alumnos ya tenía conocimientos previos sobre la prevención de las enfermedades. Para los tres casos presentados, el porcentaje de desconocimiento disminuyó hasta ser casi nulo.



## Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



## Referencias

Blake, P. (2020). *Resumen anual 2020: El impacto de la COVID-19 (coronavirus) en 12 gráficos*. Banco Mundial Blogs. 14 de diciembre de 2021 de <https://blogs.worldbank.org/es/voices/resumen-anual-2020-el-impacto-de-la-covid-19-coronavirus-en-12-graficos>

*El impacto social de la pandemia en América Latina*. (2021). Repositorio CEPAL. 14 de diciembre del 2021 de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46740/1/S2000182\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46740/1/S2000182_es.pdf)

Herrero, S. (2016). *Formalización del concepto de salud a través de la lógica: impacto del lenguaje formal en las ciencias de la salud*. SciELO. 9 de noviembre de 2021 de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1988-348X2016000200006&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1988-348X2016000200006&lng=es&tlng=es)

Lenguaje C#: ¿Qué es y para qué sirve? (s/f). Código. 25 de marzo de 2024 de <https://codigo.org/lenguaje-c-c-sharp-que-es-y-para-que-sirve/>

Mercado, P. (2021). *Los 25 Motores de Videojuegos Gratis y de Paga*. Industria Animación. 16 de noviembre de 2021 de <https://www.industriaanimacion.com/2021/04/los-25-motores-de-videojuegos-gratis-y-de-paga/>

*Minecraft: Education Edition*. (2018). App Store. 9 de noviembre de 2021 de <https://apps.apple.com/us/app/minecraft-education-edition/id1196524622>

Raventós, C. (2016). *El videojuego como herramienta educativa. Posibilidades y problemáticas acerca de los serious games*. Universidad Pedagógica Nacional de México. 26 de octubre de 2021 de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-61802016000200010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-61802016000200010)

OMS. (2013). *Un videojuego para combatir el dengue*. World Health Organization. 21 de noviembre del 2022 de [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8904:2013-an-educational-video-game-on-dengue&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8904:2013-an-educational-video-game-on-dengue&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0)

*¿Qué es y para qué sirve un IDE?* (2023). Redhat.com. 25 de marzo de 2024 de <https://www.redhat.com/es/topics/middleware/what-is-ide>

Ruelas, U. (2017). *¿Qué es un motor de videojuegos (game engine)?* Coding or not. 11 de noviembre de 2021 de <https://codingornot.com/que-es-un-motor-devideojuegos-game-engine>

Sandoval, K. (2021) *Impactos Económicos y Sociales a un año de la pandemia por COVID-19 en América Latina y el Caribe*. Flacso Chile. 14 de diciembre del 2021 de <https://flacsochile.org/impactos-economicos-y-sociales-a-un-ano-de-la-pandemia/>

Santander Universidades. (2022). *Investigación Cualitativa y Cuantitativa* | Blog. Becas Santander. 14 de diciembre del 2022 de <https://www.becas-santander.com/es/blog/cualitativa-y-cuantitativa.html>

Tamayo y Tamayo, M. (1999). *Aprende a Investigar: Módulo 2, La Investigación*. ICFES.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la Investigación Científica*. Editorial Limusa.

# Paisajes de aprendizaje

## Una forma de involucrar a la comunidad en el proceso de ideación, diseño y construcción de un centro educativo para educación de calidad en el siglo XXI

Andrea Gnesetti · Alberto Pierotti



Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay;  
agnesetti@micelioarquitectura.com, apierotti@micelioarquitectura.com

### Resumen

Los habitantes del planeta somos testigos de la transformación geopolítica más grande de la historia. De Souza (1999, p. 2) afirma que, más que en una época de cambios, vivimos en un cambio de época.

En este escenario de tanta volatilidad, los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) se convierten en la nueva guía para la humanidad, en la cual la educación de calidad juega un rol fundamental. Y solo será posible si se facilitan ciertas condiciones mínimas.

En los dos últimos siglos, apreciamos cómo la educación de las personas adquirió, progresivamente, mayor importancia, y cuál ha sido su rol según las circunstancias sociales y económicas. En la actualidad, las transformaciones se aceleran y lo único permanente es el cambio. La educación se acopla, a distintas velocidades, a estos cambios que presentan profundas transformaciones y reformulan las viejas estructuras del pasado.

Como arquitectos dedicados al diseño de los paisajes de aprendizaje, hemos sido partícipes de la complejidad en lo

concerniente a la educación, aprendimos y reflexionamos sobre la influencia que tiene particularmente la arquitectura en los procesos de aprendizaje. En este aspecto, observamos cómo todo el sistema educativo sufre una obsolescencia ante las transformaciones sociales y económicas, lo que también repercute inexorablemente en los edificios escolares.

En ese sentido, nuestra propuesta, *Hacemos*, resulta ser la condensación de años de estudio y trabajo proyectual reflexivo, que, desde nuestra visión, constituye un cambio de paradigma de la arquitectura educativa.

### Palabras clave

[Arquitectura](#) · [Sostenibilidad](#) · [Educación](#) · [Diseño](#) · [Método](#) · [Comunidad](#).

### Abstract

The current inhabitants of the planet are witnesses of the greatest geopolitical transformation in history: De Souza (1999) affirms that more than a time of change, we live in a change of time.

In this scenario of so much volatility, the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) become the new guide for humanity, where quality education plays a fundamental role, it will only be possible if it occurs on certain minimum conditions.

Within the last two centuries, we can see how the education of people has progressively become more and more important, and what its role has been, depending on the social and economic circumstances. Currently, transformations are accelerating and the only permanent thing is change. Education, meanwhile, is coupling at different speeds to these changes, where profound transformations are presented that reformulate the old structures of the past.

As architects dedicated to the design of learning environments, we have been participants in the complexity of everything related to education, learning and reflecting on the influence that architecture particularly has on learning processes and in this aspect, observing how everything the educational system suffers from obsolescence in the face of social and economic transformations, which also has an inexorable impact on school buildings.

From our discipline, we have ventured into specific areas of pedagogical knowledge in order to unravel the keys to an educational architecture design that accompanies the challenges of the 21st century pedagogies in conjunction with the SDGs.

Identify how we DO it? It turns out to be the condensation of years of study and reflective project work, which are transformed, from our vision, into a Paradigm Change of educational architecture.

## Keywords

Architecture · Sustainability · Education · Design · Method · Community.

## Introducción

En la actualidad, se observa una creciente preocupación por parte de los gobiernos mundiales por dar respuesta a los problemas de la educación. El objetivo es garantizar que todos los niños tengan acceso a una educación que les posibilite adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para llevar una vida plena y alcanzar el bienestar en todas sus dimensiones.

Lograr «garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos» (ONU, 2016), en el contexto de un mundo en constante cambio, representa un gran reto para los arquitectos especialistas en arquitectura educativa.

Este escenario plantea un gran desafío para el campo disciplinar de la arquitectura, ya que implica diseñar, construir y mejorar la infraestructura escolar según las necesidades de los niños. Requiere atender las diferentes situaciones de discapacidad, promover la diversidad y singularidad, incluir perspectiva de género y crear entornos seguros y libres de violencia, para construir entornos de aprendizaje inclusivos y eficaces para todos y todas.

El diseño de los paisajes de aprendizaje exige una mirada atenta, ya que las nuevas pedagogías del siglo XXI demandan espacios adecuados para su desarrollo.

Identificar las claves fundamentales del diseño colabora en la creación de un

mapa cuyo fin es desarrollar los procesos creativos, orientar el abordaje hacia nuevos aspectos y requerimientos en la creación de paisajes de aprendizaje. Este mapa se adapta a los requerimientos de las pedagogías actuales y futuras, considerando el contexto y las diversas realidades dentro de una perspectiva de sostenibilidad.

## Metodología

Este trabajo es fruto de la experiencia generada en la práctica profesional, a partir de la cual hemos identificado un cambio significativo en la perspectiva de los pensadores de la educación. Las nuevas prácticas pedagógicas plantean demandas adicionales a los arquitectos de edificios educativos; por lo cual resulta fundamental adoptar enfoques apropiados para planificar, diseñar y construir paisajes de aprendizaje. Estos deberán proporcionar condiciones óptimas para los niños en un mundo globalizado y en constante cambio, caracterizado, a su vez, por un alto grado de incertidumbre.

Como arquitectos especialistas en diseño de paisajes de aprendizajes, comprendimos la necesidad de formular una serie de preguntas orientadoras en la búsqueda de un nuevo enfoque: ¿puede el espacio reflejar la cultura y el carácter distintivo del centro?, ¿a qué necesidad debe responder?, ¿el diseño del centro fomenta las nuevas prácticas pedagógicas?, ¿los espacios de aprendizaje son lugares saludables y seguros?, ¿la infraestructura evoluciona de manera sostenible?

Ello transformó nuestra manera de pensar sobre la arquitectura educativa.

Comenzamos a explorar nuevos diseños arquitectónicos para los espacios de aprendizaje. A través del ejercicio de nuestra profesión, la actualización permanente y la búsqueda de conocimiento especializado, nos motivamos a contribuir, desde nuestra disciplina, con una visión crítica y reflexiva, desarrollamos una arquitectura propia, que responde a los cambios en el ámbito de la educación.

## Marco conceptual

En el presente, existe en el mundo un movimiento creciente que busca transformar la educación, ayudar a los estudiantes a enfrentar los desafíos reales de vivir y aprender en el siglo XXI. Se discute continuamente qué enseñamos y cómo enseñamos, pero no se debate sobre dónde aprendemos.

A pesar de los avances pedagógicos y de los diferentes cambios metodológicos en los centros educativos, la pregunta por dónde *aprendemos* ha quedado al margen de las discusiones. Muy poco ha cambiado el aspecto físico de los espacios de escolarización respecto a cómo eran en el pasado.

El espacio físico no es neutral, condiciona la experiencia, en él los acontecimientos tienen lugar y ocurren las transformaciones; por ello, la arquitectura no puede dissociarse de los modos de aprendizaje.

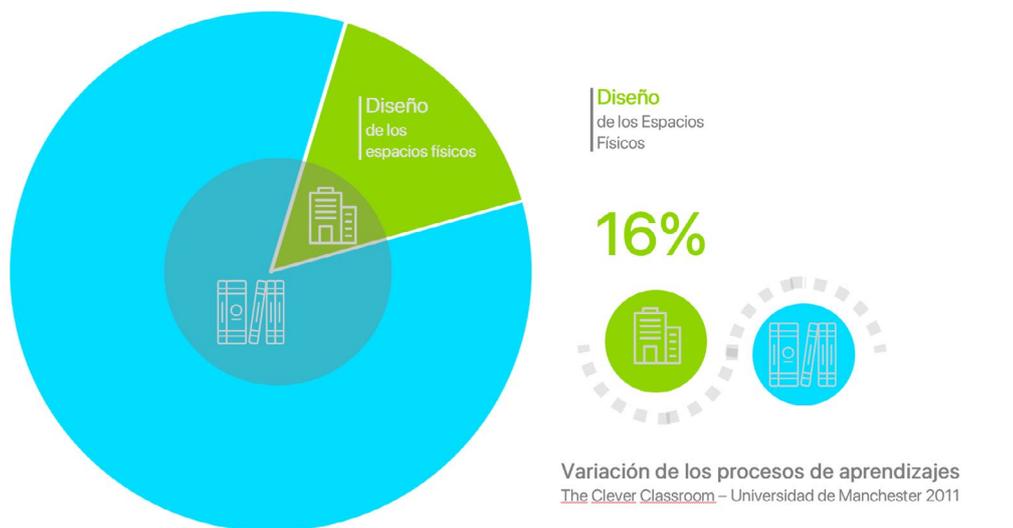
Investigaciones como la realizada por la University of Salford, Manchester, aseguran que los aspectos físicos explican el 16 % de la variación del progreso logrado por los estudiantes en sus aprendizajes (Barrett *et al.*, 2015).

Estos hallazgos son un respaldo rotundo a la importancia del diseño físico no solo para la salud, sino también para apoyar activamente el aprendizaje.

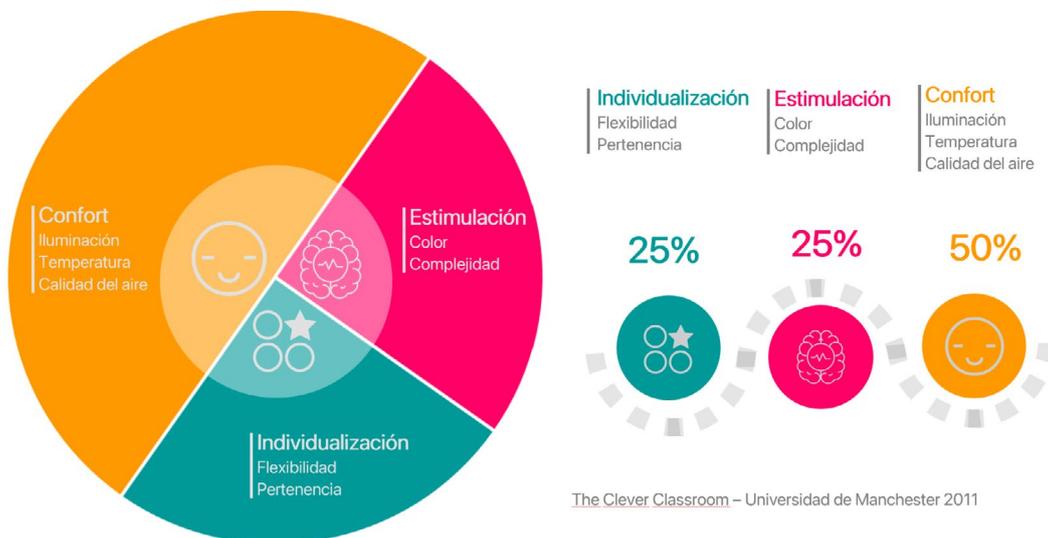
Las condiciones de los espacios educativos influyen en los resultados. Según la Universidad de Salford, dichas condiciones son:

- La estimulación (25%), colores, texturas, materiales, complejidad;
- La Individualización (25%), flexibilidad y pertenencia;
- El confort (50%), iluminación, calidad del aire, temperatura.

Si pretendemos que estos procesos de transformación y cambio se lleven a



**Figura 1** - Fuente: Elaboración propia



**Figura 2** - Fuente: Elaboración propia

cabos, debemos asegurarnos de que el espacio contemple dichos aspectos y contribuya así en desarrollar al máximo el potencial para aprender. La pedagogía tiene un claro reflejo en los espacios y en el diseño de edificios educativos.

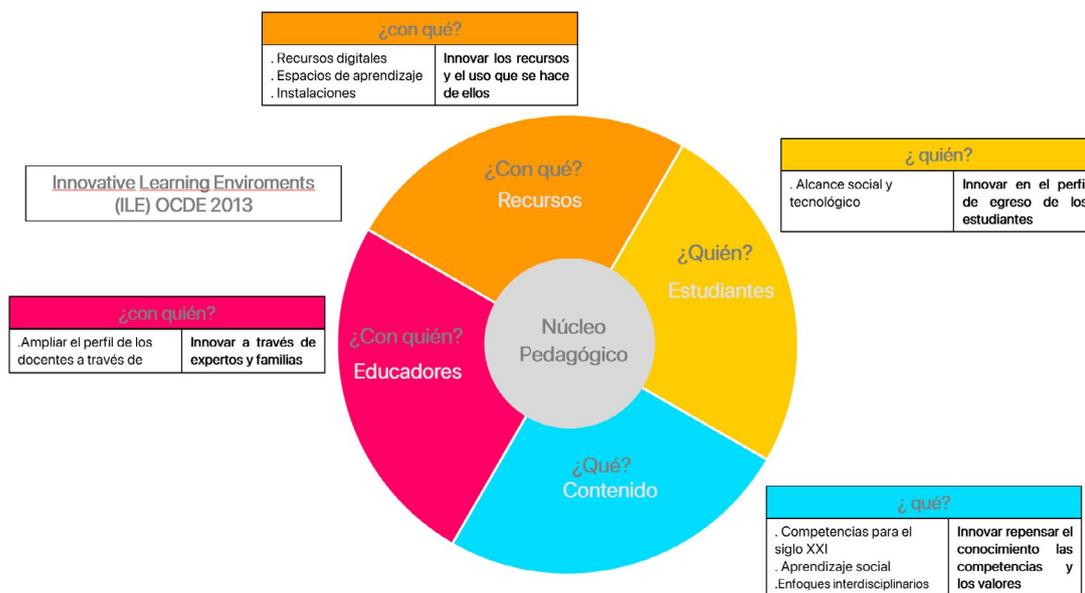
Si pensamos en la innovación y transformación de la educación y su núcleo pedagógico, la arquitectura es parte de esta innovación. Según *Innovative Learning Environments* (OCDE, 2017), cambiar e innovar el núcleo pedagógico de cualquier entorno de aprendizaje requiere repensar juntos, e individualmente, los elementos principales que lo componen:

- ¿Con qué?, innovar en los recursos digitales, las instalaciones y el uso que se hace de ellos.

## Desarrollo

En Uruguay, venimos de un modelo de aprendizaje centrado en el docente y estamos transitando hacia un modelo centrado en el estudiante, y, en algunas instituciones educativas, ya se están procesando estos cambios.

Lejos de parecer un descubrimiento reciente, esto no es una idea nueva. En la década del setenta, el movimiento de edu-



**Figura 3** - Fuente: Elaboración propia

- ¿Para quiénes?, innovar en el perfil de los estudiantes.
- ¿Con quiénes?, innovar y ampliar el perfil docente.
- ¿Qué?, innovar y repensar el conocimiento, las competencias y los valores.

cación progresista, basado en los teóricos educativos Jean Piaget y María Montessori, entre otros, llevó el aprendizaje centrado en el estudiante a unas pocas escuelas.

## ¿Qué significa un aprendizaje centrado en el docente?

Este modelo de aprendizaje, del que partimos y queremos superar, supone que para que los estudiantes aprendan con eficacia deben ser dirigidos de forma continua por el docente.

En el mundo, la escolarización se tornó obligatoria entre los años 1852 y 1917, con el propósito de crear ciudadanos alfabetizados y con buenos conocimientos aritméticos. En Uruguay, la enseñanza obligatoria, laica y gratuita se da con la reforma vareliana del año 1876.

El contexto social y económico de aquella época se enmarca en un explosivo desarrollo industrial, gran parte de la población mundial ve afectada su vida con la llamada revolución industrial.

Así, las escuelas comienzan a aparecer como «fábricas para la enseñanza».

Este modelo se refleja en la arquitectura como un modelo organizativo llama-

do, según Prakash Nair (p.12, 2016), de «celdas y campanas». En dicho modelo, los estudiantes ocupan celdas llamadas aulas, hasta que suena la campana y luego se trasladan a la siguiente celda, estas están conectadas por largos pasillos, similar a una línea de montaje. De esta manera se generaban edificios escolares idénticos, había una planificación de tareas fijas con resultados fijos y predeterminados, sin la participación del estudiante. Los alumnos tienen un mismo escritorio y se orientan al frente donde está el profesor. El aula, en la era industrial, enseña disciplina, obediencia, jerarquía y horarios, a imagen y semejanza de una fábrica.

De esta manera, el modelo industrial de Taylor fue adoptado con éxito en los edificios escolares y funcionó muy bien para proporcionar un nivel de formación básico a los futuros trabajadores quienes luego se desempeñarían de manera competente en las fábricas.





**Figura 4** - Página anterior: Fábrica en el Himalaya (Miguel Ángel Criado). A la izquierda: Escuela urbana a fines del siglo xix después de las reformas varelianas (Archivo Fotográfico de la Intendencia de Montevideo). A la derecha: Línea de montaje de la planta de Ford Motor Company en Highland Park, en las afueras de Detroit.

### ¿Qué significa un nuevo aprendizaje centrado en el estudiante?

Actualmente se reconoce que la educación debe evolucionar, preparar estudiantes para un mundo en constante cambio: hay una intención muy marcada en dejar atrás métodos antiguos de enseñanza, y una necesidad creciente de innovar. En Uruguay, en particular, este cambio se vio plasmado en la Ley n.º 18.437, Ley General de Educación, del año 2008, en la cual se establece centralidad en el estudiante, reconociendo su singularidad para favorecer el desarrollo de su educación.

Este nuevo modelo permite a los estudiantes dirigir su aprendizaje, maximizar su potencial, desarrollar las habilidades necesarias para aplicar los conocimientos teóricos que resolverán los problemas de la vida real.

Este movimiento ha cobrado fuerza en las últimas décadas por tres grandes razones:

1. Los conocimientos y las competencias necesarias para el siglo XXI son muy diferentes a los del siglo pasado.
2. La educación está fallando en mantenerse al día frente a las demandas del mercado laboral actual, impulsado por las habilidades tecnológicas.
3. Los estudiantes aprenden mejor cuando están personal y activamente comprometidos con el aprendizaje.

Este conjunto de situaciones debe atenderse de forma integral por los actores educativos, quienes no pueden desconocer una serie de problemas que flagelan a nuestras sociedades:

- alto índice de fracaso y abandono educativo,
- malos resultados de las pruebas internacionales,
- desempleo joven,
- escala salarial con relación a los logros académicos,
- no se fomenta la creatividad y la curiosidad.



**Figura 5** - A la izquierda: Plan Ceibal. A la derecha: Edificio Delft Montessori School (Arq. Herman Hertzberger).

En esta coyuntura, un diseño de la arquitectura escolar que habilite las nuevas pedagogías consiste en crear espacios que activen y empoderen a cada uno de los estudiantes. Desde este enfoque, los espacios, los facilitadores, las tecnologías de la información y la pedagogía empoderan e impulsan al estudiante a ir más allá de su etapa de desarrollo y a alcanzar un mayor nivel de actividades. El aprendizaje centrado en el estudiante implica disponer de espacios abiertos y flexibles para apoyar las pedagogías más complejas y enfocadas en quien aprende.

El contexto social y económico actual nos lleva a la necesidad de personalizar el aprendizaje, el cual involucra plenamente al estudiante en su propio proceso. El espacio debe ser natural para que *aprender a aprender* sea lo habitual. La desconexión que existe entre lo que los educadores quieren hacer y lo que el espacio les permite es un verdadero problema.

Es paradójico lo que nos viene sucediendo en cuanto a la infraestructura edilicia.

Según el Arq. Prakash Nair (2014, p.) «invertir en la infraestructura escolar basa-

dos en los viejos conceptos del siglo xx es un gran error, porque se disocian las actuales pedagogías con el espacio físico».

Por ello, las escuelas deben ser reconceptualizadas para que puedan adoptar las innovaciones pedagógicas, mejorar los resultados de los estudiantes y preparar a los ciudadanos del futuro; los estudiantes necesitan conocimientos, habilidades personales y sociales.

## Resultados

En este recorrido de búsquedas en el ejercicio proyectual de la arquitectura educativa, conceptualizamos los paisajes de aprendizaje como un entramado de conexiones desarrollado desde un conjunto de siete nociones que utilizamos, de manera articulada, en los nuevos diseños espaciales.

Estas siete nociones principales constituyen la respuesta a la pregunta cómo lo *hacemos*.

Este acrónimo (*hacemos*) conforma nuestro sistema de ideas para el diseño de los paisajes de aprendizaje.



**Figura 6** - Sistema de ideas - Fuente: Elaboración propia.

### Humano

Dimensión basada en el desarrollo humano. Sitúa como centro al estudiante, como individuo sujeto de derechos, integrado en su diversidad, con total accesibilidad e inclusión al medio; atiende especialmente la perspectiva de género.

### Adaptar

Dimensión basada en la *flexibilidad* y la personalización. La flexibilidad implica espacios educativos confortables y adaptables para satisfacer las diversas necesidades de enseñanza y aprendizaje. Esto incluye la capacidad de reconfigurar fácilmente los espacios para diferentes actividades y estilos de enseñanza actuales o futuros. El equipamiento educativo debe ser también flexible, versátil y ajustable, también debe posibilitar diferentes configuraciones para realizar diversas actividades y satisfacer necesidades de los estudiantes. La *personalización* del espacio implica que se pueda elegir dónde, cuándo y cómo aprender. Un uso *eficiente* del espacio, en el que los diseños arquitectó-

nicos optimicen el uso del espacio disponible para garantizar que haya suficiente capacidad para los estudiantes y los recursos educativos, evitar la congestión y la falta de espacio. Por último, la *variedad espacial*, es decir, brindar a los estudiantes y docentes más opciones sobre cómo quieren aprender y enseñar.

### Colaborar

Dimensión basada en la *interrelación*. Los diseños arquitectónicos deben fomentar y promover la colaboración y el trabajo en equipo, crear espacios que faciliten la interacción entre los estudiantes y los docentes. Asimismo, propiciar una forma *cooperativa* del aprendizaje, promover la capacidad de cooperar y aprender juntos. *Involucrar* a los estudiantes en el proceso, para que sean capaces de organizar y observar su propio aprendizaje. Promover la *interconexión horizontal*.

### Estimular

Dimensión basada en lo *sensorial*. El efecto del diseño espacial es clave en la

vida de las personas y en los entornos de aprendizaje para promover la educación y el desarrollo de los estudiantes. Crear espacios *inspiradores*, los entornos educativos deben ser atractivos y estimulantes para fomentar la creatividad y la motivación de los estudiantes. El diseño arquitectónico debe considerar el uso de colores, luz natural, materiales agradables, texturas y elementos visuales interesantes, tanto exteriores como interiores. Generar el sentido de *pertenencia* de la comunidad educativa.

### Mundo

Dimensión basada en la *conectividad*. Los espacios educativos deben estar conectados con el mundo exterior; aprovechar las tecnologías para facilitar el acceso a la información y recursos adicionales, alentando las transversalidades. Incorporar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), el enfoque STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics).

### Oportunidad

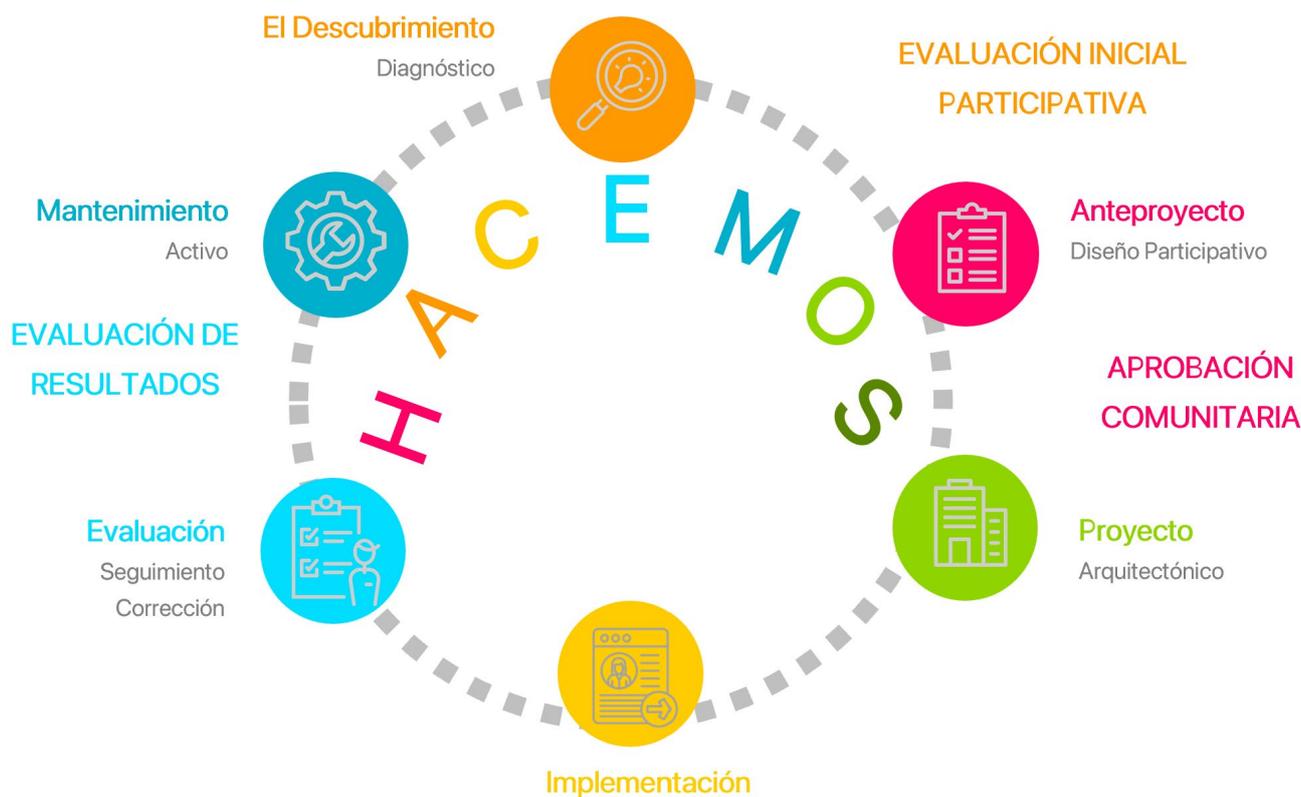
Dimensión basada en la *espontaneidad*. Crear espacios de encuentro donde se producen los aprendizajes incidentales, es decir, momentos de intercambio y conocimiento que no están en la currícula formal, pero forman parte de las competencias. La idea es aprender del otro (y con el otro) de forma espontánea. Crear espacios que no estén definidos funcionalmente, pero que puedan ser interpretados y poseídos por las personas que los utilizan.

### Sentido

Dimensión basada en el *sentido de pertenencia*. La construcción de una cultura identitaria es un potente reforzador de los lazos entre los integrantes de una comunidad. El diseño deberá incorporar aquellas componentes que, en el proceso de evaluación colectiva, emerjan como referencias propias de la comunidad. Crear espacios que propicien *la identidad* de la comunidad fomentará las buenas prácticas en el uso del espacio. Los diseños deben permitir suficiente margen para la *apropiación* emocional de los espacios, y así concebirlos como su lugar.

Cada una de estas dimensiones se enfatiza en el proceso de diseño, según el método de trabajo definido al desarrollar un proyecto arquitectónico. Con el marco conceptual anteriormente expuesto y nuestra experiencia profesional, hemos identificado que los abordajes fragmentados limitan la integración completa de los conceptos en nuestro sistema de ideas. Es esencial trabajar los paisajes de aprendizaje con una mirada innovadora, integral y holística en el diseño de los espacios.

En este sentido, consideramos fundamental que los procesos de diseño sean esencialmente participativos, a través del empleo de metodologías basadas en el *design thinking*. Este método articulado con el sistema de ideas da lugar al diseño *Hacemos* que se lleva a cabo dentro y con el centro educativo.



**Figura 7** - Fuente: Elaboración propia

### El descubrimiento

En esta fase se detectan y se analizan las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades (FODA), de forma participativa, es decir, se involucra a toda la comunidad educativa, lo cual es clave para desarrollar la transformación, ya que contempla especialmente la cultura del centro y sus valores. Se trata de una etapa de promoción y diagnóstico para crear conjuntamente una cultura del cambio. Se realizan talleres, entrevistas y relevamientos, capturando imágenes, videos e informes que establecen un punto de partida valioso. Se concluye con una *evaluación inicial participativa*, se presenta el análisis con el fin de lograr acuerdos entre arquitec-

tos, diseñadores y la comunidad; es este el punto de partida de nuestra hoja de ruta.

### El anteproyecto

Se desarrolla un diseño participativo con todos los grupos de interés, según los lineamientos trabajados en la etapa anterior, *el descubrimiento*. Se presentan las propuestas de cambio de los espacios o diseños del centro, se debate y se elige la propuesta más ajustada según criterios y objetivos sostenibles de transformación educativa, adaptada al centro. Esto implica presentaciones, mesas de debate y talleres en los que se trabaja sobre las propuestas de diseño para el espacio físico.

## El proyecto

Los arquitectos elaboran un proyecto ejecutivo listo para su presupuestación y construcción. Incluye documentos gráficos y escritos, instalaciones, permisos nacionales y departamentales y planificación para la ejecución de las obras, considerando su impacto para el centro educativo.

## Implementación

Una vez aprobado, se trabaja con el centro educativo y sus grupos de interés acerca del potencial arquitectónico y pedagógico del cambio. Se elabora un plan con las transformaciones acordadas y las posibilidades que aporta el diseño del espacio físico a dichas transformaciones. Además, se genera un manual de uso y mantenimiento para los espacios físicos y se realizan talleres.

## Evaluación de resultados

Se realizan evaluaciones periódicas, acordes al diagnóstico inicial, correcciones y ajustes, según sea necesario. Se continúa con talleres, entrevistas y relevamientos, a la vez que se elabora un registro de imágenes, videos e informes como cierre de esta etapa.

Este enfoque de trabajo no implica más tiempo en los cronogramas de las oficinas de arquitectura, sino una perspectiva diferente y una forma alternativa de involucrar a la comunidad en el proceso de ideación, diseño y construcción del centro educativo. Como resultado, se construye un edificio a medida de la comunidad, que la representa y fomenta un sentido de pertenencia.

La arquitectura educativa debe facilitar las nuevas metodologías de enseñanza y aprendizaje, actuar como un catalizador para una verdadera transformación en el ámbito educativo. Para que esta arquitectura respalde eficazmente los enfoques pedagógicos actuales y futuros, es fundamental que los arquitectos trabajen en estrecha colaboración con los educadores, ajustando los entornos de aprendizaje a las demandas contemporáneas y futuras. Es esencial un enfoque participativo y holístico en el diseño de estos espacios, que involucre a toda la comunidad educativa. Solo así se podrá crear un entorno óptimo y de alta calidad para el aprendizaje, alineado con los objetivos de desarrollo sostenible.

## Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



## Referencias

Barrett, P., Zhang, D. Y., Davies, D. F., y Barret, D. L. (2015). *Clever Classrooms, Summary report of the HEAD Project*. University of Salford.

De Souza Silva, J. (1999) ¿Una época de cambios o un cambio de época? *Revista Forestal Centroamericana*, 8(28), pp. 6-10. Recuperado de [http://materiales.untrefvirtual.edu.ar/documentos\\_extras/0686\\_Int\\_a\\_la\\_prob\\_del\\_mundo\\_contemp/Cla-se1\\_Los-Hechos-Significativos-del-siglo-XX\\_Una-epoca-de-cambios-o-un-cambio-de-epoca.pdf](http://materiales.untrefvirtual.edu.ar/documentos_extras/0686_Int_a_la_prob_del_mundo_contemp/Cla-se1_Los-Hechos-Significativos-del-siglo-XX_Una-epoca-de-cambios-o-un-cambio-de-epoca.pdf)

Nair, P. (2016). *Blueprint for Tomorrow. Redesigning Schools for Student-Centered Learning*. Harvard Education Press.

OCDE (2017). *The OECD Handbook for Innovative Learning Environments*, Educational Research and Innovation, OECD Publishing. Recuperado de <https://doi.org/10.1787/9789264277274-en>.

Uruguay (2008, diciembre 12). Ley n.º 18.437, Ley General de Educación. Recuperado de <https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/leytemp4253956.htm>.



# LINKS

**¡Esperamos encontrarnos en la  
próxima edición de LINKS!**

[revista.links@utec.edu.uy](mailto:revista.links@utec.edu.uy)

[utec.edu.uy/es/internacional/](http://utec.edu.uy/es/internacional/)



**Centro de  
Vinculación Global**  
Universidad Tecnológica,  
Uruguay

