

Oportunidad y pertinencia del desarrollo sostenible de procesos aplicando tecnologías con microalgas para resolver 3 retos globales y de la sociedad dominicana: Alimentación de calidad, energía renovable y medio ambiente.

Marlen Alfonso, UNAPEC, República Dominicana, malfonsol@adm.unapec.edu.do

Marlen Ramil, UNAPEC, República Dominicana, mramil@adm.unapec.edu.do

Alexander Valdés, UASD-Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana, avaldez68@uasd.edu.do

Alejandro J. Abril, UNEV- Universidad Nacional Evangélica, República Dominicana, aabril@prof.unev.edu.do

Alvin Rodríguez, UNAPEC, República Dominicana, arodriguez@adm.unapec.edu.do

Autor de correspondencia: malfonsol@adm.unapec.edu.do

Resumen

Citation: Alfonso, M., Ramil, M., Valdés, A., Abril, A. J., & Rodríguez, A. (2023). Oportunidad y Pertinencia del Desarrollo Sostenible de Procesos Aplicando Tecnologías con Microalgas para Resolver 3 Retos Globales y de la Sociedad Dominicana: Alimentación de Calidad, Energía Renovables y Medio Ambiente. Proceedings of the 2023 Academy of Latin American Business and Sustainability Studies (ALBUS), Santo Domingo, Dominican Republic. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10155442>

En los últimos quince años se ha acelerado el desarrollo e implementación de procesos tecnológicos con el uso de microalgas para resolver retos globales relacionados con alimentación de calidad, energía limpia y renovable y protección del medioambiente. Estos procesos permiten crear cadenas productivas con una economía circular que tributan al cumplimiento de 11 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible definidos por la ONU en 2015. Se expone la problemática de estos retos en la sociedad dominicana y como se podrían resolver con estas tecnologías justificando la pertinencia de su implementación. La adopción del modelo económico de QUINTUPLE HELICE (Gobierno-Universidad-Empresas-Sociedad Civil-Medioambiente) crearía bases para un escalado y asimilación rápida de estas tecnologías. Se abrirían posibilidades para la producción sostenible de biofertilizantes y bioestimulantes potenciando el desarrollo agropecuario, y nuevas líneas de exportación de productos derivados de la biomasa de microalgas, acelerando el desarrollo futuro de industrias de suplementos alimenticios, nutracéuticos y cosmeceúticos. Se propone utilizar las microalgas en tratamiento de efluentes de industrias y domésticos, que combinados con el agua de mar proporcionarían un adecuado sustrato. El uso de energía solar en más de un 90 % del proceso, contribuirá con la reducción de la huella de carbono y ecológica.

Palabras claves: medioambiente, microalgas, nutrición, sostenibilidad.

Introducción

El desarrollo industrial y empresarial de las microalgas puede contribuir a paliar las tres principales crisis que sufre la humanidad, presentes también en República Dominicana: alimentaria, energética y ambiental (AST-Ingeniería, 2014). A partir de los múltiples usos de su biomasa se puede implementar una actividad económica beneficiosa tanto en criterios económicos, sociales, como medioambientales.

Existen especies ricas en proteínas y de compuestos bioactivos que permitirán elevar la calidad de vida. La biomasa algal combinada con alimentos tradicionales puede ayudar a mitigar la pobreza y a lograr un excelente desarrollo estructural y cognitivo de niños y adolescentes. En las metas del país dentro de la Ley Orgánica de la Estrategia Nacional de Desarrollo (END) de la República Dominicana (RD) 2030, Ley 1-12 del Ministerio de Economía y Planificación y Desarrollo (MEPyD, 2018), se encuentra seguir disminuyendo la pobreza y el hambre, y hacerlo con alimentos de elevado valor nutricional sería muy positivo.

Las industrias de cultivo, separación y secado de biomasa de microalgas no compiten con

el suelo que actualmente se destina a la producción de alimentos convencionales. Estos procesos pueden utilizar efluentes de industrias alimentarias existentes en el país con un nivel productivo elevado, el agua de mar y de las salinas, y la luz solar que es abundante durante un elevado número de horas del día, para los procesos biológicos de fotosíntesis minimizando los costos de producción. Ya existen producciones comerciales que logran rentabilidades económicas adecuadas (Grahl, S., et al., 2020, AlgaEnergy, 2023, Castillo, P.; Castillo, JM., 2020, Global Microalgae Market, 2021). Se minimizan los efectos de riesgos externos como el clima para la agricultura o por efectos globales que incrementan la inflación y los precios de insumos, logrando una autonomía mayor para los países y regiones que adopten estas tecnologías.

Desde el punto de vista ambiental ayudan a limpiar la atmosfera del CO₂ y depuran efluentes que aportan elementos útiles al sustrato de cultivo. Además, algunas especies son potencialmente útiles como fuentes de energías limpias de segunda generación (AST-Ingeniería, 2014).

Revisión de literatura

El primer registro del consumo de microalgas para suplir la dieta humana es de China y data de hace más de 2 000 años. Los chinos utilizaban la microalga *Nostoc* para sobrevivir en épocas de hambruna (Chen, Wang, Benemann, Zhang, Hu & Qin, 2015). En registros del siglo XVI se evidencia que los conquistadores españoles descubrieron que los aztecas colectaban un alimento novedoso de los lagos y elaboraban una especie de pastel o tortilla, que llamaban *techuitlatl*, a base de una bacteria fotosintética (también considerada microalga, llamada *Spirulina*). Actualmente en el Valle de México sólo queda el lago de Texcoco, se encuentra aún este tipo de microalga. Los aztecas no fueron los únicos en cultivar este alimento y se reporta que los habitantes de Kanembu, en las costas del Lago Chad, en África, colectan *Spirulina* y la utilizan para hacer un tipo de torta llamada *Dihé*. Esta torta se mezcla con salsa de tomate, pimientos y sobre ella se esparce frijol, pescado y carne de res y es consumido en el 70% de los platillos (Espinosa, 2017).

La biotecnología de las microalgas ha adquirido una considerable importancia en las últimas décadas. Pese a no saberse con precisión el número real de especies de microalgas existentes en todo el planeta, su número se presume en un rango entre 300.000 y 1.000.000 de especies. Esta cifra incluye a las diatomeas y a varios géneros considerados “de frontera” entre las algas y otros grupos taxonómicos (hongos, bacterias, etc.). De estas, sólo algunas decenas de miles de especies han sido identificadas hasta la fecha. A nivel de su industrialización con fines comerciales, el número se reduce a unas 15-20 especies empleadas en la actualidad, con otras 15 o 20 en estudio para determinar su potencial a mediano-largo plazo (Boletín agro-alimentario-FAO, 2015).

El crecimiento del mercado de microalgas puede atribuirse al aumento de la aplicación de proteínas de algas en suplementos dietéticos y en la industria alimentaria. Además, la proteína de algas no se considera una fuente de proteína animal, por lo que es perfecta para el consumo de dietas más saludables y de la población vegana. Además, las microalgas tienen múltiples aplicaciones en cosmética y alimentación. Tanto la industria de piensos como la de cosméticos han experimentado un fuerte crecimiento en la última década, lo que ha aumentado de la demanda de dichos productos a nivel mundial y, como resultado, aumento de la demanda de microalgas (Allied Market Research, 2021, 2021).

Vigilancia tecnológica de la situación de la temática

El mercado mundial de microalgas estaba valorado en 997 millones de dólares en 2020 y se prevé que alcance los 14800 millones de dólares en 2028 registrando una tasa compuesta anual del 5.4 % según estudio de mercado publicado por (Allied Market Research, 2021). Otras fuentes reportan una producción y una venta menor como se aprecia en la Tabla 1 de los modulos de la Maestría de Biotecnología de microalgas que imparte la Universidad de Almería en España.

Tabla 1. Mercado de microalgas hasta 2015 (Universidad de Almería, España, 2015)

Especie	Precio medio (€/kg)	Producción anual (t/año)	Mercado (M€)
Spirulina	5-50	5,900.0-7,000.0	120-160
Chlorera	36 (nutrición humana)	4,000.0-7,000.0	100-130
	11 €/mg (ficobiliproteínas)		
Dunaliella	12-40	1,000.0-1,600.0	70-110
	36 (nutrición humana)		
Haematococcus	50€/L (acuicultura)	280-350	80-100
	215-2150 (beta-caroteno)		
	150-340		
Total	50 €/L (acuicultura)	11,180.0-15,950.0	370-500
	7150 (astaxantina)		

A continuación, se muestra un árbol de categorías en Figura 1. donde se puede apreciar que la temática es extensa. Se aprecian las diversas publicaciones sobre cada tema y las de mayor impacto y/o crecimiento relativo. Los ejes de mayor interés son el estudio de los bioprocesos y de los bioproductos (Boletín agro-alimentario-FAO, 2015).

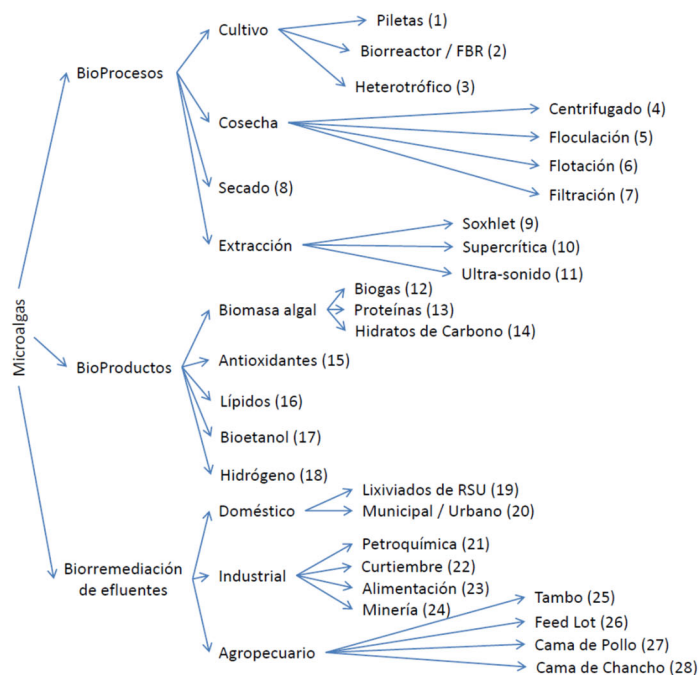


Figura 1. Árbol de categorías

En un estudio de las publicaciones sobre la temática se aprecia un incremento notable a partir del 2010 y 2011 donde las publicaciones se triplican y se muestra que las áreas de mayor % de interés son 3: Ingeniería Química, Ciencias Ambientales y Ciencias Agrícolas y Biológicas. Existen alrededor de 349 instituciones que publican sobre esta temática, pero 20 son las que más se destacan con el 44 % del total de las consultadas. Entre ellas podemos citar: Chinese Academy of Sciences (5.79 %), Universidad de Almería (4.30%), Wageningen University and Research Centre (2.97 %) y Universite de Nantes (2.09 %).

20 países se destacan con el mayor número de publicaciones siendo los más destacados: Estados Unidos (1636, 14.93 %), China (1454, 13.27 %), España (739, 6.74 %), India (592, 5.4 %), Corea del Sur (569, 5.19 %), Francia (476, 4.34 %), Australia (447, 4.08 %), Brasil (350, 3.19 %) entre los más importantes (Boletín agro-alimentario-FAO, 2015).

El aprovechamiento de las microalgas para obtener productos comerciales requiere desarrollos tanto en las fases de cultivo como en las de procesamiento de la biomasa.

En el registro de patentes de procesos o productos, en general se ve que, desde el año 2010 hasta el 2014, en casi todos los ejes temáticos (ramas) de desarrollo de esta tecnología (ver Figura 1. Árbol de categorías), ha habido un número creciente de registro de innovaciones mediante patentes sobre todo en los siguientes temas: diseño de fotobiorreactores-FBR, optimización de los cultivos de varias especies, secado de biomasa, separación de la biomasa por filtración, extracción de lípidos, obtención de hidrogeno, antioxidantes, proteínas e hidratos de carbono. La finalidad principal es el desarrollo de nutracéuticos, alimento humano y animal, como aditivos cosméticos naturales. Las especies ricas en hidratos de carbono se emplean en las fermentaciones que son objeto de producción de gases combustibles.

La mayor parte de los solicitantes de patentes pertenecen a firmas de los Estados Unidos, lo que también es consistente con el país de mayores publicaciones y desarrollos en materia de cultivo y uso de microalgas. Incluso desde las estrategias políticas y económicas, en Estados Unidos hubo un gran incentivo en los años 90 para el desarrollo de tecnologías alternativas de obtención de materia prima para la elaboración de biodiesel y/o, combustibles alternativos. Más aún, son pioneros en el uso de microalgas para el tratamiento de efluentes, desde los años '60.

Los países que siguen en número de patentes a la extensa producción de Estados Unidos son China, Francia y Japón. Los principales países productores de estas especies de microalgas son los países del sudeste asiático (liderados por China), India, Estados Unidos, Japón e Israel.

En España existe una incipiente actividad económica alrededor de las microalgas, nada comparable con industrias desarrolladas como el caso de EE. UU., que actualmente emplea directa e indirectamente a más de 10.000 trabajadores en unas 100 empresas, así como en proyectos de investigación. Se estima que en el año 2022-2026, la industria norteamericana podría contar con 100.000 puestos directos y 200.000 indirectos en este sector, apuntando a la incorporación a la industria a través de la investigación y el desarrollo, nuevas tecnologías capaces de reducir costes de producción y aumentar rendimientos.

Problemática de investigación: Oportunidad de los procesos que usan microalgas como mercado emergente que impacta en toda la sociedad
Principales aplicaciones de las microalgas en el mercado actual y pronóstico en el futuro.

El mercado mundial de las microalgas (como producción primaria) tiene un volumen de aproximadamente 35.000 t/año de materia seca de microalgas, y genera una facturación total de

origen de aproximadamente 1.200-1.700 millones de dólares estadounidenses al año (MUSD/año) (Boletín agro-alimentario-FAO, 2015).

Las microalgas son capaces de producir biomasa que puede ser utilizada en diferentes esferas de la sociedad humana tales como: combustibles alternativos, alimentación humana y animal, fármacos y producciones agrícolas como bio-fertilizantes y bio-estimulantes.

La biomasa de microalgas presenta una gran variedad de componentes de elevado valor económico que al asociarse a la bio-remediación, pueden reducir los costos del cultivo (Abdel-Raouf et al. 2012).

Las microalgas poseen una capacidad bio-remediadora debido a que pueden ser cultivadas en efluentes de diversas industrias o residuos generados de la actividad humana. Esto es posible porque eliminan o bio-transforman los contaminantes de un medio líquido o gaseoso al utilizarlo como sustrato para su desarrollo.

Los géneros más empleados para este fin son *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) y *Chlorella*, debido a que presentan un excelente balance de nutrientes, y fundamentalmente a que su cultivo a escala industrial es más sencillo que de las otras especies de similar valor nutricional.

En términos cuantitativos, el mercado de *Spirulina* se estima en más de 12.000 t/año, con un valor a granel de 8.000 USD/ton. El de *Chlorella* se estima en 5.000 t/año, a valores de 10.000 USD/t. Esto da un total (previo al agregado de valor adicional) de ~150 MUSD.

Los principales países productores de omega-3 a partir de microalgas son Estados Unidos, China, Portugal y Australia. El volumen del mercado del omega-3 obtenido a partir de microalgas es actualmente de unas 3.000 t/año, con una sensible alza interanual. El precio de venta a granel del “aceite de microalga con DHA (40%)” es de 140 USD/kg. A partir de estos datos, se puede estimar una valuación de mercado (previo al agregado de valor) de 420 MUSD.

Comercialmente, el betacaroteno es empleado como colorante alimentario natural, como fuente de vitamina A (ya que se trata del precursor de esta vitamina) y como antioxidante en la industria nutracéutica. Los principales países productores son Australia, China, Israel e India. Su volumen de mercado es de unas 60-70 t/año, con un precio de venta a granel de 1.500 USD/kg si se comercializa en polvo, totalizando una valuación de mercado (previo al agregado de valor) de 105 MUSD. También se lo puede conseguir como oleorresina, y con un mayor valor como “polvo dispersable en agua”, luego de su micro encapsulado con moléculas anfifílicas.

El valor de la ficocianina (antioxidantes) en el mercado, a granel, supera los 300 USD/kg. No se obtuvieron datos sobre el volumen de mercado, aunque distintas fuentes proponen que este está en alza, en respuesta a los estudios que confirman las propiedades beneficiosas de este pigmento. El volumen de mercado de la Axtasantina es de unas 40 t/año, con un gran aumento interanual que no muestra signos de detenerse en el mediano plazo, y su precio a granel es de los más altos: >7.000 USD/kg. Esto da una valuación de mercado (previo al agregado de valor) superior a 280 MUSD.

ALGAENERGY es un ejemplo de empresa emprendedora de España en la producción de biomasa de microalgas que tiene en operación su propia Planta Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTM), siendo la herramienta de I+D privada más potente conocida en el ámbito internacional de la biotecnología de microalgas, con una capacidad de cultivo de 40.000 litros, y cuya construcción en el aeropuerto de Madrid-Barajas quedó completada en mayo de 2011. La siguiente fase de su Plan Estratégico es la construcción, ya comenzada, de una planta de producción de 1.000.000 de litros en Arcos de la Frontera (Cádiz), sobre una superficie de 10.000 m² y con una producción estimada de 1000 toneladas de biomasa de microalga al año. Se dedica a la comercialización de productos derivados de las microalgas para acuicultura, bajo la marca

ALGAEPISCIS, e investiga también la aplicación de las mismas en productos farmacéuticos, nutracéuticos, cosmética, piensos para animales, agricultura y nuevos materiales (AlgaEnergy, 2023).

ALGALIMENTO S.L. es una empresa creada en el 2012 que actualmente producen dos especies de Microalgas: *Isochrysis* y *Tetraselmis*. Así mismo, disponen de producción bajo pedido de otras especies de microalgas como *Nannochloropsis gaditana*, *Espirulina*, *Dunaliella salina* y *Chlorella*. Sus microalgas se aprovechan en sectores de la alimentación, farmacéutica y nutracéutica para el desarrollo de productos de alto valor añadido. La empresa dispone de: Planta de producción de microalgas de 2.000 m², Laboratorio de análisis agroalimentario y una Planta para procesado de la biomasa (<http://www.algalimento.com/>).

NEOALGAE es una empresa biotecnológica que nace el día 31 de octubre de 2012 con el objetivo de trasladar todos los conocimientos que hay a nivel de laboratorio de las microalgas a un uso industrial real en empresas tradicionales (<https://neoalgae.es/>).

De las oportunidades de negocio identificadas, la que cuenta con mayor potencial es la obtención de productos de alto valor energético y nutritivo. Un reciente estudio (ALGAE, 2020) afirma que el mercado global de la biomasa algal está preparado para un crecimiento explosivo en los próximos diez años. De hecho, en Algae (2020) se sostiene que los EE.UU. y Europa no podrán cumplir sus objetivos de biocombustibles con únicamente cultivos de maíz, soja o colza y que la demanda a largo plazo de estos biocombustibles y la escasez de materia primas en los EE.UU., la UE y Asia originarán nuevas oportunidades para las microalgas (GREENPEACE, 2014).

Relación de impactos de los procesos con el uso de microalgas y la mitigación de ODS-Objetivos de Desarrollo Sostenible

Con la amenaza del cambio climático, la deforestación y la necesidad de alimentar una población mundial que se estima llegue a 9 700 millones en 2050, las microalgas emergen en el mercado como una solución para producir proteína de manera simple y como un superalimento por sus características nutricionales. Las microalgas producen de manera rápida y eficiente proteína y ácidos grasos de alto valor nutricional con una baja huella de carbono. Además, son fundamentales para mantener los niveles de oxígeno del planeta (Portal de la acuicultura, 2023). Según estudios las microalgas pueden producir 167 veces más biomasa que el maíz en una misma área. Pueden producir una cantidad de proteína por hectárea que supera en entre 10 y 20 veces a la de la soja (Díaz, et al., 2023).

Existen amplias ventajas de la producción de microalgas comparado con otros cultivos que son fuentes de macro y micronutrientes. Varias especies de microalgas pueden tener una elevada productividad obteniéndose entre 30 y 100 t/ha-a de biomasa algal y algunas llegan a producir entre: 5-30 t/ha-a de aceite y 15-30 t/ha-a de proteínas. Sin embargo, varios cultivos de cereales de los de mayor rendimiento agrícola no logran superar las 10 t/ha-a tales como: el maíz (9-10 t/ha-a), arroz (6-7 t/ha-a), trigo (3-4 t/ha-a), cebada (2.5-3.5 t/ha-a), avena (2-2.5 t/ha-a), centeno (2.5 t/ha-a). Estos niveles productivos se pueden lograr con el uso eficiente de efluentes de industrias de alimentos o del cultivo de hidropónicos combinados con el agua de mar como fuentes de nutrientes baratos y son sumideros de CO₂ ayudando a evitar el cambio climático (Universidad Huelva, España, 2017).

En la Tabla 2 se resume la relación entre los procesos desarrollados y su impacto en las posibles soluciones de los ODS definidos por la ONU- Organización de la Naciones Unidas en el 2015 (ONU, 2015).

Tabla 2. Relación de procesos a partir del cultivo de microalgas con posibles soluciones a los ODS definidos por ONU en 2015.

IMPACTO DE LOS PROCESOS CON MICROALGAS	ODS-Objetivo de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015)
<p>Las microalgas son un recurso renovable e inagotable, que además tiene el mayor contenido proteico del planeta. No compiten con otros recursos alimentarios pues no necesitan terrenos agrícolas para ser cultivados. Asimismo, son esenciales para la cría de muchas especies de peces y moluscos en la industria acuícola. Por último, aunque no menos importante, los productos que se comercializan son capaces de incrementar considerablemente la productividad agrícola y los rendimientos de dicha industria en todo el mundo, factor determinante a la hora de combatir el hambre. De hecho, la propia <i>European Bioeconomy Alliance</i> ya ha manifestado la importancia de los bioestimulantes agrícolas de cara a la consecución del objetivo de erradicar el hambre.</p>	<p>2 HAMBRE CERO</p>  <p>ODS 02. Hambre Cero Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.</p>
<p>Las microalgas tienen un alto porcentaje de valiosos compuestos 100 por ciento naturales que tienen un inmenso potencial de aplicación en nutrición humana y productos farmacéuticos. También conocidos como fitoplancton, son el origen de los ácidos grasos omega-3 y contienen todo tipo de vitaminas naturales y antioxidantes que mejoran la vida de quienes los consumen. Varios países desarrollados y en vías de desarrollo lideran y participan en programas de I +D +i para desarrollar alimentos de consumo masivo a base de microalgas que contribuirán a aliviar los síntomas de los síndromes metabólicos, como la obesidad, el hipercolesterolemia, la diabetes y la hipertensión.</p>	<p>3 SALUD Y BIENESTAR</p>  <p>ODS 03. Salud Y Bienestar Garantizar una vida sana y promover bienestar para todos en todas las edades</p>
<p>Los procesos de tratamiento de aguas residuales que utilizan microalgas como fijadores de metales pesados y otros compuestos son una alternativa circular muy prometedora, económica y ambientalmente, en comparación con sus contrapartes aeróbicas y anaeróbicas. Ya existen muchos procesos comerciales con proyectos de biorremediación de efluentes de otras industrias mediante la aplicación de su tecnología de microalgas (Bichos del campo, 2023; Pilco, CJ; et al., 2021; Blog del agua, 2018)</p>	<p>6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO</p>  <p>ODS 06. Agua limpia y purificación. Garantizar la disponibilidad de agua, y su gestión y purificación sostenibles, para todos.</p>
<p>Las microalgas serán las precursoras de los biocombustibles limpios e inagotables de cuarta generación. Son un recurso ilimitado para la producción de diferentes tipos de biocombustibles como el biodiesel o el bioetanol. Ya se ha alcanzado la viabilidad técnica de los biocombustibles derivados de microalgas. El siguiente paso es alcanzar la viabilidad económica, un objetivo que exige inversiones continuas en investigación y desarrollo. Algunas empresas ya han logrado producir biocombustibles sostenibles y abundantes derivados de microalgas</p>	<p>7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE</p>  <p>ODS 07. Energía asequible y no contaminante Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.</p>
<p>Según un estudio de la Comisión Europea, la biotecnología azul es uno de los sectores en los que más valor añadido se genera por empleo creado, facilitando la generación de empleo de calidad. Se pueden desarrollar industrias comprometidas con la igualdad, la inclusión, la calidad, la estabilidad y la seguridad en el lugar de trabajo.</p>	<p>8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO</p>  <p>ODS 08. Empleos decentes y crecimiento económico Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y</p>

productivo y el empleo decente para todos.

La inmensa aplicación potencial de las microalgas en diversas industrias, desde la producción de biomateriales hasta su integración en arquitecturas sostenibles, se sigue investigando. En este contexto, la apuesta por la innovación es esencial para seguir desarrollando soluciones eficientes de alto valor basadas en microalgas.



ODS 9. Industria, innovación e infraestructura

Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

Las microalgas tienen un gran potencial para contribuir a la necesaria transición hacia una economía circular, desde el tratamiento de aguas residuales hasta la explotación de las emisiones industriales de CO₂. Se apuesta por hacer de nuestro planeta un espacio de convivencia y progreso más sostenible gracias al potencial de las microalgas.



ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

Hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Las microalgas son un recurso inagotable que no compete con otras materias primas. También son renovables. Al utilizar CO₂ y luz solar, generan una biomasa de alta calidad que se puede utilizar en muchos sectores. Además, la tecnología y los procesos productivos desarrollados poseen la más avanzada del mundo, aprovechan la gran cantidad de CO₂ emitido por otras industrias como principal nutriente de las microalgas en un modelo económico circular.



ODS 12. Producción y consumo responsables

Garantizar patrones de consumo y producción sostenibles.

Las microalgas son el sistema de biofijación de CO₂ más eficiente del planeta. A través de la fotosíntesis, capturan hasta 2 kg de este gas de efecto invernadero por cada kg de biomasa producida. De hecho, las microalgas, que viven en todos los ecosistemas acuáticos, son los mayores productores de oxígeno del planeta. Aparecieron hace casi tres mil millones de años y cambiaron la atmósfera al hacerla habitable para los humanos. Según datos de la NASA, producen directamente más del 50 por ciento del oxígeno del planeta. Sin embargo, como precursores de toda la vida vegetal, también son indirectamente responsables del resto del oxígeno que existe en todo el mundo. Algunas tecnologías desarrolladas utilizan las emisiones de gases de efecto invernadero de otras industrias para cultivar microalgas en un modelo de negocio circular que es el primero a nivel mundial.



ODS 13. Acción por el clima

Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Las microalgas también conocidas como fitoplancton, son la base de la cadena alimentaria del medio acuático. Toda la vida marina depende de su existencia. Además, son esenciales para aumentar la producción de la industria acuícola. Esta es la única solución para detener la explotación de la pesca extractiva, que ya amenaza la supervivencia de muchas especies de peces.



ODS 14. Vida marina.

Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible

A diferencia de otras actividades humanas que causan deforestación y desertificación, el cultivo de microalgas no requiere una tierra fértil. Su cultivo no utiliza recursos naturales que alteren los sistemas e impacten negativamente el medio ambiente. La producción se lleva a cabo en un entorno totalmente controlado. Asimismo, las microalgas fueron las primeras colonizadoras de los desiertos y las precursoras de toda la vida vegetal del planeta.



ODS 015. Vida de los ecosistemas terrestres.

Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres.

Pertinencia de la introducción de los procesos y la biotecnología relacionados con el cultivo de microalgas en República Dominicana.

En República Dominicana se ha incursionado muy poco en la temática debido a que solo algunas instituciones como el IIBI, la UASD u otros han estudiado algunas especies para temas relacionados con la energía y la obtención de compuestos bioactivos útiles para diversos padecimientos o su uso como suplementos nutricionales (Alfonso, M. C., 2022; Vargas, A., 2022)

A continuación, se presenta la Tabla 3 donde se relacionan los procesos que involucran el cultivo de las microalgas que ya se han logrado escalar a nivel comercial con los ODS-Objetivos de Desarrollo Sostenible que logran resolver y la situación actual de esas problemáticas de Republica Dominicana.

Tabla 3. Posible vinculación de los procesos desarrollados con el uso de microalgas, los ODS que resuelven y problemáticas existentes en República Dominicana.

Procesos comerciales con microalgas	ODS que se mitigan	Problemática en RD a resolver
Tratamiento de residuales líquidos Producción de biofertilizante Captura de CO ₂ -Emisión de O ₂	6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15	79 % de los residuales líquidos no se tratan y van a los ríos y océanos afectando calidad del agua. (Reef Resilience Network, 2021; NewsLetter El caribe, 2023; IAGUA, 2023; ONE, 2022)
Producción de biomasa como alimento altamente nutritivo para humanos y animales. Producción de suplementos alimentarios de elevado valor (antioxidantes, omega 3-6-9, prebióticos, vitaminas, minerales, etc.)	1, 2, 3, 8, 9, 12, 13	Se importan más del 67 % de los alimentos que se consumen anualmente (Del Rosario, Pedro J., 2019; Informe RD, 2022) 70 % población obesa , 32.3 % padece de hipertensión y un 12 % diabetes (dieta desbalanceada) (Diario Libre, 2021) 11 % población infantil con retraso crecimiento (FAO, 2020; FAO, 2021; FAO, 2023; Informe RD, 2022) Estrategia de Desarrollo Nacional hasta el 2030 lograr ODS de hambre cero y disminuir los índices de pobreza (FAO, 2021; FAO, 2023; Informe RD, 2022) Suelos aptos para producción de alimentos es insuficiente para cubrir demanda (tasa de
Combustibles renovables, biocombustibles (biodiesel, hidrógeno, etc.)	7, 8, 9, 11, 12, 13, 15	Solo 16.7 % de la energía eléctrica que se genera es de fuentes renovables (Periódico El Dinero, 2018; CNE, 2021, 15) Solo el 5 % de los combustibles del

Captura CO₂ y emisión de O₂ en el mismo proceso

transporte automotor son de fuentes renovables (CNE, 2021; CNE, 2010)
Las emisiones de GEI en el transporte será de un 63 % en 2030 solo un 2 % inferior a la de 2010 (CNE, 2010)

Discusión

Por los avances tecnológicos que ya han logrado varios países como Estados Unidos, España, México, Japón, Australia, México, Argentina, Sudáfrica, etc., y por la necesidad que posee Republica Dominicana de avanzar de forma acelerada en la solución de los ODS para cumplir con su plan estratégico del 2030, se sugiere la incentivación del estado en la introducción los procesos relacionados con el cultivo y procesamiento de las microalgas para diversos fines como se expuso en la Tabla 3. Los organismos gubernamentales como el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología- MESCyT y Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales- MMA y RN pueden utilizar la implementación del Modelo de Quintuple Hélice (relación Gobierno-Universidad-Empresa-Sociedad y Medioambiente) (Terrones Rodríguez, AL; 2023), para su adecuada implementación.

Las universidades jugarían un rol decisivo en las transferencias de las tecnologías desarrolladas en los países líderes en esta temática y en su adaptación a las condiciones del país, acompañando a las empresas emprendedoras en la adopción de las mismas. En los países que más han avanzado estos temas, se crean bancos de cepas donde las mantienen de forma pura (es decir, evitando la contaminación con otros microorganismos). Dentro de los bancos de cepas más importantes podemos mencionar los siguientes: CCAP-UK, Banco Español de Algas-BEA-España, CIBNOR-México. Además, debido a que las cepas se manipulan en medio líquido, lo cual constituye una limitante para su intercambio entre países por la posibilidad de perder su viabilidad en el tiempo de traslado y trámites aduanales, se sugiere la necesidad de crear un banco de cepas en una o varias universidades del país. Esta acción facilitaría el acceso a las investigaciones en todas las universidades, así como de los empresarios emprendedores que inviertan en estos procesos y para los países cercanos de la región caribeña.

Conclusiones

La introducción de las tecnologías con uso de microalgas en la sociedad logra avances importantes en el cumplimiento de 11 de los 17 ODS y en la solución de los 3 retos más importantes de la humanidad y RD: alimentación de calidad, energía renovable y contaminación ambiental.

Los países que más han avanzado en el cultivo de microalgas optimizando sus recursos sostenibles son: Estados Unidos, Comunidad Europea (líderes: España, Portugal, Alemania), Reino Unido, Japón, China, Australia, India, Israel, Sudáfrica, Argentina, Chile, Brasil, México.

República Dominicana posee condiciones ventajosas para la introducción de negocios sobre la base del cultivo de microalgas tales como: elevado desarrollo profesional, infraestructura académica extensa, fuentes de sustratos de bajo costo (agua de mar, agua de salinas, residuales de agroindustria alimentaria) y un número elevado de horas de luz solar.

En RD existen proyectos de I + D + i que se han desarrollado y están actualmente en ejecución, que proporcionan evidencias sobre la pertinencia de la introducción de estos procesos. República Dominicana podría resolver problemas de alimentación de calidad (aumentar fuentes de proteínas

y reducir la importación de alimentos en un 50 %), aumentar las fuentes de energía renovable (cumplir meta de 25 % en 2030) y tratar una parte importante del 79% residuales líquidos que contaminan el medioambiente.

Recomendaciones

Implementar un banco de cepas en el sector académico del país para disponer de las que se han aislado y caracterizado en los principales bancos del mundo (CCAP del UK, BEA de España y CIBNOR en México), garantizando la disponibilidad de cepas para los proyectos de I + D + i y para los empresarios que incursionen en estas producciones.

Instituciones gubernamentales pueden incentivar en el país las investigaciones y transferencias de tecnologías relacionadas con procesos de microalgas utilizando modelo de quintuple hélice donde las universidades pueden convertirse en incubadoras para nuevas empresas emprendedoras.

Referencias

- Abdel-Raouf, N., A.A Al-Homaidan & IBM Ibraheem., 2012. Microalgae and wastewater treatment. Saudi Journal of Biological Sciences 19: 257-275. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>
- Alfonso, 2022. Alfonso Lorenzo M. C., Ramil Mesa, M., Valdés Disla, A. Proyecto aprobado por FONDOCyT-MESCyT 2022-2024. Desarrollo del potencial del cultivo de microalgas en República Dominicana para obtener biomasa de un elevado aporte nutricional para la alimentación humana y animal.
- AlgaEnergy, 2023. Productos de AlgaEnergy para el negocio de la agricultura y para fijar CO₂. España. https://www.wipo.int/ip-outreach/es/ipday/2020/case-studies/alga_energy.html
- ALGAE, 2020. Global biofuels, drop-In fuels, Biochems and Commercial Market Forcasts (2011 update). <https://www.slideshare.net/EmergingMarketsOnline/algae2020-studyand-commercialization-outlook-toc-prospectus>
- Allied Market Research, 2021. El mercado global de microalgas alcanzará los \$ 1.48 mil millones para 2028. <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/10/21/2318536/0/en/Global-Microalgae-Market-to-Reach-1-48-Billion-by-2028-Allied-Market-Research.html>
- AST-Ingeniería, 2014. "Guía: Oportunidades de negocios alrededor de las microalgas". Parque Científico y tecnológico de Gijón, España. 90 pag. www.ast-ingenieria.com
- Bichos del Campo, 2023. Argentina ya tiene en funcionamiento la primera planta de tratamiento de aguas con microalgas, capaz de filtrar hasta 12 mil litros diarios. <https://bichosdecampo.com/argentina-ya-tiene-en-funcionamiento-la-primera-planta-de-tratamiento-de-aguas-con-microalgas-capaz-de-filtrar-hasta-12-mil-litros-diarios/#:~:text=Ubicada%20en%20la%20Planta%20Depuradora%20Sudoeste%20de%20AySA%2C,m%3%A1xima%20diaria%20de%20biomasa%20microalgal%20de%20760%20gramos>
- Blog del agua, 2018. Cultivos de microalgas para tratar las aguas residuales del procesado. Universidad de Córdoba- proyecto LIFE ALGAECAN. <https://blogdelagua.com/actualidad/cultivos-de-microalgas-para-tratar-las-aguas-residuales-del-procesado/>

- Boletín agro-alimentario-FAO, 2015. Sector microalgas. 1er informe territorial de unidad de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva
- Castillo, P.; Castillo, JM., 2020. Microalgas y sus aplicaciones biotecnológicas. DOI: 10.13140/RG.2.2.15543.14247. <https://www.researchgate.net/publication/343555207>
- Chen, J., Y. Wang, J. R. Benemann, X. Zhang, H. Hu y S. Qin, 2015. "Microalgal industry in China: challenges and prospects", *Journal of Applied Phycology*, 28: 715-725. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-015-0720-4>
- CNE, 2021. Estadísticas energéticas-CNE- Comisión Nacional de Energía. Reporte de carta de compromiso con el ciudadano 2021-2023. <https://www.printfriendly.com/p/g/F6cRfL>
- CNE, 2010. Perspectivas de demanda energética en RD del 2010-2030. <https://www.cne.gob.do/archivos/documentos/76/Planificaci%C3%B3nyDesarrollo/202/ProspectivaEnerg%C3%A9tica/2290/ProspectivaDemandadeEnerg%C3%ADaRD2010-2030.pdf>
- Del Rosario, Pedro J., 2019. Importación de alimentos es del 39.4 % del total consumido. Periódico Digital Hoy, marzo 2019. <https://hoy.com.do/importacion-de-alimentos-es-el-39-4-del-total-consumido/>
- Diario Libre, 2021. República Dominicana registra alta tasa de obesidad y sobrepeso, según estudio de Salud Pública. <https://www.diariolibre.com/actualidad/salud/republica-dominicana-registra-alta-tasa-de-obesidad-y-sobrepeso-segun-estudio-de-salud-publica-FO27834144>
- Diaz CJ, Douglas KJ, Kang K, Kolarik AL, Malinovski R, Torres-Tiji Y, Molino JV, Badary A and Mayfield SP (2023) Developing algae as a sustainable food source. *Front. Nutr.* 9:1029841. doi: 10.3389/fnut.2022.1029841
- Espinosa Escalante, F., 2017. "Microalgas en la alimentación: ¿Suplementos novedosos o reinventados?". *Revista Ciencia*. Abril-junio 2017. Vol. 68, No 2. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-anteriores/articulos-fuera-de-los-volumenes-publicados-online/313-microalgas-en-la-alimentacion-suplementos-novedosos-o-reinventados>
- FAO, 2020. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Informe FAO-OMS-UNICEF 2020. <https://www.fao.org/3/ca9699es/CA9699ES.pdf>
- FAO, 2021. EN República Dominicana: Marco de programación de País (MPP) 2023-2027. <https://www.fao.org/republica-dominicana/es/>
- FAO, 2023. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Informe FAO-OMS-UNICEF 2023. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc3017en>. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Global Microalgae Market, 2021. Mercado global de microalgas por tipo (Spirulina, Arthrospira, Tetraselmis, Chlorella, Dunaliella y otros), por aplicación (alimentos, piensos y productos farmacéuticos), por región y empresas clave: perspectiva del segmento de la industria, evaluación del mercado, escenario de competencia, tendencias y pronóstico, 2016–2031. <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/10/21/2318536/0/en/Global-Microalgae-Market-to-Reach-1-48-Billion-by-2028-Allied-Market-Research.html>
- Grahl, S., et al., 2020. Alternative protein sources in Western diets: Food product development and consumer acceptance of spirulina-filled pasta. *Food Quality and Preference*, 2020. 84. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103933>

- GREENPEACE, 2014. “Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular”. <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/renovables-2050.pdf>
- Informe RD, 2022. Perfil de Sistemas alimentarios: la República Dominicana. <https://www.fao.org/3/cc0062es/cc0062es.pdf>. <https://doi.org/10.4060/cc0062es>
- IAGUA, 2023. “Contaminación de las aguas en República Dominicana”. Spain Smart Water Summit 2023. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/contaminacion-aguas-republica-dominicana>
- MEPyD Republica Dominicana, 2018. Estrategia Nacional de Desarrollo hasta 2030- END. <https://mepyd.gob.do/estrategia-nacional-de-desarrollo-2030/>
- NewsLetter El caribe, 2023. “El 79% de aguas residuales de RD termina en los océanos”. 10 septiembre 2023. <https://www.elcaribe.com.do/panorama/pais/el-79-de-aguas-residuales-de-rd-termina-en-los-oceanos/>
- ONU, 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de Desarrollo de Naciones Unidas. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- ONE, 2022. Oficina Nacional de Estadísticas- Republica Dominicana, 2022. Aguas residuales producidas, recolectadas y tratadas en Santo Domingo. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fone.gob.do%2Fmedia%2Fjbl1pwdzu%2Faguas-residuales-producidas-recolectadas-y-tratadas-en-santo-domingo-por-a%25C3%25B1o-2002-2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>
- ONE, 2023. Oficina Nacional de Estadística. Portal Interactivo de Pobreza de la República Dominicana (PIP). www.pip.one.gob.do
- Periódico El Dinero, 2018. RD solo utiliza 16.7% de energía renovable en su sistema eléctrico. <https://eldinero.com.do/65163/republica-dominicana-solo-utiliza-16-7-de-energia-renovable/#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Econom%C3%ADa%20dominicano%20inform%C3%B3%20que%20el,de%20los%20derivados%20del%20petr%C3%B3leo%20alcanz%C3%B3%20un%2070%25>
- Pilco, CJ; et al., 2021. Ciencias Ambientales- UTEQ (2021) 14(2) p 47-55. Microalgas en el tratamiento de aguas residuales generadas en industrias de Curtiembres. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.502>
- Portal de acuicultura, 2023. “Microalgas un superalimento para alimentar al mundo en 2050”. Noticias MisPeces- Estados Unidos, enero 2021. <https://www.mispeces.com/noticias/Microalgas-un-superalimento-para-alimentar-al-mundo-en2050/#:~:text=Seg%C3%BAn%20los%20distintos%20estudios%2C%20las%20microalgas>
- Reef Resilience Networt, 2021. República Dominicana - Contaminación de aguas residuales y Humedales artificiales construidos como solución. 21 de mayo de 2021. <https://reefresilience.org/es/case-studies/dominican-republic-wastewater-pollution/#El%20Desaf%C3%ADo>
- Terrones Rodríguez, AL; 2023. Modelos de Innovación Triple Hélice, Cuádruple Hélice y Quintuple Hélice. Revista Investigación y docencia. <https://www.investigacion360.com/search/label/antonio%20luis%20terrones?&max-results=15>
- Universidad de Almería, España, 2015. Maestría de Biotecnología de microalgas. <https://www.ual.es/estudios/innovaciondocente/biotecnologia-de-microalga-3-edicion>

Universidad Huelva, España, 2017. “El potencial de las microalgas en la alimentación”. Grupo biotecnología de algas, INNOVAGRO, noviembre 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=w0sh3LXzb1Q>

Vargas A., 2022. Vargas Alfaniris. Proyecto aprobado FONDOCyT-MESCyT 2022-2024. Caracterización de estructura (s) química(s) de metabolitos y perfil transcripcional de genes y/o clúster de genes biosintéticos, involucrados en la síntesis de moléculas con actividad antitumoral, antiincrustante y antimicrobiana en las cianobacterias *Hapalosiphon sp.* Y *scillatoria sp*

Autores



Ing. Marlen de la Caridad Alfonso Lorenzo MSc. (OrcID 0000-0001-5900-1786) es investigadora de UNAPEC. Master en simulación y análisis de procesos. Investigador titular de la CNI- Carrera Nacional de Investigadores de República Dominicana. Con varios proyectos de I + D + i aprobados y ejecutados en temas de energía renovable, biocombustibles, medio ambiente, industria azucarera y sus derivados, gestión de calidad e inocuidad. Contacto: malfonso@adm.unapec.edu.cdo



Ing. Marlen Ramil Mesa. (OrcID 0000-0003-0860-6368) es investigadora de la Universidad APEC, República Dominicana. Master en Análisis y Control de Procesos. Pertenece a la Carrera Nacional de Investigadores de República Dominicana. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales vinculados a la agroindustria sostenible, energía renovable, industria azucarera y sus derivados, medio ambiente. Se ha especializado en el desarrollo de tecnologías, diseño de planta, purificación y secado de productos y estudios de factibilidad económica. mramil@adm.unapec.edu.do



Dr. Alexander Valdez Disla MSc. (OrcID 0000-002-4075-155X) es profesor adjunto e investigador de UASD, República Dominicana. Maestría en alimentación y nutrición. Pertenece a la Carrera Nacional de Investigadores de República Dominicana. Ha desarrollado proyectos nacionales e internacionales de I + D + i en caracterización de macro y micronutrientes, así como principios activos de plantas endémicas con fines medicinales, y en temas medioambientales. Contacto: avaldez68@uasd.edu.do



Dr. Alejandro J. Abril González. (OrcID 0000-0002-4274-736X) Profesor/Investigador Titular de la Universidad Nacional Evangélica. Santo Domingo, República Dominicana. Docente de grado y postgrado de química y metodologías. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales. Especialista en Aprovechamiento de biomasa vegetal para la obtención de nuevos productos y la generación de energía dirigiendo investigaciones en este campo. aabril@prof.unev.edu.do



Dr. Alvin Rodríguez Cuevas. (OrcID 0000-0001-5670-7847). Director de Investigación y Docente-Investigador de la Universidad APEC República Dominicana. Pertenece a la Carrera Nacional de Investigadores de República Dominicana. Docente de la Carrera de Industrial. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales vinculados a energía renovable. Coordinador de la Red Universitaria de Sargazo y Presidente de la Red Ambiental de Universidades Dominicanas. arodriguez@adm.unapec.edu.do