

UNA EXPERIENCIA DE ACUAPONÍA EDUCATIVA PARA EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS STEAM

An educational aquaponics experience for the development of STEAM competences

Carolina Manrique Torres

© <https://orcid.org/0000-0003-1314-7397>
 ✉ carolinamanriquet@usantotomas.edu.co
 Universidad Santo Tomás (Colombia)

Juana Yadira Martín Perico

© <http://orcid.org/0000-0001-5416-1393>
 ✉ juanamartin@usantotomas.edu.co
 Universidad Santo Tomás (Colombia)

Bernardo Garibello Suan

© <https://orcid.org/0000-0003-0366-4710>
 ✉ bernardogaribello@usantotomas.edu.co
 Universidad Santo Tomás (Colombia)

Alexi Mono Castañeda

© <https://orcid.org/0000-0002-4190-4028>
 ✉ aleximono@gmail.com
 Universidad Santo Tomás (Colombia)

Paulo Germán García Murillo

© <https://orcid.org/0000-0003-4086-0489>
 ✉ paulogarcia@usta.edu.co
 Universidad Santo Tomás (Colombia)

Julio Alejandro Franco Ortega

© <https://orcid.org/0000-0002-3836-8535>
 ✉ franco.julio@uniagraria.edu.co
 Fundación Universitaria Agraria de Colombia

Resumen

En los procesos formativos de instituciones de educación básica y media, frecuentemente, el aprendizaje se desarrolla de una manera fragmentada, lo que ocasiona que los estudiantes no comprendan problemas de su contexto. El presente trabajo propone el desarrollo de una guía integradora sobre el diseño mecánico y semiautomatizado de un prototipo de producción acuapónica que potencie competen-

Cita este capítulo

Manrique Torres, C; Garibello Suan, B; García Murillo, P. G; Martín Perico, J. Y; Castañeda Mono, A; Franco Ortega, J. A. (2022). Una experiencia de acuaponia educativa para el desarrollo de competencias STEAM. En: Portilla Portilla, M. (Ed. científica). *Pensamientos y saberes contemporáneos en educación y pedagogía* (pp. 217-252). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

cias STEAM, de sostenibilidad y de ciudadanía. Se utilizó un método mixto preexperimental y cualitativo. Los resultados presentados se refieren a las fases de contextualización del problema a partir de una guía integradora que permitió desarrollar actividades integrando diferentes campos del pensamiento en el colegio Gabriel Betancourt Mejía, sede B, con estudiantes de 10 grado de secundaria. La implementación del modelo acuapónico educativo permitió incentivar la creatividad, el trabajo colaborativo, la cultura del prototipado, la capacidad de percibir y comprender la ciencia como respuesta a problemas socio ambientales y de seguridad alimentaria.

Palabras clave: participación del ciudadano; solución de problemas; trabajo en equipo; proceso de aprendizaje; integración escolar.

Abstract

In the formative processes of basic and secondary education institutions, learning often develops in a fragmented way, which causes students not to understand problems in their context. The present work proposes the development of an integrative guide on the mechanical and semi-automated design of an aquaponic production prototype that enhances STEAM, sustainability and citizenship competencies. A mixed pre-experimental and qualitative method was used. The results presented refer to the phases of contextualization of the problem from an integrative guide that allowed the development of activities integrating different fields of thought in the Gabriel Betancourt Mejía school, campus B, with students from the 10th grade of secondary school. The implementation of the educational aquaponic model allowed to encourage creativity, collaborative work, prototyping culture, the ability to perceive and understand science in response to socio-environmental and food safety problems.

Keywords: citizen participation; problem solving; teamwork; learning process; school integration.

Introducción

Actualmente, los estudiantes enfrentan riesgos socioeconómicos, en particular, se considera que en Colombia el 54 % de los hogares presenta riesgos de seguridad alimentaria, y de esta cifra el 22 % se ve afectado por un nivel de moderado a severo, lo cual evidencia que la calidad y la cantidad de alimentos se ven comprometidas para cumplir el propósito de alimentación y nutrición de las unidades familiares colombianas (DAES, 2017). Lo anterior, de acuerdo con datos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, (ICBF) provoca impacto en los siguientes indicadores de los jóvenes de la ciudad de Bogotá: de la población entre 5 y 12 años, un 7 % tiene retraso en talla de crecimiento y un 28 % padece problemas de exceso de peso, y en la población de 13 a 17 años, un 8,5 % tiene retraso en talla de crecimiento y un 16,5 % sufre problemas de exceso de peso (ICBF, 2015).

El estado y el cambio alimentario se convierten en un recurso para observar y evaluar la política agraria, así como para realizar seguimiento a la seguridad alimentaria (Herrán et al., 2020). De acuerdo con estos autores: “El ajuste de las políticas de alimentación y nutrición debe, además, considerar la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero” (p. 22). Por lo tanto, el problema se articula adicionalmente con otras causas basadas en que, en Colombia, los niveles de desigualdad y aumento de la pobreza se habían mantenido controlados, incluso habían mejorado gradualmente hasta el 2018. Sin embargo, luego de la crisis de la covid-19, los impactos negativos se han visto reflejados en muchos sectores, de manera que se han vuelto a profundizar problemas antiguos relacionados con los megaproyectos de producción alimentaria, minería y producción de energía, lo que ha producido impactos ambientales relacionados con la pérdida de diversidad biológica, uso del recurso agua, contaminación, desertificación, aumento de la frontera agrícola, sumados al abandono de las tierras por parte de los campesinos (Naciones Unidas/CEPAL, 2019).

Lo anterior se ha visto reflejado en los patrones de consumo alimentario de los niños y jóvenes del país. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Situación Nutricional (ENSIN), “La prevalencia de consumo de leche, carne, atún, vísceras, leguminosas, pan, tubérculos, azúcar, gaseosas y alimentos fritos disminuyó, al igual que la de verduras y frutas” (Herrán et al., 2020, p. 24). Así mismo, es de resaltar que el consumo de carne de pescado se concentra en atún, un alimento enlatado.

Por otra parte, Bogotá es una ciudad con un papel altamente estratégico en el análisis y desarrollo de soluciones a este problema. Los fenómenos de desplazamiento de población nacional tienen en general como foco central la capital de la república; a ello se suma el proceso de migración de población venezolana que cada día aumenta y cuyo foco principal es la ciudad de Bogotá. En este sentido, es importante no solo concientizar a docentes, padres y estudiantes del alto riesgo de la inseguridad alimentaria y nutricional, sino proponer espacios innovadores que permitan que las comunidades educativas construyan procesos de gestión de conocimiento científico, teniendo como referente sus problemas sociales más críticos. El fortalecimiento de competencias relacionadas con el pensar, crear, diseñar, evaluar y experimentar es indudablemente una tarea urgente para el sistema educativo de la ciudad de Bogotá.

Lo anterior se suma a aspectos estructurales relacionados con la formación de los estudiantes, detectados gracias a los procesos de seguimiento y evaluación pedagógica realizados por diversas organizaciones mundiales, ministerio de educación nacional y los agentes educativos del colegio, los cuales se pueden resumir en cinco aspectos fundamentales: i) los insuficientes procesos que llevan a la alfabetización científica como estrategia para preparar a los estudiantes a dar solución a problemáticas propias o del entorno ; ii) la tendencia de los estudiantes por continuar sus estudios en áreas alejadas del campo científico y tecnológico; iii) el bajo desempeño académico de niños y jóvenes en el área de las ciencias, de acuerdo con los puntajes míni-

mos de pruebas estandarizadas como PISA, Comprender, Saber, entre otras; iv) los escasos recursos didácticos de los que disponen las instituciones para el desarrollo de las competencias científicas, cómo laboratorios, *software*, materiales de aprendizaje, etc., y v) la escasa inversión en innovación y desarrollo que promueve el Estado, lo cual permea las instituciones educativas por cuanto limita la generación de tecnologías (Genello et al., 2015; OEA, 2015; García-Peñalvo, 2016; Perales y Aguilera, 2019; Pérez Lasprilla, 2019).

Los problemas mencionados justifican el desarrollo del presente proyecto, dado que permite articular las necesidades de los niños y jóvenes en su entorno social y familiar con los aprendizajes adquiridos en la escuela. Es así que el desarrollo de un sistema acuapónico semiautomatizado que potencia competencias STEAM (siglas de *Science, Technology, Engineering, Arts & Mathematics*), de sostenibilidad y de ciudadanía, implementado como estrategia didáctica por medio de guías integradoras, interacción con el diseño y construcción del modelo y con el desarrollo de actividades que integran a los actores educativos (padres, estudiantes, directivos, profesores), se convierte en una estrategia de innovación necesaria para la educación, el medio ambiente y el sector productivo.

La metodología de desarrollo del proyecto se enmarca en los estudios de tipo explicativo con enfoque mixto desarrollado en dos diseños: el preexperimental como estrategia de aplicación de los tratamientos y el diseño descriptivo como alternativa para caracterizar una realidad teniendo en cuenta sus principales componentes (Hernández et al., 2018), los cuales se desarrollaron en las siguientes fases: documentación, presentación del proyecto integrador, puesta en marcha del proyecto integrador, diseño del prototipo educativo acuapónico, construcción del prototipo educativo acuapónico, desarrollo de la automatización del modelo, evaluación pedagógica del proyecto y análisis de pertinencia del modelo acuapónico.

Se trabajó con dos grupos de estudiantes de 10.º grado del Colegio Educativo Distrital Gabriel Betancourt Mejía, de la localidad de Kennedy, ciudad de Bogotá, que conformaron una muestra de 75 estudiantes con quienes se desarrolló el proyecto. Por la naturaleza de este, ha sido fundamental el diseño de un protocolo bioético que marque los límites y cuidados fundamentales en el manejo de especies animales y vegetales ejercidos por todos los participantes del proyecto.

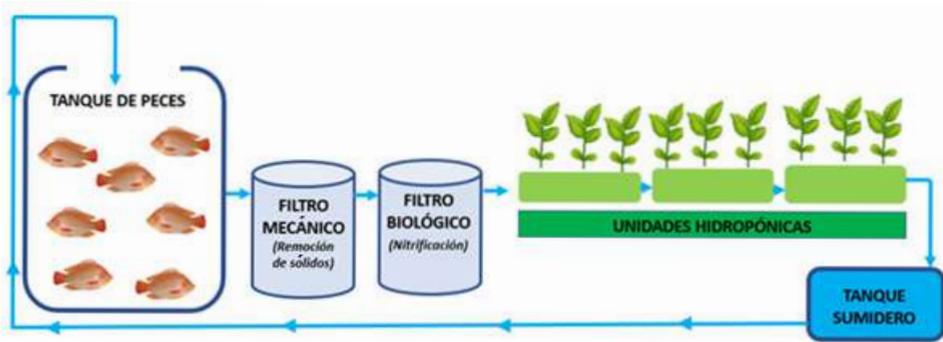
Modelos acuapónicos educativos sostenibles

Acuaponía

En la producción de alimentos, la acuaponía se perfila como un modelo alternativo de producción. Combina la acuicultura y la hidroponía, en la que los desechos excretados por los peces en el agua son filtrados para realizar procesos biológicos (nitrificación), de manera que se conviertan en nutrientes para las plantas, las cuales purifican y permiten reciclar el agua (Merlín Cosmes y Martínez Yáñez, 2015). El ciclo que inicia con el cultivo piscícola permite recuperar los restos de este primer proceso y transformarlos en nitratos y otros compuestos necesarios para el crecimiento de diferentes especies vegetales (Goddek et al., 2015; Rakocy et al., 2016).

Los sistemas acuapónicos se pueden diseñar de diferentes formas y dimensiones según el terreno y las necesidades particulares; sin embargo, es fundamental seguir un modelo general de diseño que permita la adecuada circulación del agua para que funcione. El sistema puede tener uno o más contenedores de peces, seguido de un contenedor que garantice la remoción de sólidos, al cual se conecta otro contenedor con área adecuada para el proceso de biofiltrado, lo que da paso a la articulación de las unidades donde van a crecer los vegetales (o unidades hidropónicas). Finalmente, el sistema cierra su ciclo con un colector de agua en un nivel más abajo, donde por lo general se instala la bomba que facilita la circulación del agua al sistema para trasladarla ya filtrada a los contenedores piscícolas nuevamente. Ver figura 1.

Figura 1. Estructura del modelo acuapónico básico.



Fuente: elaboración propia.

Acuaponía y sostenibilidad

El crecimiento de la población ha generado durante los siglos XX y XXI desafíos a nivel mundial sobre el medio ambiente, favoreciendo el avance del paradigma del desarrollo sostenible (Moreno-Camacho et al., 2019). Esto se ve reflejado en los problemas de manejo y aprovechamiento del agua como recurso principal para la vida y producción de alimentos, sumados a una alta tasa de degradación de los suelos por el uso indiscriminado de agroquímicos, los efectos del cambio climático, malas prácticas de uso, entre otros, los cuales amenazan la sostenibilidad de las cadenas agroalimentarias y los ecosistemas naturales de las ciudades y regiones (Bockstaller et al., 2009; Naciones Unidas-CEPAL, 2021). Dicho paradigma obliga a cambiar el desarrollo basado en el crecimiento económico sin límites, hacia un modelo que respete los recursos que el planeta ofrece, escenario donde ciudades como Bogotá realizan un papel fundamental. (Montoya et al., 2020; Andreucci et al., 2021).

En este contexto, la sostenibilidad está relacionada con todas las actividades que mantendrán un sistema social, económico y ambiental por un largo tiempo. Por consiguiente, poner en práctica los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) se convierte en la mejor opción para mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos. Estos se con-

vierten en puntos esenciales de la agenda y prospectiva del crecimiento (Naciones Unidas, 2021). Al respecto, la perspectiva metropolitana y regional de Bogotá beneficia, en muchos casos, el fortalecimiento de estrategias de coordinación interinstitucional e intermunicipal para la sostenibilidad, desde un enfoque regional urbano teniendo en cuenta el entorno e identificación de sus problemáticas.

Lo anterior ha requerido el desarrollo de pautas y principios para evaluar los componentes de sostenibilidad, con el propósito de supervisar y controlar el progreso del desarrollo sostenible, como los propuestos por Doualle *et al.*, (2015), donde se incluyen, por ejemplo: la preservación de los espacios naturales y la biodiversidad, el uso de los recursos renovables agua y suelo, el impacto de las emisiones y las amenazas.

Los sistemas de producción acuapónica se consideran como una alternativa de solución para la producción de alimentos sostenibles que sigue los principios de la economía circular y el sistema natural biomimético para reducir la entrada y los desperdicios. Contribuye al crecimiento sostenible de la agricultura intensiva (Tyson *et al.*, 2011; Joly *et al.*, 2015; Vermeulen y Kamstra, 2013). Y son una de las formas de agricultura más sostenible (König *et al.*, 2018; Palm *et al.*, 2018). Algunas experiencias realizadas en Colombia corroboran esta perspectiva de sostenibilidad; esto se puede comprobar en las investigaciones de Aguirre *et al.* (2018), Colorado y Ospina (2019), Riaño-Castillo *et al.*, (2019) y Sarmiento-Guevara (2020).

Desde el punto de vista medioambiental, los sistemas acuapónicos evitan la salida de efluentes contaminantes de la acuicultura a los sistemas naturales, fomentan la producción de especies piscícolas comerciales, lo que reduce la pesca de captura que impacta los ecosistemas circundantes, promueve el uso de agro insumos y antibióticos alternativos no contaminantes; así se transita a una producción más limpia y se contribuye positivamente al cumplimiento de la agenda 2030 y los ODS (Naciones Unidas-CEPAL, 2019).

La acuaponía aporta a la diversificación de las economías sostenibles mediante dos productos principalmente: carne y verduras. Este sistema encamina a los productores acuícolas hacia al mercado de los vegetales, y a los productores de verduras y hortalizas hacia el mercado piscícola, de tal forma que se generan estrategias integradas de producción y comercialización de los productos con un enfoque más sustentable (Goddek et al., 2015). En general, estos sistemas representan un modelo ecológico sostenible y tienen oportunidad de obtener sellos verdes de producción y mercado. Para obtener su registro deben cumplir con la mayoría de las condiciones establecidas en cada componente de sostenibilidad (medio ambiente, economía y sociedad).

La acuaponía presenta una oportunidad potencial para la participación de los jóvenes en la práctica y el desarrollo de la agricultura sostenible, lo que podría ser un buen aporte para la libertad y el desarrollo económico sostenible (USAID, 2013). Así mismo, presenta una oportunidad de producción, comercialización y consumo de alimentos sanos y nutritivos que genera una ventana de oportunidades para una sociedad que cada vez entra en un riesgo más alto de inseguridad alimentaria (Schinca, 2009).

La acuaponía vista desde la seguridad alimentaria

En el actual contexto de la pandemia por covid-19 se destacó la necesidad global urgente de mejorar la seguridad alimentaria. En este sentido, Naciones Unidas remarcó que la pandemia desencadenaría una crisis de seguridad alimentaria no vista desde la Gran Recesión (Tiensin et al., 2020). Por tanto, frente a la inminente amenaza de inseguridad alimentaria, las ciudades y los ciudadanos ya no pueden depender de métodos de cultivo que utilicen técnicas agrícolas tradicionales. La adopción de sistemas más creativos y tecnológicamente más avanzados, como la acuaponía, permite la maximización de los recursos alimenticios.

Al respecto, la política pública de seguridad alimentaria y nutricional del departamento de Cundinamarca 2015-2025, sumada a la política pública de seguridad alimentaria de Bogotá (Conpes, 2008), priorizan reducir la inseguridad alimentaria de la población mejorando las condiciones para la disponibilidad y el acceso a los alimentos, el consumo adecuado en suficiente cantidad, con calidad e inocuidad que permitan el aprovechamiento biológico de aquellos, con la finalidad de garantizar el derecho a la alimentación bajo la perspectiva regional. Estos documentos afirman que “Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana” (FAO et al., 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, los productos alimenticios resultantes del proceso de acuaponía brindan una excelente oportunidad de contribuir con la seguridad alimentaria. La acuaponía podría abordar la soberanía alimentaria si los sistemas se implementaran como programas locales con participación de ciudadanos como propietarios de los sistemas, para que así tengan un mayor control de la alimentación que consumen, y a su vez contribuiría a mejorar el estado alimentario y nutricional de las sociedades (Somerville et al., 2014). Es bien conocido que la carne de pescado contiene una variedad de nutrientes esenciales, como una alta proporción de proteínas de calidad. Así mismo, las grasas contienen mayores concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados omega-3, 6, 9. Además, posee selenio, taurina y vitamina D (Birgisdottir et al., 2012; Torris et al., 2018; Van Hecke et al., 2019), que contribuyen a múltiples beneficios para la salud humana. Estas propiedades nutraceuticas del pescado tienen beneficios anti-trombóticos, antiinflamatorios, antioxidantes, antiadipogénicos, anticáncer, neuroprotectores y con efectos antiarrítmicos, por nombrar algunos (Knapp et al., 1986; Peng et al., 2019; Oliveira et al., 2019).

La Agencia de Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA) de Estados Unidos ha emitido recomendaciones sobre el consumo seguro de pescado para niños pequeños, madres que amamantan y mujeres embarazadas (Voelker, 2017). El aumento del consumo de carne de pescado en 20 g/día aporta nutricionalmente y disminuye el riesgo de cáncer gastrointestinal en 2 %, en 6 % de cáncer de hígado y en 5 % de cáncer al cerebro (FAO, 2014; Li et al., 2020). Los sistemas acuapónicos han empleado diferentes especies piscícolas de alta aceptación, como tilapia (*Oreochromis sp*), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), carpa (*Cyprinius carpio*), algunos bagres como el africano (*Clarias gariepinus*), entre otras.

En cuanto a los vegetales, casi que cualquier planta puede crecer en estos sistemas; sin embargo, los que mejor se adaptan son los de hojas verdes, principalmente variedades de lechugas, que tienen un ciclo de producción corto, se dan más cosechas por año y crecen más plantas por metro cuadrado cultivado (Beltrano y Giménez, 2020; Birgi, 2015). También variedades de tomates, chiles, pepinos, e incluso frutas como melones, contribuyen a la nutrición por sus aportes en cuanto a vitaminas (A, B, C, E, K) y minerales (K, Fe, Ca, Mg), así como variedad de plantas aromáticas y medicinales que también contribuyen al bienestar y la salud.

El Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia incentiva el consumo de estos alimentos, principalmente por sus beneficios asociados a la reducción en los niveles de colesterol, mejoramiento del tránsito intestinal, disminución de los niveles de azúcar sanguíneo y contribución a la eliminación de toxinas. De igual modo, aumentan la sensación de saciedad, con lo cual se evita la mala alimentación produciendo sobrepeso y la obesidad (MinSalud, 2015). La implementación de la acuaponía urbana como una estrategia presenta una oportunidad perfecta y conveniente para contribuir a mejorar la seguridad alimentaria, nutricional y de bienestar.

Acuaponía y educación STEAM

El modelo STEAM se viene consolidando como una tendencia pedagógica que pretende aportar solución a la fragmentación del conocimiento que se da de manera tradicional y recurrente en las instituciones de educación básica y media, con repercusiones en la superior. Esto lleva a que los niños y jóvenes que hoy se forman no tengan los elementos de análisis, observación y conceptualización suficientes que les permitan desarrollar una visión integrada del conocimiento aprendido por áreas y campos de conocimiento y, consecuentemente, tengan pocas posibilidades de enfrentar los retos actuales (Ávila, 2022). En este sentido, STEAM se convierte en una estrategia para agrupar las áreas del conocimiento como un todo integrado, a fin de desarrollar una novedosa manera de aprender para comprender y atender las necesidades caóticas, impredecibles y complejas del contexto (Santillán Aguirre et al., 2019; Perales y Aguilera, 2019). La integración de las artes en la educación STEAM posibilita escenarios que conducen a un nuevo marco de aprendizaje, que interconecta las problemáticas reales, la motivación por conocer y aprender, la curiosidad y la creatividad (Cilleruelo y Zubiaga, 2014), con lo que se vislumbra la reestructuración de las propuestas curriculares, que interconecta los saberes de formas que tradicionalmente han sido consideradas incompatibles.

Ante este desafío, la educación debe diseñar ambientes de aprendizaje donde se trabaje hacia la construcción de conceptos significativos por su relevancia y utilidad en los contextos próximos de los estudiantes. En este sentido, los modelos de acuaponía como didáctica muestran un escenario importante para la ejecución de técnicas integradoras novedosas que permiten, entre otros (Oliva, 2017; Scaglione et al., 2019):

- Favorecer el desarrollo de competencias: a) matemáticas y la interacción con el mundo físico, químico y biológico, b) instrumentales (tratamiento de la información), digitales, comunicativas, sociales y pedagógicas para aprender a aprender.

- Generar un modelo de autoaprendizaje real de producción sustentable con el medio.
- Propender a la interacción con el conocimiento científico de manera sencilla; se logra así una cohesión entre el profesor (orientador) y el estudiante, para identificarse dentro del proceso de aprendizaje.
- Actuar como una herramienta que facilita el aprendizaje por medio de relaciones que tienden al aprendizaje transdisciplinar.

La acuaponía mediada por tecnologías NBIC

De acuerdo con Ortega (2017), la demanda de alimentos para la población del planeta es cada día mayor. Se estima que en el año 2050 la población supere los 9.000 millones de habitantes. Esto implica acelerar en un alto porcentaje la productividad; sin embargo, la escasez de espacios, de recursos y la contaminación de los suelos llevan a repensar las maneras de producir alimentos y generar alternativas apalancadas por las tecnologías convergentes: nanotecnología, biotecnología, informática y ciencias cognitivas, denominadas NBIC, y a generar una conciencia de productividad con energías amigables para el ecosistema.

Para la sociedad actual, la seguridad alimentaria es incierta; sin embargo, desarrollar proyectos que contribuyan a equilibrar la productividad de alimentos con emprendimientos como la acuaponía sugiere optimizar espacios, controlar el consumo de energía, cuidar el ambiente, generar conciencia alimentaria sostenible y producir comida en tiempos cortos manteniendo equilibrio entre la inversión y la producción. El componente tecnológico permite articular los saberes relacionados con la producción de alimentos, la optimización de recursos (espacio, energía, diseños, nutrientes, entre otros) y el conocimiento sobre tecnologías.

Es así como el modelo STEAM y las prácticas académicas toman mayor fuerza en la escuela, dada su contribución frente al desarrollo de

una cultura interesada en el cuidado del ambiente, el cultivo de alimentos saludables y en cerrar la brecha relacionada con la desnutrición, el acceso a la educación y otro tipo de impedimentos de índole sociodemográfica en las ciudades. La escuela se visualiza como el espacio propicio para incentivar esta nueva manera de cultivar, generar alimentos saludables y por supuesto crear cimientos de productividad de alimentos en espacios reducidos con producciones altas, de manera que se incentive a la sociedad colombiana para que participe de las nuevas estrategias de seguridad alimentaria impulsada por las nuevas tecnologías en el país.

Desde la perspectiva de las tecnologías y el modelo STEAM, los niños desarrollan diseños, prototipos, procesos y controlan el factor económico, dado que monetizan cada proceso y controlan la inversión para hacer un modelo sostenible económicamente. Según Jiménez (2016), incentivar la articulación de tecnologías en los espacios académicos permite fortalecer los aspectos relacionados con la investigación en la escuela, pues se incentiva al niño para investigar sobre la práctica, experimentando, creando, diseñando y aplicando un proceso de aprendizaje significativo donde el maestro asume el papel de un facilitador que integra al mismo tiempo el desarrollo curricular con las prácticas pedagógicas en el campo de la experimentación.

Metodología

El presente texto se inscribe dentro de los estudios de tipo explicativo con método mixto que se desarrolló considerando dos momentos: el preexperimental y el diseño descriptivo. Para su ejecución se propusieron siete fases:

La primera correspondió a la *documentación*, que comprende la recolección y selección de la información, así como el análisis e interpretación de los datos. Se continuó con la segunda fase referente a la *presentación del proyecto integrador*, en la que se evaluó la guía

metodológica ante expertos, para su análisis, evaluación y posterior validación. Posteriormente, se dio la fase de la *puesta en marcha del proyecto integrador*, en la que se dieron a conocer a los estudiantes los pormenores del estudio a fin de involucrarnos en el proceso. Luego se llevó a cabo la cuarta fase que consistió en el *diseño del prototipo educativo acuapónico*, el cual se estructuró en concordancia con las estipulaciones técnicas, éticas, pedagógicas y metodológicas, derivadas de la planeación y revisión teórica.

Seguidamente, se continuó con la fase de *construcción del prototipo educativo acuapónico*, ubicado en la huerta de las instalaciones del colegio Gabriel Betancourt Mejía, con las especificaciones técnicas y de bioseguridad aclaradas en el diseño. Luego de asegurar el funcionamiento del biosistema se procedió a la fase de *desarrollo de la automatización del modelo*, en el que un *hardware* envía señales de las variables físicas a una interfaz en *Python*, y con ello se logró la semiautomatización de los procesos del proyecto acuapónico, para controlar las variables y garantizar la supervivencia de las especies animales y vegetales.

Vale la pena aclarar que en este momento se está aplicando la fase de *evaluación pedagógica del proyecto*, cuyo objeto está centrado en la realización de estrategias de investigación; por ejemplo: observación, análisis y medición de los aspectos que permiten evidenciar las competencias STEAM que se han desarrollado hasta este punto, todo ello mediante aprendizaje basado en resultados.

Guía integradora

La guía integradora es un instrumento que permite abordar las diversas dimensiones del proyecto mediante la conformación de equipos de trabajo en los cuales cada docente aporta activamente desde su área de formación, propuestas y análisis de posibilidades de trabajo con los estudiantes en cada fase del estudio. El desarrollo de este instru-

mento partió de la realización de una reunión con docentes del colegio e investigadores para proponer su estructura, que se fundamentó en el modelo de educación STEAM, y para lo cual se propusieron tres componentes internos (pedagógico, tecnológico y sostenibilidad/seguridad alimentaria), tomando como punto de partida los contenidos de los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) –emanados del Ministerio de Educación–, las fases, las actividades, las preguntas integradoras y los contenidos programáticos, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Estructura general de la guía integradora.



Fuente: elaboración propia.

Se desarrollaron tres jornadas de trabajo con la participación de los profesores que manifestaron interés en involucrarse en la implementación del proyecto integrador y que para el año 2021 tuvieron cargas académicas en el grado 10.º, en las áreas de matemática, ética, gestión empresarial, química, física, ciencias sociales, español, tecnología, educación física y artes. Lo anterior garantiza la no existencia de

grupos preformados. Las guías permitieron desarrollar actividades integradas dentro de las áreas; así se optimizó el trabajo de los estudiantes al relacionar de esta manera los contenidos con su espacio de interacción, lo cual permite que identifiquen la ciencia no como algo específico, sino como aquello que les facilita observar, comprender e interactuar con su entorno.

Brindar estos espacios académicos donde los estudiantes tienen la oportunidad de superar las barreras entre la parte conceptual y la aplicación de conceptos los orienta a conectar saberes y, así, enriquecer su proceso de aprendizaje, sobre todo si se realiza mediante un trabajo enfocado a solucionar problemas que caracterizan y afectan a su comunidad (Secretaría de Innovación y Calidad Educativa, 2017).

Fases de desarrollo de la guía integradora

En la guía se trabajaron las tres fases: la de diseño y construcción, la de ejecución y la de evaluación y socialización. La primera, se centra en un taller de contextualización que busca enmarcar los aspectos clave del proyecto acuapónico planeado. Igualmente, se establecen momentos de sensibilización, empatización, definición de necesidades y generación de ideas por parte de los estudiantes participantes, talleres de prototipado, de testeo, entre otros. Así mismo, diversas preguntas integradoras enfocadas al aspecto contextual de reconocimiento del proyecto desde las diversas áreas inmersas en este.

La segunda fase comprende el momento de la puesta en marcha o ejecución del proyecto de acuaponía. Aquí, los estudiantes llevan a la práctica los conocimientos teóricos desde las áreas STEM aprendidos en la fase anterior. Los participantes realizan actividades de observación, indagación, medición, diseño, elaboración y/o construcción, revisión y cálculo de datos, tecnologías, propiedades físicas, de ingeniería y artísticas, así como de los instrumentos, aparatos e incluso la realización del seguimiento del sistema acuapónico y de los seres vivos que interactúan en él.

Por último, en la fase de socialización y evaluación se muestran los resultados del proyecto, se lleva a cabo un taller de prospectiva, un concurso y una feria como prueba de la ejecución del proyecto acuapónico en el que los estudiantes vinculan los peces y hortalizas de este. Esta fase se caracteriza por compartir las socializaciones respectivas con la comunidad.

Cada fase cuenta con varias preguntas integradoras que, desde las diversas áreas del conocimiento, permiten a los estudiantes identificar distintas situaciones del contexto, articulando el sentido de identificación de problemáticas desde una mirada transdisciplinar (Chávez Cáceres, 2016).

Resultados

A continuación, se exponen los resultados organizados de acuerdo a los objetivos. Primero, se explican las acciones académicas desarrolladas para la planeación, socialización e implementación del modelo STEAM en el colegio objeto de estudio; posteriormente se presentan las fases correspondientes al desarrollo de prototipo acuapónico semiautomatizado y luego se muestran las estrategias de sostenibilidad y seguridad alimentaria para la manutención del biosistema.

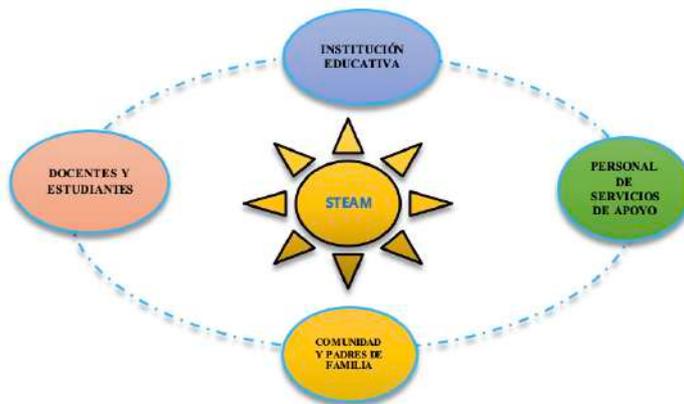
Planeación e implementación del modelo acuapónico como estrategia de aprendizaje integrado

La implementación del modelo STEAM en el colegio Gabriel Betancourt Mejía se asumió como un proceso que involucró a toda la comunidad educativa, lo que permitió que se generara un trabajo integrado y constituido por todos los actores, visibilizando a la institución como un ente formador desde la promoción de proyectos académicos, artísticos y de emprendimiento, como es el caso del prototipo acuapónico actual. Para su desarrollo se definieron aspectos como:

Los actores

Para implementar el modelo STEAM en la institución, se tomó como punto de partida la cohesión entre todos sus actores; el primero, la *institución educativa*, se encargó de gestionar todo lo relevante a la integración del modelo desde la coordinación y organización institucional; el segundo, los *docentes*, que integraron los componentes del modelo, a partir de la conformación de equipos interdisciplinarios de trabajo entre las mismas áreas y diferentes, haciendo partícipes a todos los actores de la comunidad educativa, quienes se apropiaron gradualmente de los procesos de enseñanza y aprendizaje, que se hicieron protagonistas al generar planes de trabajo y ejecución; el tercero, la *comunidad y la familia*, quienes ofrecieron mano de obra, diversos recursos recirculantes o herramientas para facilitar o desarrollar procesos dentro de cada etapa; y cuarto, el *personal de servicios* que interactúa con el modelo como ente regulador de normas de convivencia y bioseguridad.

Figura 3. Los actores y la implementación del modelo STEAM.



Fuente: elaboración propia (Adaptación de Santillán Aguirre et al., 2019).

Estrategias de implementación del modelo

Se inició con el *diálogo de saberes* entre funcionarios administrativos y profesores, en el cual se dio a conocer el modelo STEAM mediado

por el sistema acuapónico y sus beneficios curriculares en términos de la integración de saberes, el desarrollo de proyectos, el trabajo colaborativo y transdisciplinar; se exaltaron los elementos de tipo didáctico como los observacionales, experienciales e interactivos; igualmente, el valor del modelo en términos de fomentar la cultura del prototipado (observación, ejecución y evaluación), y se estableció la importancia de la integración de las áreas, aclarando que no solo se integran las que contiene el acrónimo, sino también las que por su estructura curricular y temática sea pertinente incluir. Posteriormente, se realizó la *integración curricular, de seguimiento y evaluación*, trabajo realizado entre el rector, coordinadores y docentes, a fin de integrar el modelo a los microcurrículos de acuerdo a los DBA, el PEI del colegio y las necesidades particulares de los estudiantes y docentes. Se definió el cronograma de actividades generales de la institución articulada a los procesos de desarrollo del modelo STEAM mediado por el sistema acuapónico, en el que se establecieron las actividades, aportes y roles a asumir por cada persona vinculada a la ejecución del modelo.

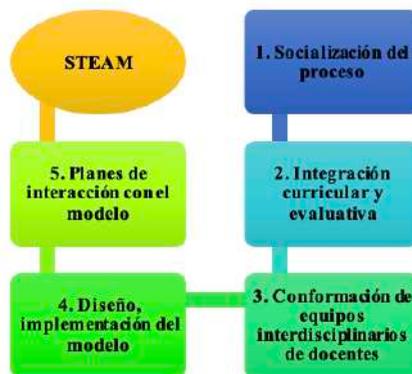
Luego se siguió con la *conformación de equipos interdisciplinarios de docentes*, quienes, con la asesoría del grupo de investigadores, establecieron el planteamiento y vinculación de contenidos entre las diversas áreas, para así llegar a acuerdos de contenidos puntuales que permitieron generar actividades integradoras. En seguida se continuó con el *diseño del ambiente de aprendizaje basado en el modelo STEAM*, según las necesidades institucionales, tomando como base la guía integradora desarrollada y propuesta por el grupo de investigación. Este trabajo permitió establecer los contenidos asociados al proyecto, las estrategias didácticas de ejecución y el plan de trabajo para ejecutar las actividades por periodo académico y las rúbricas de evaluación.

Finalmente, se acordaron los *planes de interacción con el modelo*, en los cuales se tuvieron en cuenta necesidades organizacionales y se establecieron visitas de los docentes, visitas de los estudiantes, eje-

cución de actividades de observación, experimentación e inferencia, elaboración de informes y sustentaciones, reuniones con docentes para evaluar resultados parciales, así como la aplicación de talleres y cuestionarios que permitieron identificar los conocimientos previos de los estudiantes en términos de los saberes propios de las áreas, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria en modelos acuapónicos e ir realizando ajustes a diferentes partes de la guía integradora propuesta inicialmente.

Como parte de estos planes, se realizó la llamada “actividad de mentoría” mediante la cual los estudiantes de grado décimo involucraron a los estudiantes de preescolar en el proyecto, desde la planeación que ellos propusieron para realizar la contextualización correspondiente, visitas de observación, solución de dudas y explicación de conceptos, temas y nociones que el modelo acuapónico permite trabajar teniendo en cuenta sus edades y proceso académico y cognitivo. Los estudiantes de grado décimo diseñaron esta actividad después del trabajo que realizaron desde la integración de las áreas para apropiarse de las etapas de construcción y funcionamiento del prototipo y de la comprensión de conceptos propios de sostenibilidad y seguridad alimentaria.

Figura 4. Fases de implementación del modelo STEAM.



Fuente: elaboración propia.

Diseño y desarrollo del prototipo bajo el modelo STEAM.

Para llevar a cabo el diseño del prototipo se tuvieron en cuenta los referentes teóricos centrados en los diseños acuapónicos urbanos, las características técnicas (materiales, suelo, suministro de servicios, etc.), así como las características biológicas (peces, plantas, posibles plagas, agentes ambientales, entre otros). En la figura 5 se muestran las etapas del diseño que se refirieron a la planeación, adecuación y ejecución presupuestal y las fases de desarrollo que se realizaron para poder garantizar que cada macroproceso funcionara adecuadamente.

Figura 5. Etapas de desarrollo para la construcción del prototipo.



Fuente: elaboración propia.

El prototipo fue diseñado, adaptado y construido teniendo en cuenta el diagnóstico realizado en la visita de campo y las dimensiones del sitio de intervención. Se tomó en cuenta el diseño propuesto por Somerville et al. (2014). Figura 6. Adicionalmente, se tomó en cuenta la regla de las tres erres de la sostenibilidad: *reducir, reutilizar y reciclar*, para la consecución de materiales como accesorios, tubería y los tanques para la producción de peces y el sistema hidropónico, que fueron conseguidos de segundo uso.

Figura 6. Prototipo acuapónico propuesto por Somerville et al (2014).



Fuente: elaboración propia.

Se tomó en cuenta el estado de arte actual sobre acuaponía, la estructura de diseño y los componentes, como se mostró en la Figura 1. A este prototipo se le realizó un proceso de reingeniería donde se incluyeron principalmente dos componentes. El primero, un sistema de remoción de sólidos o filtro mecánico basado en un sedimentador de flujo radial, con el propósito de hundir las partículas sedimentables (heces de los peces). También se incluyó el sistema de biofiltración con sustrato de tapas de gaseosa que fueron colectadas y recicladas por los estudiantes de la institución, para garantizar un adecuado proceso de nitrificación (Figura 7).

Figura 7. Componentes principales del prototipo acuapónico y su volumen en litros.



Fuente: elaboración propia.

Este proceso de implementación del modelo acuapónico constituyó una apuesta para la articulación y el desarrollo transdisciplinar de estrategias pedagógicas mediadas por metodología STEAM. Su desarrollo permitió la práctica del diseño desde las artes, las matemáticas, la tecnología y las ciencias en general, por lo que el prototipado y las actividades que emergen allí se consolidan como espacios inspiradores denominados *makerspace* educativos.

En línea con lo anterior, Park et al. (2016) afirman que el desarrollo de habilidades por medio del modelo STEAM se logra porque los procesos están ligados con el contexto y con el espacio diseñado para

este fin, y se enfatiza en la convergencia e integración de saberes que permiten la transversalidad. De esta manera, el modelo acuapónico desarrollado se convirtió en un *makerspace* desde su diseño y prototipado hasta los demás momentos que van emergiendo en el desarrollo de la práctica pedagógica. Los ambientes de desarrollo de habilidades diseñados para este proyecto son denominados *makerspaces*, que no solo brindan las oportunidades anteriormente mencionadas, sino que facilitan ampliar opciones para que los estudiantes y toda la comunidad educativa a la que pertenece al colegio Gabriel Betancourt Mejía converjan en espacios físicos de colaboración.

Estrategias de sostenibilidad y seguridad alimentaria para la manutención del biosistema

Para garantizar el bienestar de las especies inmersas en el prototipo acuapónico desarrollado, se elaboraron una guía de manejo de plagas y enfermedades de la lechuga (*Lactuca sativa*) y una guía de manejo y mantenimiento sanitario del pez tilapia (*Oreochromis sp*), basadas en el montaje de estrategias de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) y en las Buenas Prácticas de Producción Piscícola (BPPA).

Para el componente hidropónico se hizo énfasis en el manejo y el uso del control biológico mediante extractos vegetales y microorganismos antagonistas de plagas y enfermedades, así como el uso de trampas de color, para el control de plagas de alto impacto en la lechuga, como los *trips*, la mosca blanca y en general para todos los casos y para la erradicación temprana de hojas y tallos con síntomas de daño causados por insectos y enfermedades. En cuanto al mantenimiento de los peces y el sistema, se enfatizó en el manejo, parametrización de los indicadores de calidad de agua, así como el comportamiento de los peces, tratamientos profilácticos alternativos e iniciadores sanitarios del sistema para garantizar la inocuidad y el bienestar. Además, se incorporarán procedimientos de desinfección tanto para acceder al prototipo de acuaponía como para el tratamiento de herramientas y

equipos involucrados en la producción de peces y de las plantas de lechuga (Colagrosso Fitipaldi, 2015).

Dado que el montaje de acuaponía debe estar disponible para los estudiantes del colegio donde se realizó el estudio, se excluyó de estas guías el uso de plaguicidas orgánicos, antibióticos de síntesis química, a fin de evitar cualquier posible residualidad de estos productos en las plantas, peces y el agua del sistema acuapónico, que puede comprometer la salud humana y afectar la producción de los peces (Del Puerto Rodríguez et al., 2014). Lo anterior lleva a determinar que la problemática relacionada con la prevención de plagas y enfermedades del sistema acuapónico tiene en cuenta la necesidad de incorporar tecnologías alternativas de control de las plagas y enfermedades, con especial énfasis en el control biológico, ya que no representa un peligro para quienes las manipulan, especialmente los estudiantes y docentes del colegio Distrital Gabriel Betancourt Mejía de Bogotá.

La necesidad de darles solución a las problemáticas sanitarias en el prototipo de acuaponía fue utilizada para implementar elementos del modelo educativo STEAM integrando las ciencias biológicas, la ecología en cuanto a la observación de interacciones entre la plaga y/o enfermedad con las plantas, peces y los microorganismos antagonistas. Así mismo, desde el componente tecnológico y de la ingeniería (agronómica y acuícola), en la aplicación de las estrategias de control físico y biológico de las plagas y enfermedades, y desde el componente matemático integrando modelos epidemiológicos básicos en función de posibles casos de enfermedad.

Discusión y conclusiones

La planeación del proyecto educativo STEAM, basado en la acuaponía, permitió renovar los procesos didácticos de los currículos de grado 10°, del colegio Gabriel Betancourt Mejía de Bogotá, acorde a los estándares (contenidos), las necesidades de los estudiantes en su

entorno, las problemáticas de la localidad, los recursos con los que cuenta el estudiante y la institución, a fin de promover las estrategias que conducen a la comunidad educativa al logro de un conocimiento integral, complejo e interdisciplinar que propenda por el desarrollo del pensamiento crítico, creativo, reflexivo, lógico. La implementación del modelo acuapónico educativo permitió incentivar la creatividad, el trabajo colaborativo, la cultura del prototipado, el desarrollo de competencias integradas (STEAM) y la capacidad de abordar los problemas socio ambientales desde perspectivas alcanzables. Así mismo, constituye un ecosistema de aprendizaje integrador de las ciencias, la tecnología y el arte, puesto que involucra contenidos de diversas áreas del conocimiento y los interconecta, para responder a problemáticas relacionadas con seguridad alimentaria y sostenibilidad real, en el colegio Gabriel Betancourt Mejía de Bogotá.

El diseño de los diferentes planes de interacción con el modelo acuapónico permitió la participación en el desarrollo del proyecto a todos los actores que hacen parte de la comunidad educativa del colegio. Esto posibilitó el aprendizaje de una alternativa de producción sostenible y segura para el ser humano y el medio, al igual que la interacción con el conocimiento científico. El modelo contribuye a la construcción del concepto de ciudadanía científica con miras a que la comunidad educativa del colegio Gabriel Betancourt Mejía de Bogotá se sensibilice frente a los objetivos de desarrollo sostenible y economía circular.

El diseño del prototipo se enmarca en la posibilidad de crear soluciones alternativas reales de integración y de pensamiento sistémico STEAM, mediante la consolidación de un producto de diseño integral y funcional que aborda las problemáticas de sostenibilidad y seguridad alimentaria, promoviendo como valor agregado el cambio de un nuevo tipo de consumidor llamado “prosumidor”, quien produce y consume su propio alimento reduciendo significativamente la huella de carbono y agua. La construcción del prototipo y su semiau-

tomatización permitieron el desarrollo tecnológico y el uso de recursos virtuales como apoyo didáctico basado en la innovación, que facilita a los estudiantes y docentes el acceder al conocimiento traspasando las barreras temporales y geográficas, lo que promueve el autoaprendizaje, la curiosidad investigativa y el modelado de procesos.

La puesta en marcha del proyecto posibilita involucrar al educando y al docente en una cultura de enseñanza y aprendizaje denominada *Maker*, en la que se democratiza el conocimiento y se evidencia la capacidad de todos para crear, lo cual propicia escenarios adecuados para la innovación y para generar nuevos conocimientos a partir del hacer y la integración de los campos de conocimiento relacionados con el modelo STEAM. Los modelos educativos acuapónicos permiten el desarrollo de competencias STEAM (científicas, tecnológicas y artísticas), además de habilidades (contenido y proceso), que preparan al estudiante para enfrentar problemas socioeconómicos como el de seguridad alimentaria, haciendo uso del pensamiento crítico como estrategia para desenvolverse en un mundo caótico y cambiante.

La propuesta responde a los retos de investigación educativa, ya que, por un lado, genera un escenario en donde los estudiantes conocen y comprenden los problemas que limitan la producción agrícola en el contexto urbano y propicia escenarios de aprendizaje en la selección crítica de tecnologías limpias y, por otro, implica utilizar estrategias de manejo integrado de plagas, enfermedades y fertilización, alternativas al uso de plaguicidas de síntesis química, lo cual reduce los riesgos para la salud humana y los impactos a los recursos de agua-suelo. También, entre las alternativas de control de plagas es viable el empleo de plantas y microorganismos nativos que son ambientalmente sostenibles, en contraste con el uso de plaguicidas de síntesis química, lo que promueve el uso de la diversidad biológica del país, que es un campo poco explorado.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, E., Monje, J., Sierra, C., y Vega, D. (2018). Desarrollo de un sistema de monitoreo para acuaponía en hogares basado en IOT. *Revista Inventum*, 13(24), pp. 15. Recuperado de: <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.13.24.2018.15-21>.
- Andreucci, M., Marvuglia, A., Baltov, M. y Hansen, P. (2021). *Rethinking Sustainability Towards a Regenerative Economy*. Recuperado de: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-71819-0.pdf>.
- Ávila, M. (2022). La ciencia, las razones dialógicas y el desarrollo volitivo; un enfoque integrador para transformar el proceso pedagógico. *Revista Inspiración Educativa México*, pp. 47.
- Beltrano, J., y Giménez, O. (2020). *Cultivo en hidroponía. Cultivo en Hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universidad de la Plata. Recuperado de: <https://doi.org/10.35537/10915/46752>.
- Birgi, J. (2015). *Producción hidropónica de hortalizas de hoja.*: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion_hidropnica_de_hortalizas_de_hojas.pdf.
- Birgisdottir, B., Brantsaeter, A., Kvaem, H., Knutsen, H., Haugen, M., Alexander, J., Hetland, R. B., Aksnes, L., y Meltzer, H. (2012). Fish liver and seagull eggs, vitamin D-rich foods with a shadow: results from the Norwegian Fish and Game Study. *Mol Nutr Food Res* 56:388–98. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100395>.
- Bockstaller, C., Guichard, L., Keichinger, O., Girardin, P., Galan, MB., y Gaillard, G. (2009). Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, pp. 223–235. Recuperado de: <https://doi.org/10.1051/agro:2008058>.
- Celleruelo, L., y Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la Educación STEAM. Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. *Actas Jornadas de Psicodidáctica*. Recuperado de: <https://docplayer.es/18378159-Una-aproximacion-a-la-educa>

cion-steam-practicas-educativas-en-la-encrucijada-arte-cien-
cia-y-tecnologia.html.

- Colagrosso, A. (2015). *Acuaponía*. Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos, 9(50), pp. 2-5. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP9\(50\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP9(50).pdf).
- Colorado, M., y Ospina, M. (2019). *Acuaponía como herramienta de formación en tiempo de paz*. Servicio Nacional de Aprendizaje.: Sennova, Cundinamarca. Recuperado de: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5555>.
- CONPES (2008). *Política Nacional Fitosanitaria y de Inocuidad para las Cadenas de Frutas y de otros vegetales*. DNP: Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2008/Conpes_3514_2008.pdf.
- Chávez, M. (2016). Una teoría para la educación transdisciplinaria (Basada en el Manifiesto de Basarab Nicolescu). *Revista Psicológica Herediana*, 8(1-2), pp. 1. Recuperado de: <https://doi.org/10.20453/rph.v8i1-2.2944>.
- DAES, O. (2017). *La población mundial aumentará en 1000 millones para 2030*.
- Del Puerto Rodríguez, M., Suárez, S., y Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), pp. 372-387. Recuperado de: https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010.
- Doualle, B., Medini, K., Boucher, X., y Laforest, V. (2015). Investigating sustainability assessment methods of product-service systems. *Procedia CIRP*, 30: pp. 161-166. Recuperado de: <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.008>.
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2021). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una mejor nutrición y dietas asequibles y saludables para todos*. Roma, FAO. Recuperado de: <https://doi.org/10.4060/cb5409es>.

- FAO. (n. d.). Seguridad alimentaria y nutricional: conceptos básicos. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), Centroamérica, Proyecto Food Facility Honduras. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/at772s/at772s.pdf>.
- García, F. (2016). Proyecto TACCLE3-Coding. XVIII Simposio Internacional de Informática Educativa SIIIE.
- Genello, L., Fry, J., Frederick, J., Li, X., & Love, D. (2015). Fish in the Classroom: A Survey of the Use of Aquaponics in Education. *European Journal of Health & Biology Education*, 4(2), pp. 9-20.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, M. y Thorarinsdottir, R. (2015). *Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics*. *Sustainability*, 7(4), pp. 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>.
- Hernández Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill. Recuperado de: <https://ebooks7-24-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/?il=6443>
- Hernández, J. (2019). Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México Economic and financial feasibility of an aquaponic production system of tilapia, lettuce and river prawn in D. *Investigación y Ciencia*, 27 (2009), pp. 5-11. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/jats-Repo/674/67459697001/index.html>.
- Herrán, O., Bermúdez, J., y Zea, M. (2020). Cambios alimentarios en Colombia; resultados de dos encuestas nacionales de nutrición, 2010-2015. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 52(1), pp. 21-31. Recuperado de: <https://doi.org/10.18273/revsal.v52n1-2020004>.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2015). ENSIN: Encuesta Nacional de Situación Nutricional. Reporte Institucional. Recuperado de: <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional#ensin3>.
- Jiménez, A. (2016). Acuaponía: herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias. *Ciencia y Desarrollo*, 16(2), pp. 83-90. Recuperado de: <https://doi.org/10.21503/cyd.v16i2.1113>.

- Joly, A., Junge, R., y Bardocz, T. (2015). Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. *Ecocycles*, 1(2), pp. 3-5. Recuperado de: <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v1i2.30>.
- Knapp, H., Reilly, I., Alessandrini, P., y FitzGerald, G. (1986). In vivo indexes of platelet and vascular function during fish-oil administration in patients with atherosclerosis. *N Engl J Med*. 1986 Apr 10; 314 (15):9, pp. 37-42. Recuperado de: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM198604103141501>.
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., y Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of cleaner production*, 180, pp. 232-243. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>
- Li, N., Wu, X., Zhuang, W., Xia, L., Chen, Y., Wu, C., Rao, Z., Du, L., Zhao, R., Yi, M., Wan, Q., y Zhou, Y. (2020). Fish consumption and multiple health outcomes: Umbrella review. *Trends in Food Science & Technology*. 99, pp. 273-283. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.033>.
- Mchunu, N., Lagerwall, G., y Senzanje, A. (2017). Food Sovereignty for Food Security, Aquaponics System as a Potential Method: A Review. *J Aquac Res Development*, 8: 497. Recuperado de: <https://doi:10.4172/2155-9546.1000497>.
- Merlín, V., y Martínez, R. (2015). Capacidad de absorción de nitratos de plantas acuáticas cultivadas en acuaponía. *Jóvenes en la Ciencia*, 1(2), pp. 24-28. Recuperado de: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/379/pdf>.
- MinSalud. (2015). *ABECÉ - Promoción del consumo de frutas y verduras*. Ministerio de la Protección Social de Colombia. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/abece-frutas-y-verduras.pdf>.
- Montoya, J., Cartes, I., y Zumelzu, A. (2020). Indicators for evaluating sustainability in Bogota's informal settlements: Definition and validation. *Sustainable Cities and Society*, 53, pp. 51. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101896>.
- Moreno, C., Montoya, J., Jaegler, A., y Gondran, N. (2019). Sustainability metrics for real case applications of the supply chain net-

- work design problem: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 231, pp. 600-618. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.278>.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155>.
- Naciones Unidas. (2021). *Marco para el Desarrollo de las Estadísticas Ambientales 2013*. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46644-marco-desarrollo-estadisticas-ambientales-mdea-2013>.
- Naciones Unidas-CEPAL. (Enero de 2019). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. Publicación de las Naciones Unidas. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>.
- OEA (2015). *La indagación como estrategia para la educación STEAM. Guía Práctica*. Recuperado de: <https://recursos.portaleducoas.org/sites/default/files/Final%20OEA%20Indagacio%CC%81n.pdf>.
- Oliva, L. (2017). *La acuaponía como recurso didáctico transversal*. XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. Recuperado de: <https://biblioteca-virtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1953/7.2.5.pdf>.
- Oliveira, T., Castro, É., Belchior, T., Andrade, M., Chaves-Filho, A., Peixoto, A., Moreno, M., Ortiz, M., Moreira, R., Inague, A., Yoshinaga, M., Miyamoto, S., Moustaid-Moussa, N., y Festuccia, W. (2019). Fish Oil Protects Wild Type and Uncoupling Protein 1-Deficient Mice from Obesity and Glucose Intolerance by Increasing Energy Expenditure. *Mol Nutr Food Res*. 63(7): e1800813. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201800813>.
- Ortega, M. (2017). *Introducción al Mejoramiento Genético. Notas De Campus*, (1). Recuperado de: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/notas/article/view/1809>.
- Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S., Vermeulen, T., ... y Kotzen, B. (2018). Towards commercial aqua-

- ponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture international*, 26(3), pp. 813-842. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>.
- Park, H., Byun, S., Sim, J., Han, H., y Baek, Y. (2016). Teachers' Perceptions and Practices of STEAM Education in South Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(7), pp. 1739-1753. Recuperado de: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1531a>.
- Peng, J., Xiong, J., Cui, C., Huang, N., Zhang, H., Wu, X., Yang, Y., Zhou, Y., Wei, H., Peng, J. (2019). Maternal Eicosapentaenoic Acid Feeding Decreases Placental Lipid Deposition and Improves the Homeostasis of Oxidative Stress Through a Sirtuin-1 (SIRT1) Independent Manner. *Mol Nutr Food Res*. 63, pp. 21: e1900343. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31408587/>.
- Perales, F., y Aguilera, D. (25 de junio de 2019). Educación STEAM: algo más que unassiglas. Granada hoy https://www.gradahoy.com/granada/STEAM-educacion-ciencia-tecnologia_0_1367263263.html.
- Pérez, M. (2019). El diseño de nuevos ambientes de aprendizaje y el debilitamiento de las fronteras de la escuela. *Revista Signos*, 40, pp.1. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0378.v40i1a2019.2243>.
- Poveda, C., Jiménez, D., Aguilar, L., y Cure, J. (2017). Eficiencia de polinización de colonias huérfanas de *Bombus atratus* (hymenoptera: Apidae) en fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo cubierta. Efficiency of Pollination by Orphan Colonies of *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) in Strawberry (*Fragaria x a*). *Acta Biol. Colomb.*, 23(1), pp. 73-79. Recuperado de: <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.61648>.
- Rakocy, J., Masser, M., y Losordo, T. (2016). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Recuperado de: https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319795/oksd_srac_454_2016-07.pdf?sequence=1.
- Riaño, E., Caicedo, L., Torres, A., Hurtado, H., y Gómez, E. (2019). Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica