

Contextualización de la física en ingeniería a partir de investigación basada en diseño

Contextualization of physics in engineering from design-based research

 Fabiola Escobar Moreno¹

 Francisco Antonio Horta Rangel²

 Mario Humberto Ramírez Díaz³

Resumen: El siglo XXI precisa ingenieros sistémicos para enfrentar los retos laborales y las circunstancias actuales, esto implica el dominio de ciencias fácticas como la física; además de gnosis sobre sustentabilidad. Una herramienta que puede contribuir en la formación de ese tipo de ingenieros es la investigación educativa, por lo que, esta indagación tiene como objetivo bosquejar una intervención educativa con orientación para el conocimiento y cuantificación de la sustentabilidad en el aprendizaje de la hidrodinámica con estudiantes de ingeniería. El enfoque es cualitativo en su vertiente descriptiva, a través de la Investigación Basada en Diseño, los hallazgos apuntan, de acuerdo con jueces expertos, que es viable la secuencia didáctica que se propuso, debido a la sistematización con la cual fue diseñada. Por lo que, podría contribuir a cumplir los objetivos didácticos, ya que, está basada en marcos teóricos pertinentes y validados.

Palabras clave: problemas contextualizados, física, hidrodinámica, sustentabilidad.

Abstract: The 21st century requires systemic engineers to face the labor challenges and current circumstances; this implies the domain of factual sciences such as physics; in addition to gnosis on sustainability. A tool that can contribute to the training of this type of engineer is educational research; therefore, this inquiry aims to outline an educational intervention with guidance for the knowledge and quantification of sustainability in the learning of hydrodynamics with students of Engineering. The approach is qualitative in its descriptive

¹ Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Legaria del IPN, email: fescobar@ipn.mx

² División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato; email: anthort@ugto.mx

³ Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Legaria del IPN; email: mramirez@ipn.mx;

aspect, through Research Based on Design, the results indicate, according to expert judges, that the required didactic sequence is viable, due to the systematization with which it was designed. Therefore, it could contribute to meeting the didactic objectives, since it is based on relevant and validated theoretical frameworks.

Keywords: contextualized problems, physics, hydrodynamics, sustainability.

Recepción: 03 de mayo de 2022

Aceptación: 30 de diciembre de 2022

Forma de citar: Escobar, F., Horta, F.A. y Ramírez, M.H. (2022). Contextualización de la física en ingeniería a partir de investigación basada en diseño. *Voces de la educación* 7(14), p. 3-47.



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0

International License.

Contextualización de la física en ingeniería a partir de investigación basada en diseño

Introducción

La física es un bastión para la edificación de conocimientos científicos en la formación ingenieril (Bauer y Westfall, 2009; Shishigu et al., 2017); no obstante, la forma en que se instruye en varias universidades iberoamericanas está basada en la conferencia magistral, y este modelo incluso se replicó en algunas universidades de habla hispana durante el periodo de pandemia (Pérez et al., 2020; Escobar et al., 2022).

En el mismo orden de ideas, generalmente, lo realizado para robustecer los aprendizajes, por los profesores universitarios, son también actividades tradicionales, tales como: resolución de ejercicios, lecturas, ensayos, reportes de laboratorio; al respecto, si bien son útiles para que los alumnos retengan contenidos, esto no significa que éstos comprendan conceptualmente (Suárez et al., 2021; Gutiérrez et al., 2022). De lo anterior, el aprendizaje es más parecido a lo realizado por una máquina (Behar, 2008), puesto que el estudiante tiende a hacer tareas de forma repetida. Lo anterior ha dejado de tener vigencia para los requerimientos actuales de las empresas y los retos que enfrenta el mundo, ya que, se necesita formar en habilidades y competencias (Delgado, 2018; Iwuanyanwu, 2022).

De lo antes expuesto, la injerencia en temas de educación por parte de organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación (UNESCO); Fondo Monetario Internacional (FMI); Organización de Estados Americanos (OEA), las cuales exhortan a las instituciones de educación superior a innovar la forma en que se instruye a la futura fuerza laboral. Para nuestro caso se focalizan, en la Universidad de Guanajuato, los esfuerzos para los ingenieros, a través de la física.

Así, es prioritario que los ingenieros en formación reciban una sólida instrucción en física y matemáticas, además de vincular el trabajo de docentes e investigadores al sector productivo (Rivera, 2009).

En este tenor, la formación de los ingenieros requiere de un conocimiento robusto de las ciencias fácticas como la física, ya que, provee de conocimiento científico para resolver problemas, sin embargo, en los libros las actividades de aprendizaje son ejercicios que no están contextualizados con la realidad laboral, causando, probablemente, un eventual conflicto cognitivo en los estudiantes, porque, no comprenden cómo usar los conocimientos de la física en la ingeniería, ya que, generalmente los egresados de las ingenierías tienen conocimiento académico; pero no empírico y ambos están correlacionados y son necesarios para maximizar el desempeño de cualquier profesional de la ingeniería en el ámbito laboral (Merchand, 2017).

La mente de obra es el insumo que requiere una economía basada en desarrollo científico y tecnológico, sin embargo, si se continúa instruyendo de la misma forma, se tendrán los resultados de siempre. Es por ello que se requiere de una instrucción basada en el desarrollo de habilidades de orden superior, no en la memorización de contenidos, sin comprensión. Al respecto en la formación para ingenieros, se coincide con Correia y Fernando (2017): “Para producir ingenieros, los profesores necesitan prepararlos para tomar decisiones, cómo obtener información y conocer dónde las aplicará [...]”.

De lo anterior se destaca que el uso del material didáctico por parte de los profesores de física en su mayoría son insumos que proveen los libros de texto (Herrero, 2004); sin embargo, las actividades de aprendizaje no tienden al desarrollo de habilidades tales como resolución de problemas complejos. En algunas escuelas y universidades en México, las actividades de aprendizaje, están diseñadas para ejercitar a los estudiantes, es decir, practicar lo aprendido en algún tema, siendo esta forma de instrucción más cercano a la mecanización (Isoda y Olfos, 2010). Tal como refiere Skinner citado por Behar (2008), es un tipo de enseñanza programada, haciendo a los alumnos una especie de "máquina de aprendizaje", lo cual, eventualmente, podría eventualmente no ser fértil para reflexionar, discutir y proponer.

Diseñar problemas contextualizados de física con base en el ejercicio profesional de la ingeniería, es una forma pertinente de estimular en los estudiantes procesos cognitivos de orden superior, tales como: resolución de problemas complejos. De hecho, de acuerdo con el Foro Económico Mundial, esta habilidad se vaticina será la tercera más importante en 2025 según el World Economic Forum (2020). Por lo tanto, diseñar actividades de aprendizaje con

alto contenido pedagógico, adecuadas y adyacentes a la realidad laboral, se considera es la ruta para contribuir al desarrollo de esta habilidad.

En este tenor, el diseño de problemas en contexto, implica hacer investigación *in situ*, esto requiere que el investigador (docente) se interne en la realidad fenoménica y analice cuidadosamente un proceso específico, equipo o situación, de tal manera que, a través de visitas tuteladas; análisis del proceso; de planos de construcción y diseño; diagramas de tubería e instrumentación; de problemas reales que ocurran en la empresa (accidentes, re trabajos, quejas de clientes, fallas o errores de operación, etc.); entrevistas; recolección de información, se pueden modelar aquellas situaciones problemas, con vinculación a una temática específica de la física, para las ingenierías (Escobar, 2019).

De lo anterior, también es importante que se analice el perfil de egreso de los ingenieros para así proponer actividades de aprendizaje focalizadas en el desarrollo de habilidades de orden superior y se patentice el logro de objetivos educacionales; porque se contribuye con evidencia, basada en investigación educativa, alineando los atributos de egreso de los ingenieros (para este estudio ingenieros civiles) de la Universidad de Guanajuato. Siendo esta propuesta extrapolable para otras universidades e Instituciones de Educación Superior.

Aplicación de la teoría a la práctica en Ingeniería

Es así que se encuentra otra área de oportunidad en la realización de actividades de aprendizaje con elevado contenido didáctico y transversales a temas neurálgicos como la sustentabilidad, vinculados a problemas de física contextualizados para ingeniería.

En un estudio realizado con docentes brasileños reportan que uno de los problemas más frecuentes al momento de enseñar en carreras de ingeniería es “[...] la dificultad de asociar la teoría con la práctica real de la disciplina [...] Correia y Fernando, 2017. Y se añade, a esta dificultad la falta de transversalidad con la sustentabilidad, concepto importante de entender y aplicar para aspirar a una, fehaciente y acreditable, formación integral de los ingenieros.

Es así como en el contexto real de una situación problemática de una empresa, a partir del diseño, proyección, construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas

negras, se contextualiza el uso de la física específicamente el tópico de hidrodinámica, con énfasis en la ecuación de Bernoulli, transversalmente porque el problema lo permite y es pertinente; además se analiza, instrumenta y cuantifica la sustentabilidad del proyecto *per se*.

En este sentido, respecto a la sustentabilidad, lo que no se conoce, identifica y dimensiona no se puede reflexionar, ya que, se coincide con Parra (2018), el terreno oportuno para sensibilizar, y sobre todo reflexionar y proponer soluciones sustentables, son los centros educativos, con la eco alfabetización⁴ tanto de los docentes como los alumnos. En el caso de esta propuesta se eco alfabetiza a los alumnos, para robustecer sus conocimientos de física para ingeniería y conjuntamente sobre sustentabilidad.

El llamamiento y compromiso de las universidades con la formación sustentable

La preocupación medioambiental a nivel mundial no es ajena a las universidades de todas las latitudes, al respecto es plausible que desde la academia (Universidad e investigación de Wageningen, s.f.; Universidad Autónoma de Nuevo León, 2022) y empresas (Schneider Electric, 2021) se hagan esfuerzos por sensibilizar a las comunidades de estudiantiles, empleados y ciudadanos, sobre del estrés por el que atraviesa la Tierra. La situación es que el problema medioambiental no es aislado, sino correlacionado con el ámbito social y económico, de ahí la necesidad de formar a la futura mente de obra (ingenieros) con visión sustentable. Sin embargo, como se describía en párrafos anteriores, expresarlo es conveniente, acreditarlo es lo verdaderamente relevante.

Es por ello que la Universidad de Guanajuato, en congruencia con la oferta que hace de sus egresados, a través de esta indagación aspira a contribuir de forma patente al desarrollo del atributo de egreso: ingenieros con visión sustentable, no sólo en la formalidad, sino con acciones constatables, tal como la intervención didáctica que se describe en este artículo. Ya que es necesario que desde la universidad se “[...] proporcionen oportunidades educacionales para que los estudiantes adquieran el conocimiento y las destrezas necesarias para

⁴ Eco alfabetización, es un concepto que invita a reflexionar que todos estamos interconectados con la Tierra, el proceso reflexivo se debe aprender y desarrollar en los centros educativos para hacer propuestas que tiendan al cuidado de ésta y todo lo que habita en ella.

promocionar el desarrollo sustentable” (Sustainable Development Solutions Network Australia-Pacific, 2017).

Así, la toma de conciencia a nivel individual es el primer paso para proponer acciones a nivel local, para después impactar a nivel regional y global. Toda vez que, se está de acuerdo con Ortiz citada por Román (2020): “No sirve de nada recitar la definición de sustentabilidad en clase, más bien debemos vivirla e integrarla como un hábito parte de tu vida”. En este sentido un comienzo es el conocimiento y cuantificación de las dimensiones de la sustentabilidad, pero de forma transversal (Fernández, 2018).

La transversalidad de la física en la ingeniería con la sustentabilidad, una propuesta

Respecto a la formación sustentable se destaca que en los atributos de egreso al menos de la Universidad de Guanajuato (Universidad de Guanajuato, s.f.) de los ingenieros, lo deseable es que éstos ejerzan su profesión con acciones sustentable. La cuestión es cómo desarrollarán y adquirirán este conocimiento los egresados, sin actividades de aprendizaje que fomenten tanto el conocimiento como la aplicación conceptual para la toma de decisiones con enfoque sustentable.

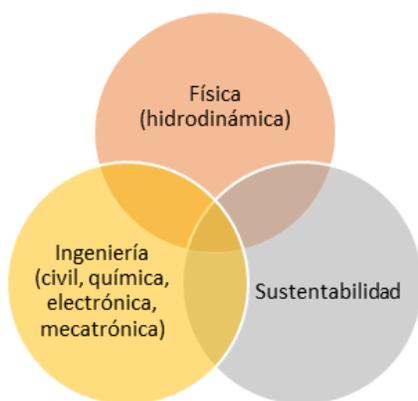
En esta tesitura se indagó, en los perfiles de egreso a través de las universidades que ofertan la licenciatura en ingeniería civil, sobre los atributos de egreso, analizando si, al menos en la formalidad manifiesta, tener enfoque sustentable. En el apéndice A se muestra este análisis, se codifica la perspectiva sustentable de la siguiente forma: si=1 y no=0. Los hallazgos se describen en el apartado de resultados.

Entonces, desde la física; pero también hasta ingeniería se enfatiza lo urgente que es la contribución de la educación para la sustentabilidad, puesto que es evidente que el planeta Tierra está en una situación de emergencia (Vilches y Gil, 2010). La tesis es cómo se fomenta y cuáles son las estrategias de las universidades; porque afirmar un atributo, implica el compromiso sobre que ese atributo debe fomentarse y sobre todo acreditarse, como se ha enfatizado en este documento.

Por lo que, esta propuesta de intervención educativa es una tricotomía pertinente y viable para una formación integral, pues promueve la aplicación conceptual (hidrodinámica) a la ingeniería (específicamente civil), con el valor agregado que implica el conocimiento,

evaluación y cuantificación de las dimensiones (ambiental, social y económica) de la sustentabilidad. Si se observa la figura 1, esta propuesta es aplicable para cualquier tópico de física e incluso para otras ciencias fácticas y adaptable a otras ingenierías.

Figura 1. *Propuesta de tricotomía didáctica*



Adicional, esta propuesta está en consonancia con la Educación y la Formación Técnica y Profesional (EFTP) que promueve la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] a través de lo que denomina: “Estrategia de la UNESCO para la EFTP 2022-2029: Transformar la Educación y Formación Técnica y Profesional (EFTP) para Transiciones Exitosas y Justas” (UNESCO, 2021); porque fomenta una relación con la educación y el mundo laboral, específicamente para el Eje de acción 2: Desarrollar competencias para economías inclusivas y sostenibles, ya que, insta a la recopilación y uso de fuentes de datos, para la toma de decisiones eficientes; sin embargo para saber usar datos, primero hay que dimensionarlos y entenderlos.

Así, de lo antes expuesto el objetivo de esta indagación: es bosquejar una intervención educativa con orientación para el conocimiento y cuantificación de la sustentabilidad en el aprendizaje de la hidrodinámica con estudiantes de ingeniería.

Esta investigación precisa responder la siguiente pregunta de investigación, ¿cómo puede contribuir la Física al conocimiento y formación sustentable de los ingenieros?

Método

En este apartado se describe el contexto de este estudio; el marco teórico de investigación es Investigación Basada en Diseño (IBD); el diseño del problema contextualizado usando la metodología Dipping creada para el Diseño de Programas de estudio de las Ciencias básicas en Ingeniería (Camarena, 2013); los métodos sugeridos para la valoración de los aprendizajes esperados (rúbricas de evaluación).

Metodología

Esta indagación está en el marco de la investigación cualitativa descriptiva, ya que, es necesario analizar los procesos de enseñanza y aprendizaje en sus entornos naturales, que se reconoce son complejos. Una ventaja de este tipo de investigación es que es holística y esto permite una comprensión profunda, para nuestro caso del proceso de aprendizaje, a nivel individual (Nassaji, 2015). Así, se decanta por el uso de la Investigación Basada en Diseño (IBD); porque es coherente con el objetivo de investigación, el cual tiende a crear; además contribuye a resolver uno de los problemas de la enseñanza, la falta de sistematización, y por ende uso en el aula, de las propuestas pedagógicas Reeves (2000). También la IBD es pertinente a esta propuesta, ya que, “[...] este tipo de investigaciones intervencionistas en contextos educativos concretos, exigen explicaciones detalladas de las decisiones implícitas y explícitas que se toman con respecto al diseño y la implementación” (Guisasola et al., 2021).

Esta investigación utiliza la propuesta de De Benito y Salinas (2016), inspirada y adaptada de la propuesta original de Reeves (2000). A continuación, se describen las etapas de la IBD que utiliza la presente investigación.

Fase 1. Análisis de la situación, definición del problema. Se identifica que, en la formalidad en los atributos de egreso de ingenierías, de algunas universidades, se afirma que los egresados se forman para resolver problemas complejos y tienen formación sustentable, al menos esto último se indagó de 177 universidades mexicanas para la licenciatura en ingeniería civil, para mayores detalles ver apéndice A. También, se realizó una revisión bibliográfica de algunos libros de física universitaria (Bauer y Westfall, 2011; Sears y Freedman, 2005; Serway y Jewett 2008 y Tipler y Mosca, 2005), donde se identifica que no

hay contextualización de la física para la ingeniería y tampoco hay transversalidad con tópicos como sustentabilidad.

Sobre la selección del tópico, hidrodinámica, se estimó conveniente dado que la tratadora de aguas negras implica el manejo de fluidos, y la dificultad en la comprensión en nivel universitario ha sido evidenciada en otras indagaciones (Suárez et al., 2021; Escobar, 2020).

Fase 2. Desarrollo de soluciones de acuerdo con una fundamentación teórica. La intervención didáctica está basada en la metodología Dipcing (Camarena, 2013) y la propuesta para la puesta en escena en un modelo híbrido (Carman, 2002).

Fase 3. Implementación. Esta intervención se pondrá en escena al menos en tres momentos diferentes y preferentemente en escuelas diferentes, para analizar desde distintos contextos cuáles son las áreas de mejora; los pro y contras de esta propuesta, para posteriormente hacer las modificaciones pertinentes tanto para la secuencia didáctica, como para los instrumentos de evaluación.

Fase 4. Validación. Para esta etapa se utiliza y adecua el modelo propuesto por Flores et al., (2019).

Fase 5. Producción de documentación y principios de diseño.

La descripción de las etapas anteriormente mencionadas, así como la evidencia que acredita su realización, se explica en la tabla 1.

Tabla 1

Etapas, descripción, evidencias y estatus de la IBD

Fase	Descripción de la (s) acción (es)	Evidencia generada	Estatus
1.Análisis de la situación, definición del problema	<p>a) Inquirir con alumnos universitarios sobre el uso de problemas contextualizados de física en ingeniería.</p> <p>b) Indagar con alumnos universitarios acerca de la formación en sustentabilidad.</p> <p>c) Revisión de los perfiles de egreso para algunas universidades</p>	<p>1. Instrumento de elaboración propia, escala Likert.</p> <p>2. Tabla de análisis de 177 universidades que ofertan la licenciatura en ingeniería civil en México.</p>	Realizado
2.Desarrollo de soluciones	<p>a) Aplicar la metodología Dipcing para el diseño del problema contextualizado de Física para ingeniería Civil con enfoque al análisis sustentable</p> <p>b) Diseñar la intervención con los elementos que propone Carman (2002) para el aprendizaje híbrido.</p>	<p>1. Tabla explicativa de cada etapa de la metodología Dipcing (Camarena, 2013) y del modelo híbrido (Carman, 2002).</p>	Realizado

		2. Secuencia didáctica propuesta, con objetivos, tipo de actividad, lugar de realización, actores y tipo de participación, tiempo estimado para cada actividad y ponderación sugerida.	
3.Implementación	<p>a) Se pondrá en escena esta propuesta didáctica en dos fases, de forma síncrona (aula) y asíncrona (plataforma Google Classroom).</p> <p>b) Tal como indica la metodología IBD, el proceso debe ser iterativo, por lo que, se pondrá en escena en tres escuelas diferentes y momentos diferentes, en cada puesta en escena se deben especificar las mejoras a la propuesta y especificar porque se</p>	<p>1. Aula virtual.</p> <p>2. Fotografías que evidencien las puestas en escena con cada grupo y en momentos diferentes.</p>	<p>Realizado</p> <p>/Pendiente hasta hacer la puesta en escena.</p>

afectó la propuesta anterior. Se planea aplicar la propuesta en tres diferentes grupos de las siguientes universidades: en la Facultad de ciencias e Ingeniería de la Universidad de Guanajuato; en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) y en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del IPN.

4. Validación

- | | | | |
|----|---|--|---|
| a) | En la tabla 2 se describe el proceso de validación, a través de una guía de diseño para validación de esta intervención didáctica propuesto por Flores, <i>et al.</i> (2019). | 1. Instrumentos con resultados de los jueces expertos y estudiantes. | Parcialmente realizado/pendiente hasta aplicarla a los estudiantes. |
|----|---|--|---|

5. Producción de documentación y principios de diseño

- | | | | |
|----|--|---|------------|
| a) | Describir todo el proceso de diseño de la intervención detalladamente y presentarla a la comunidad académica. | 1. Artículo de investigación. | En proceso |
| b) | Someter a consideración al cuerpo académico, para que en cada materia en la universidad de Guanajuato se diseñe una actividad de aprendizaje que tienda al desarrollo de una habilidad del siglo | 2. Ponencia en Congreso internacional.
3. Informe de resultados. | |

XXI (UNESCO, 2021) y que esté relacionada con la sustentabilidad.

Para la fase 4, dado que sugiere validar esta propuesta como se mencionó anteriormente, se utiliza un modelo de validación propuesto por Flores et al., 2019. En la tabla 2, se describe la guía de diseño para esta etapa.

Tabla 2

Guía de diseño para validación de la secuencia didáctica

Caracterización	Objetos de validación	Tipos de indicadores (cualitativos o cuantitativos)		Indicadores	Informantes clave
Objetivos Analizar la pertinencia, factibilidad y utilidad de la secuencia didáctica que impliquen el aprendizaje de la física en el contexto de la ingeniería con enfoque sustentable.	1. Secuencia didáctica propuesta	Cualitativos		1. Claridad 2. Coherencia 3. Suficiencia	Jueces expertos

Funciones	<p>Profesor: guía, observador, evaluador de aprendizajes.</p> <p>Alumnos: protagonistas, propositivos, indagadores.</p>	<p>1. Desempeño de la función docente</p> <p>2. Desempeño de la función los alumnos.</p> <p>3. Encuesta para alumnos acerca de la intervención didáctica.</p> <p>Cualitativos</p>	<p>1. Puntaje obtenido en la lista de observación diseñada para Profesor invitado y evaluar la función estudiantes del docente y alumno.</p> <p>2. Encuesta de satisfacción para alumnos, sobre la intervención didáctica.</p>
Procesos	<p>Diseño del problema contextualizado; desarrollo de la intervención didáctica</p>	<p>1. Problema contextualizado</p> <p>2. Elementos del aprendizaje híbrido</p> <p>Cualitativos</p>	<p>Aspectos observables y medibles en la lista de cotejo (los Jueces expertos y estudiantes).</p>

y adecuación para un
modelo híbrido.

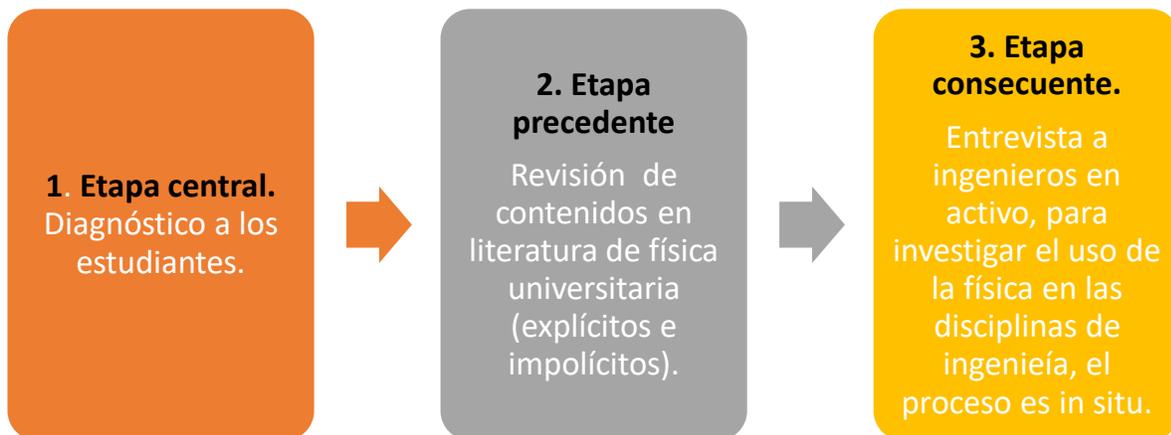
aspectos
observables están
basados en los
atributos de la
metodología
Dipping
(Camarena, 2013)
y en el modelo
híbrido (Carman,
2002).

Metodología Dipping para esbozar el problema contextualizado

El marco teórico para hacer este proceso es Dipping, el *diseño de programas de estudio de las ciencias básicas en ingeniería* (Dipping) de Camarena (2013), es una robusta metodología, que si bien se utiliza para diseño de programas, aporta una serie de pasos que permiten diseñar situaciones-problemas que proveen a los estudiantes del desarrollo de funciones ejecutivas, tales como: indagación, análisis de información, toma de decisiones, plantear soluciones a problemas; dichas funciones a su vez ligadas con el desarrollo de habilidades de orden superior. En la figura 2 se describen de forma sucinta los pasos de la metodología Dipping:

Figura 2

Pasos de la metodología Dipping



Se utiliza una metodología para esbozar una situación problema, ya que, se ha identificado en indagaciones que reportan el uso de problemas que no refieren cómo los elaboran, no describen el contexto, no refieren los objetivos de aprendizaje, es decir, pareciera que lo hacen de forma empírica o los inventan (Escobar et., 2021). Al respecto, algunos autores reconocen la diferencia entre ejercicios y problemas (Isoda y Olfos, 2010; Escobar, 2020).

En la sección de resultados, se describen los hallazgos producto del desarrollo y análisis de los datos de cada una de las etapas de Dipping.

Secuencia didáctica propuesta para la contextualización de la física en la ingeniería

La secuencia didáctica se diseñó siguiendo las fases propuestas por Díaz Barriga (2013), inicio, desarrollo y cierre. En este sentido, se está de acuerdo con el autor, sobre que la concatenación de actividades de aprendizaje debe ser en orden de complejidad creciente. Ver tabla 3.

Tabla 3

Secuencia didáctica propuesta

Tema: Hidrodinámica (Ecuación de Bernoulli)

Objetivos	Número de sesiones	Actividad	Individual/ Equipo/ Grupal/Docente	Presencial	Plataforma educativa (Digital)	Tiempo estimado (minutos)	Valor (%)
a) Reconocer las variables implicadas en la Ecuación de Bernoulli	NA	1. Crucigrama (ver aula virtual) 2. Sopa de letras (ver aula virtual)	Individual		X	10	5
b) Identificar el marco teórico de la hidrodinámica a partir del material provisto por el profesor.	NA	1. Leer el marco teórico propuesto de mecánica de fluidos 2. Control de lecturas (ver aula virtual)	Individual		X	50	10
c) Determinar la huella ecológica personal	NA	1. Realizar el cálculo de la huella ecológica a través de la herramienta: https://www.footprintcalculator.org/home/en	Individual		X	10	NA
d) Reconocer las interconexión de las dimensiones de la sustentabilidad.	NA	1. Leer el artículo, intitulado: Sustentabilidad, tricotomía compleja y entrelazada, de Escobar (2022). 2. Participar en el foro de discusión, interactuar con compañeros, a partir de las preguntas detonadora: De acuerdo con lo expresado por la autora del artículo, la sustentabilidad, ¿sólo está vinculada a cuestiones medioambientales?, ¿qué acciones individuales podemos hacer para aspirar a ser un ciudadano e ingeniero sustentable?	Individual/Grupal/ Docente		X	40	5
e) Discutir a partir de una pregunta detonadora.	NA	1. Revisar los siguientes enlaces, con ejercicios proporcionados por el profesor 2. Pregunta detonadora: ¿cómo afecta el diámetro, y la altura al desplazamiento de un fluido?	Individual/ Grupal/Docente		X	40	5

f) Analizar y Resolver ejercicios.	NA	1. Analizar los ejercicios: resolver los ejercicios propuestos por la profesora.	Posteriormente	Individual	X	40	10
g) Analizar y resolver ejercicios y problema	1	1. Analizar el problema: incluya cálculos y argumentos basados en la hidrodinámica. 2. Revisión y explicación de dudas planteadas por los estudiantes sobre los ejercicios y el problema planteado.	Previa lectura del problema planteado, responder las preguntas guía, basados en la hidrodinámica.	Individual/Grupal/ Docente	X	60	NA
h) Vincular los aprendizajes con la realidad laboral.	1	Guía para resolver problema: a) Realizar una lista de lo que se conoce y no se conoce. b) Revisar las rúbricas de evaluación. c) Discutir las respuestas de las preguntas guía de cada miembro del equipo. d) Entre todos los miembros del equipo, responder las preguntas guía, la justificación a cada respuesta debe estar sustentada con cálculos y en argumentos científicos.	Guía para resolver problema:	Equipo	X	60	NA
i) Realizar reporte técnico	NA	Realización del reporte (ver plantilla en el aula virtual).		Equipo	X	320	60

La anterior propuesta se pondrá en escena bajo el esquema de una modalidad híbrida para así analizar los resultados y estimar los errores y áreas de mejora para futuras puestas en escena, obsérvese que un aproximado del 80 % de las actividades están diseñadas para trabajar en la plataforma y el resto para interacción presencial, entre el docente y alumnos. Para esta propuesta se estima que los estudiantes invertirán aproximadamente ocho horas de trabajo individual y en equipo para lograr los objetivos didácticos, la elección de mayor participación de los estudiantes se basa en lo que sugiere la regla empírica de Pareto, según López (2017) indicado para el análisis de sistemas complejos, como el fenómeno educativo toda vez que, el 20 por ciento de las causas (esfuerzos) explica el 80 por ciento de los efectos (recompensas).

Modelo híbrido para el aprendizaje de la física en la ingeniería

La secuencia didáctica que se diseñó por sí misma sería ineficaz si no se enmarca en algún modelo o metodología, es por ello que se decanta por utilizar el modelo híbrido propuesto por Carman (2002), en la tabla 4 se describen los componentes.

Tabla 4

Análisis de los componentes según Carman (2002) para un modelo híbrido en la Universidad de Guanajuato

Componentes	Descripción
1. Eventos en vivo	<p>Se destinarán dos clases de una hora o lo equivalente a dos horas para analizar, discutir y proponer soluciones tentativas al problema planteado, así como resolver dudas, respecto a los ejercicios propuestos.</p> <p>Para cada equipo de trabajo (máximo 4 integrantes) se destinarán 40 minutos para revisar avance, dudas, respecto a la (s) propuesta (s) de solución del problema contextualizado.</p>
2. Aprendizaje a su propio ritmo:	Se diseñan actividades en la plataforma Google Classroom las cuales, se sugiere, deben ser resueltas antes de abordar el problema.
3. Colaboración	Son espacios destinados para la interacción y comunicación entre alumnos-alumnos, alumnos-docentes. Tales como grupos en WhatsApp; correo electrónico; servicio de videoconferencia o la sección de comentarios públicos y privados en el aula virtual

4. Evaluación: Se utilizarán rúbricas validadas, para evaluar el aprendizaje de los alumnos, para el tema hidrodinámica y para valorar el conocimiento de la sustentabilidad; así como, listas de observación, para evaluar la función docente y la función del alumno.
5. Materiales de apoyo al desempeño Se proporcionan videos de ejercicios resueltos, crucigrama, sopa de letras, se realizan controles de lectura y guía para resolver el problema contextualizado y una guía para analizar las dimensiones de sustentabilidad.
-

Métodos para evaluar la intervención didáctica propuesta

No se debe perder de vista que, si se innova la forma de aprender también se debe innovar la forma de evaluar, al respecto se concuerda con (Ramírez et. al, 2018) sobre que: “Los conocimientos y competencias deben ser evaluados y evidenciados con la ayuda de instrumentos de evaluación objetivos y transparentes, las rúbricas son una buena opción [...]”.

Para evaluar el aprendizaje del tema que nos ocupa, se utiliza la rúbrica con validación de contenido y jueces expertos, esta rúbrica para evaluar aprendizaje de tipo conceptual sugiere analizar y valorar cuatro aspectos clave en el proceso de aprendizaje de un tema de física (hidrodinámica) para ingenieros, son: incremento del conocimiento técnico; aplicación del conocimiento técnico; conseguir resultados: ejecución de tareas con alto grado de calidad e interacción con sus pares y profesor; además es apta para usarse con estudiantes universitarios de Escobar et al., (2020).

Por su parte, para analizar lo relativo a la sustentabilidad, se decanta por una rúbrica analítica (Murga, 2015); también conveniente para estudiantes universitarios; porque se plantean indicadores de desempeño para tres potenciales niveles de logro, los cuales son indicadores perceptibles en las tareas que realizarán los estudiantes. Cada indicador, declara lo que se supone es una evidencia de validez del proceso formativo en su función de formar competencias para el

desarrollo sustentable. Para esta investigación y en armonía con el problema contextualizado propuesto, se evaluará únicamente la Competencia: sentido de responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras (ver anexo).

Resultados

De acuerdo con las etapas de la IBD sobre la fase 1, los hallazgos que se encuentran con el instrumento⁵ diseñado para inquirir el uso de la física en la ingeniería y la transversalidad con la sustentabilidad, el cual fue respondido por 158 estudiantes de la Universidad de Guanajuato, con rango de edad (18-23 años), son: según las respuestas a las preguntas planteadas, la mayoría manifiesta que resuelven problemas de física de situaciones reales (de empresas), en contraste, aproximadamente el 17 % manifiesta que no han resuelto problemas de física vinculados a problemas en una empresa. Por su parte el 24 % de los estudiantes, señalan que la universidad no los está formando para la sustentabilidad.

El 62 % de los estudiantes, señalan que no realizan actividades de aprendizaje vinculadas a identificar y medir las dimensiones de la sustentabilidad en alguna situación o problema académico.

Algo destacable de esta exploración con los estudiantes es que el 68 % cree que un proyecto puede considerarse sustentable si impacta la dimensión ambiental, esto es un indicio sobre que los estudiantes tienen un concepto erróneo sobre sustentabilidad. Algo destacable es que una gran mayoría reconoce que, para ser un profesional integral de la ingeniería, necesitan saber aplicar lo que aprenden y conocer las dimensiones de la sustentabilidad.

Sobre el análisis de las 177 universidades públicas y privadas que ofertan la licenciatura de ingeniería civil en México (El país, s.f.), un 59 %, al menos en la formalidad, señala que sus egresados tienen formación en sustentabilidad.

⁵ Resultados del instrumento para inquirir uso de la física, conocimiento y formación sobre sustentabilidad:
<https://drive.google.com/file/d/19yICMLiYRdh1SJUK57hKxwu2A7vavZSk/view?usp=sharing>

En relación con la fase 2, se analiza lo que proporciona la metodología Dipcing, dado que el modelo híbrido se acredita en el aula virtual y en la secuencia didáctica. Entonces, los hallazgos de Dipcing, son los siguientes:

a) Etapa central

De acuerdo con datos proporcionados por el departamento de Ciencias e Ingeniería de la universidad de Guanajuato, los estudiantes tienen un dominio básico en el área de ciencias básica (matemáticas), según los resultados de evaluaciones diagnósticas el promedio de rendimiento de los estudiantes es 4.53 de una escala del 0 al 10, puntualizando que esta valoración diagnóstica que realiza el departamento mencionado no incluye física.

Respecto al conocimiento sobre sustentabilidad, de acuerdo con una de las preguntas planteadas con el instrumento para esta etapa se evidencia que los estudiantes asocian la sustentabilidad únicamente a la dimensión ambiental, esto se considera un error, ya que, la noción sustentable implica el aspecto social y económico.

b) Etapa precedente

Se puede identificar que las actividades en la literatura universitaria de física (Sears y Freedman, 2005; Resnick et al., 2002; Tipler y Mosca, 2005) están focalizadas a resolver ejercicios, no problemas y menos contextualizados a la ingeniería; además tampoco son transversales a otros tópicos, como en la propuesta que se describe en este capítulo, la sustentabilidad.

Producto de la etapa precedente de la metodología Dipcing, algunos autores afirman que los ejercicios que proponen son aplicaciones a la ingeniería, cuando si se analiza el ejercicio, en realidad enmarcan una situación existente, y que, si bien es real, no deja de tener la estructura típica de ejercicio, datos conocidos, estructuración coherente y ordenada; además es de respuesta cerrada.

Es evidente que no existe en la literatura de física problemas contextualizados, aun cuando los autores afirmen de forma tautológica que son aplicaciones a la ingeniería. En este tenor

Escobar (2019); Escobar et al., (2022) señalan que la diferencia entre ejercicios y problemas contextualizados estriba en que los últimos, no son de respuesta cerrada, luego no están estructurados, pueden tener más de una respuesta y debe estimular la indagación. Los problemas contextualizados, se considera atienden tanto el contexto académico como industrial; además con esta propuesta se contribuye al desarrollo de investigación educativa basada en uso áulico.

c) *Etapas consecuentes*

Esta etapa como previamente se mencionó implica hacer investigación *in situ*. Inicialmente, se realiza el contacto con la empresa, esta actividad la efectúa el docente, donde explica los propósitos de la indagación. Se realiza una visita del docente a la empresa, la cual debe estar tutelada por algún ingeniero experto en el proceso, equipo o área donde se identifique una situación problema. Los docentes autores de este capítulo divisamos la construcción y arranque de la planta tratadora de aguas residuales y consideramos que era una oportunidad para analizar, debido a que el arranque de este proyecto tuvo inconvenientes de tipo técnico y operativo.

Antes de explicar esos inconvenientes que permitieron esbozar la situación-problema, entrevistamos al líder del proyecto, partiendo de preguntas base, de las cuales se proporcionan las respuestas proporcionadas por el ingeniero, con más de 35 años de experiencia en la industria química. Se precisa que este proyecto es multidisciplinario, porque participan especialistas en: ingeniería civil, química, eléctrica, ingeniería mecánica, otras especialidades como: biólogos y químicos bacteriólogos; sub especialidades, como: instrumentistas, proyectistas. Las respuestas de la entrevista, y los datos técnicos (moderadamente alterados debido al tema de secreto industrial) se encuentran en el apéndice A, a manera de evidencia de la realización de esta etapa y como material de discusión en el aula.

Las tres etapas anteriores dieron como resultado un problema, para ser resuelto por los estudiantes, que como se lee está vinculado a un tópico de física (hidrodinámica) es pertinente para estudiantes de ingeniería y es transversal al conocimiento y reflexión de la sustentabilidad. A continuación, el problema propuesto para ser resuelto por los estudiantes intitulado “Tratadora la purísima”:

La planta de tratamiento de aguas residuales la “Purísima”, requiere extraer 500,000 m³ por año del canal de aguas negras, para suministro de su proceso operativo y la fabricación de sus productos; además de abastecer agua a todo el proceso productivo y de servicios. Un parámetro clave es que el fluido que debe inyectarse a 50 microsiemens (µS) [arriba de ese valor se taponean las membranas de las celdas electrolíticas] al proceso. La inyección del fluido debe ser de aproximadamente 2 bares. Desafortunadamente, actualmente la purísima por alguna razón está proporcionando sólo el 25 % del caudal requerido. Ante este escenario:

- a) ¿Qué situación podría afectar la alimentación de flujo a las celdas?
- b) ¿Qué recomendaciones realizaría para evitar que se modifique la presión de inyección?
- c) ¿Qué sería conveniente, un sistema de tuberías en serie o paralelo?

Para cada pregunta guía, justificar la respuesta. De este mismo escenario completar la siguiente tabla para el análisis de sustentabilidad del proyecto ingenieril:

Planta de tratamiento de agua residual para uso industrial.	Dimensión	Preguntas guía	Indicadores aparejados con las normas nacionales e internacionales (link para consulta UNESCO, IDH)	Métricas	Actores clave	Cálculos/Justificaciones
	Ambiental	¿Cuántos litros de agua se van a tratar?	Cantidad en litros que se van a recuperar para uso industrial/Cantidad en litros que se van a recuperar para uso doméstico.			

	Social	¿Para quién es el beneficio?	Cantidad en litros que utiliza una persona por día, mes y año. Cantidad en litros que se puede utilizar para agricultura.			
	Económica	¿Cuánto dinero ahorra la CONAGUA, la empresa?	Costo unitario que tendría que pagar una persona por cada litro de agua potable y estimar el costo mensual y anualizado.			
Reflexión:						

Sobre la fase 3, se realiza el montaje y se anidan las instrucciones, materiales, videos y diversas actividades (crucigrama, sopa de letras, controles de lectura), foros de discusión, en la plataforma virtual en Goglee Classroom⁶. Con esto se cumplimenta lo relativo a la parte virtual y la parte presencial está pendiente de ejecutarse, tentativamente se aplicará en junio del 2022 con el primer grupo, para evidenciar de forma íntegra el modelo híbrido.

Acerca de la fase 4, este proceso, como se explicó previamente, se basa en una guía de diseño, la cual implica validar o valorar, según sea el caso, los siguientes objetos: secuencia didáctica, problema contextualizado; las funciones docentes y las funciones de los estudiantes; la satisfacción de la intervención educativa; el cumplimiento estricto de las fases de Dipcing y las características del modelo híbrido.

⁶ Liga para acceder al aula virtual: <https://classroom.google.com/c/NDkzOTI4MDAyMzgw?cjc=dvv7mon>

Así las cosas, la secuencia didáctica se sometió a validación de expertos, a través de un instrumento⁷ diseñado exprofeso para este propósito, con escala Likert, tomando en cuenta tres de cuatro criterios establecidos por Escobar y Cuervo (2008), criterios (claridad, coherencia y suficiencia). Entonces, se adaptaron para valorar el contenido de la secuencia didáctica propuesta, se prescindió del criterio relevancia debido a que lo que se evalúa se asume como una red de actividades que está concatenada y que requiere de todos los eslabones (actividades) para cumplir el propósito para la cual fue diseñada.

Para evitar el subjetivismo y eventual parcialidad en este proceso de validación se recurre a la guía para la realización de un juicio de expertos (Escobar y Cuervo, 2008). Se precisa que, se hace una adaptación para evaluar atributos (Alvarado, 2008), dado que los jueces no están evaluando ítems, debido a que los criterios de la secuencia son lo análogo a atributos, donde los datos (respuestas a seleccionar por los jueces) son del tipo ordinal y se evalúan con una escala de tipo polinómica (0 al 3). Entonces, la mencionada guía señala los siguientes pasos, que a continuación se describen:

1. Definir el objetivo del juicio de expertos: En este apartado los investigadores deben tener clara, para esta indagación fue evaluar tres criterios para la secuencia didáctica propuesta.
2. Selección de los jueces: Se convocó a seis jueces expertos, quienes tienen un rango de 16 a 28 años de experiencia en la docencia; cuatro con grado de doctorado en ciencias; dos con grado de maestría en ciencias; las profesiones son: tres físicos; un biólogo; un ingeniero arquitecto y un ingeniero mecánico
3. Explicitar tanto las dimensiones como los indicadores que está midiendo cada uno de los criterios a evaluar.
4. Especificar el objetivo de la secuencia didáctica; El cual se resume en la contextualización de la física para la ingeniería, teniendo como tema transversal la sustentabilidad.

⁷ Liga para acceder al instrumento para validación de la secuencia didáctica:
<https://docs.google.com/forms/d/1UehiQdvvXlmRk86zp9YMEqWZAKmS8kCWfyHDHMIVKIA/edit#responses>

5. Establecer los pesos diferenciales de las dimensiones del instrumento: Para nuestro caso no aplica, cada criterio o atributo tiene la misma preeminencia.

6. Diseño de planillas: Se proporcionó toda la información en un formulario en Goglee Classroom para facilitar el análisis de la información, adaptando la planilla propuesta por Escobar y Cuervo (2008).

7. Calcular la concordancia entre jueces. El cálculo del coeficiente de validez de criterio (V) de Aiken (1985), es válido para el análisis de concordancia y validez para el análisis no sólo de ítems, también de factores de datos con escala ordinal, como reportan Guevara y Veytia (2021). El coeficiente (V) se determina como la razón de un número que se obtiene de la máxima adición de la diferencia de valores posibles. Para nuestro caso se calcula sobre las valoraciones de un conjunto de seis jueces con relación a cada criterio. Como se mencionó las valoraciones asignadas son polinómicas, haciendo uso de la ecuación 1; donde $S =$ es la sumatoria de los s_i ; $s_i =$ valor asignado por el juez i ; $n =$ número de jueces y $c =$ número de valores de la escala para nuestro caso son 4, ya que cada respuesta se le asignó un valor ordinal del 0 hasta el 3, véase tabla 5.

$$V = \frac{S}{(n(c-1))} \quad \text{Ec. 1}$$

Tabla 5

Validación de contenido de la secuencia didáctica

Criterios para evaluación de la secuencia didáctica	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Juez 6	Sumatoria por criterio	V (Aiken)
	Coherencia	3	3	3	1	3		
Claridad	2	3	0	0	2	3	10	0.56
Suficiencia	3	3	3	2	3	2	16	0.89

El coeficiente (V) de Aiken, puede tener valores entre 0 y 1, de tal suerte que entre más cercano al 1, el criterio tendrá una mayor validez de contenido, es decir, un mayor acuerdo entre jueces sobre los criterios evaluados de la secuencia didáctica (Escurra, 1988).

8. Elaboración de las conclusiones del juicio: De esta valoración dos de los jueces sugieren modificaciones a la secuencia en cuanto a redacción, precisar los momentos de intervención de los actores clave (alumnos y docente); ya que, como se demuestra con el coeficiente de validez, el criterio que más se aleja del 1, es el de claridad $V = 0.56$, por ello se procedió a realizar los ajustes con base en las observaciones emitidas por los jueces. Por su parte para los criterios coherencia y suficiencia dado que se obtuvieron valores que tienden a 1, se considera que el grado de concordancia es aceptable y no se realizaron modificaciones al respecto.

Sobre el problema contextualizado, se requirió la valoración de cuatro jueces: dos físicos educativos, un matemático educativo y un biólogo. Para esta asignación, también se diseñó un instrumento⁸ con escala Likert, el objetivo fue inquirir si el problema que se evaluó puede representar un reto cognitivo tomando como base las características mínimas necesarias para situaciones problemas (Medina y Sevilla, 2008), es decir, abiertos y mal organizados; nivel de dificultad adecuado para el nivel que se propone; referirse a situaciones actuales y relevantes, basados en la vida profesional.

Respecto a la valoración, los ítems brindaron opciones con diferentes grados de medición con cinco posibles respuestas; donde los tres primeros niveles: totalmente de acuerdo, de acuerdo y ni de acuerdo, ni en desacuerdo, se consideran en el rango positivo de valoración (QuestionPro, s.f.).

Consecuencia de esta estimación por parte de los jueces expertos, se encontró que todos los jueces tienen una valoración positiva, excepto en lo relativo al interés que podrían tener los estudiantes sobre resolver un problema de este tipo, uno de los jueces estuvo en desacuerdo.

⁸ Liga para acceder al instrumento para validación del problema contextualizado:
<https://docs.google.com/forms/d/11rjrLjZmxwVlge-OM3Tt7laZSMKWmzk4tlkuwBVPxN4/edit#responses>

En relación con las funciones docentes y de los alumnos, estas podrán ser valorizadas una vez que se ponga en escena esta propuesta, cómo se indicó en el apartado: “Guía de diseño para validación de la secuencia didáctica”, se diseñaron listas de observación (apéndices B y C) y una encuesta de satisfacción para los estudiantes (apéndice D). Sobre la observancia de las etapas de Dipping y el modelo híbrido, el lector podrá juzgar que se cumplieron y justificaron completamente a lo largo de este artículo.

Por lo que, se aprecia se hizo uso sistematizado de la “Guía de diseño para validación de la secuencia didáctica” para el acatamiento de la fase 4.

Finalmente, en lo concerniente a la fase 5, este artículo es parte de la evidencia de la observancia de esta etapa.

Conclusiones

Prima facie se logra diseñar una intervención educativa, de forma metodológica, con orientación para el conocimiento y cuantificación de la sustentabilidad en el aprendizaje de la hidrodinámica con estudiantes de ingeniería, logrando el objetivo planteado por esta investigación.

Entonces, con base en la pregunta de investigación, es probable que a través de esta propuesta la física favorezca el conocimiento y formación sustentable de los ingenieros, para nuestro propósito civiles. Desde luego, el fenómeno de construcción cognitiva es multifactorial, ya que, se considera que el profesor tiene que cumplir de forma fidedigna las funciones que le corresponden y los estudiantes también; además de entrar en juego las habilidades de los estudiantes en lo relativo a la argumentación y discusión, a través de los foros y, desde luego, la realización de todas las actividades de aprendizaje. Esto sólo se podrá analizar hasta que esta propuesta de intervención se ejecute de forma completa (virtual y presencial), con los instrumentos que ya se diseñaron para analizar el fenómeno educativo.

Los datos recolectados a partir de los instrumentos diseñados expreso para esta indagación apuntan a que la propuesta es apropiada para aprender física y robustecer el conocimiento y formación sustentable, para la ingeniería civil, e incluso para otras ingenierías. Destacando, de acuerdo con lo que se evidencia en los datos proporcionados por los mismos estudiantes que la

mayoría tiene la creencia que ejercicios y problemas son lo mismo, por lo que, es posible que en su formación no se les exponga a situaciones problema de física en contexto.

Luego, recurrir a la validación de propuestas integradoras a través de jueces expertos y métricas que proporcionan magnitudes para reducir el subjetivismo, lo anterior se considera es la vía para sistematizar estrategias de aprendizaje que pretenden ser transversales, ya que, se requiere de conocimiento y experiencia disciplinar y didáctica, multidisciplinar.

Finalmente, en aras de fomentar que los profesores utilicen experiencias de aprendizaje para sus estudiantes, se destaca que un diseño didáctico debe apuntar a ser útil para otros docentes en contextos reales y también útil para la formación de la futura fuerza laboral. Por lo que, a lo largo de este artículo se ha argumentado el potencial de utilidad y pertinencia de los problemas contextualizados de física para ingeniería y la transversalidad con temas fundamentales para la humanidad.

Referencias bibliográficas

- Aiken, L. R. (1985). Tres coeficientes para analizar la confiabilidad y validez de las calificaciones. *Educational and Psychological Measurement*, 45, 131-142.
- Alvarado, F. (2008). Análisis de concordancia de atributos. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(4), 29-35.
- Bauer, W., y Westfall, G. D. (2011). *University physics with modern physics*. McGraw-Hill.
- Behar, S. (2008.) *Metodología de la investigación*. Santiago de Cuba. Editorial: Shalom.
- Camarena, P. (2013). A treinta años de la teoría educativa “Matemática en el Contexto de las Ciencias. *Innovación Educativa*, 12(62), 17-44. <https://www.ipn.mx/assets/files/innovacion/docs/Innovacion-Educativa-62/a-treinta-anos-de-la-teoria-educativa-62.pdf>
- Carman, J. (2002). Blended learning design: Five key ingredients knowledge net. <http://blended2010.pbworks.com/f/Carman.pdf>
- Correia , S. y Fernando, D. (2017). Desafíos y dificultades en la enseñanza de la ingeniería a la generación Z: Un caso de estudio. *Propósitos y Representaciones*, 5(2), 127-183. <https://dx.doi.org/10.20511/pyr2017.v5n2.163>
- De Benito, B., y Salinas, J. M. (2016). La investigación basada en diseño en Tecnología Educativa. RIITE. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, 44–59. <https://doi.org/Http://dx.doi.org/10.6018/riite/2016/260631>
- Delgado (2018). Los retos de la fuerza laboral frente a la automatización. *Observatorio Tec*. Recuperado de: <https://observatorio.tec.mx/edu-news/los-retos-de-la-fuerza-laboral-frente-al-automatizacion>
- Díaz-Barriga, Á. (2013). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. *UNAM, México*.
- El país, (s.f.) *Universidades que imparten Construcción e ingeniería civil* <https://elpais.com/especiales/2015/carreras-mexico/carrera/universidad/construccion-e-ingenieria-civil.html>
- Escobar, F. (2019). Variante metodológica ABP Ctx para el aprendizaje de la dinámica de fluidos. Caso: ecuación de Bernoulli. Tesis doctoral no publicada. Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, México. <https://tesis-fiseducicata.herokuapp.com/tesisdoctorado.html>
- Escobar, F. (2020). ABP Ctx en el aprendizaje de dinámica de fluidos y desarrollo de pensamiento crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32(1), 89-96.

- Escobar, F., Ramírez, M. y Ruiz, J. (2020). Evaluando dinámica de fluidos vinculando un proceso. *Educación química*, 31(4), 112-121.
- Escobar, F., Ávila, G. y Suárez, L. (2022). Herramientas para la implementación del ABP y DIPCING en ingeniería en una modalidad híbrida. *Sinéctica*, 58(0).
- Escobar, F. (2022). Sustentabilidad, tricotomía compleja y entrelazada. *Elementos*, 7(24), 1-8.
- Escobar, J. y Cuervo, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6(1), 27-36.
- Escurra, M. (1988). Cuantificación de la validez de contenido por criterio de jueces. *Revista de psicología*, 6(1), 103-111.
- Fernández, A. (2018). Educación para la sostenibilidad: Un nuevo reto para el actual modelo universitario. *Research, Society and Development*, 7(4), 165-174.
- Flores, W., León, O., Almanza, I., Lopes, M., Córdova, M., Martínez, F., Pantoja, C., Sarraipa, J., Calderón, D., Gutierrez y Restrepo, E., Guevara, J. (2019). Modelo de validación. Proyecto ACACIA. https://acacia.red/wp-content/uploads/2019/09/Manual_de_validacion.pdf
- Guevara, G., y Veytia, M. (2021). Validez de contenido de una rúbrica analítica del diseño de secuencias didácticas como mejora de la práctica pedagógica del equipo docente desde el enfoque de la socioformación. *Revista Electrónica Educare*, 25(1), 373-392.
- Guisasola J., Ametller J., Zuza K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1801. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Gutiérrez, J., Zuza, K., Zavala, G., y Guisasola, J. (2022). Deficiencias de comprensión y epistémicas de los estudiantes universitarios en la construcción de categorías explicativas sobre las relaciones trabajo-energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 47-64. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3306>
- Herrero, I. M. (2004). La utilización de medios y recursos didácticos en el aula. *Universidad Complutense de Madrid*, 6-7.
- Isoda, M., y Olfos, R. (2010). El enfoque de Resolución de problemas en la enseñanza de las matemáticas a partir del Estudio de Clases. Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso, PUCV.
- Iwuanyanwu, P. (2022). Facilitating Problem Solving in a University Undergraduate Physics Classroom: The Case of Students' SelfEfficacy. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 18(2), e2270. <https://doi.org/10.21601/ijese/11802>

- López Rupérez, F. (2017). Un análisis de la LOMCE a la luz del principio de Pareto. http://repositorio.ucjc.edu/bitstream/handle/20.500.12020/832/UN%20AN%c3%81LISIS%20DE%20LA%20LOMCE%20A%20LA%20LUZ%20DEL%20PRINCIPIO%20DE%20PARETO_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Medina, R. y Sevilla, G. (2008). La elaboración de problemas ABP. En *El aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria* (pp. 37-53). Servicio de Publicaciones.
- Merchán, J. D. (2017). Importance of empirical knowledge in civil works. *Tekhnê*, 14(2), 59-64.
- Murga, M. (2015). Competencias para el desarrollo sostenible: las capacidades, actitudes y valores meta de la educación en el marco de la Agenda global post-2015. *Foro de Educación*, 13(19), 55-83. <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.004>
- Nassaji, H. (2015). Qualitative and descriptive research: Data type versus data analysis. *Language teaching research*, 19(2), 129-132.
- Parra, S. C. (2018). Eco-alfabetización. *Infancias Imágenes*, 17(1), 117-124.
- Pérez, E., Vázquez, A. y Cambero, S. (2020). Educación a distancia en tiempos de COVID-19: Análisis desde la perspectiva de los estudiantes universitarios. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 331-350.
- Questionpro (s.f.). ¿Qué es la escala de Likert y cómo utilizarla? [Consultado el 4 de julio del 2020]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-escala-de-likert-y-como-utilizarla/>
- Ramírez, R., Escobar, I., Arribas, E., Franco, T., Maffey, S., Vidales, S., González, J. y Belendez, A. (2018). Evaluando competencias en física mediante rúbricas. *Revista Reamec* 6(1), 142-151
- Reeves, T. C. (2000). Enhancing the Worth of Instructional Technology Research through “Design Experiments” and Other Development Research Strategies. *International Perspectives on Instructional Technology Research for the 21st Century Symposium*. New Orleans, LA, USA.
- Resnick R., Halliday D., y Krane K. S. (2002). *Física, Volumen I*. Grupo Editorial Patria.
- Rivera, 2009. *La enseñanza de las ingenierías*. <http://publicaciones.anuies.mx/acervo/revsup/res076/txt2.htm>
- Román, (2020). Estrategias docentes para formar en la sustentabilidad. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/estrategias-docentes-sustentabilidad>
- Schneider Electric (2021). <https://www.se.com/ww/en/about-us/sustainability/>
- Sears, L., y Freedman, A. (2005). *Física universitaria*, Volumen I. Pearson Educación.
- Serway R., y Jewett J., (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería*, Volumen I. Cengage Learning.

- Shishigu, A., Hailu, A., y Anibo, Z. (2017). Problem-based learning and conceptual understanding of college female students in physics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 145-154.
- Suárez, Á. Dutra, M., Monteiro, M., y Marti, A. C. (2021). El embrollo de Bernoulli: una investigación sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en dinámica de fluidos. *Modelling in Science Education and Learning*, 14(2), 17-30.
- Sustainable Development Solutions Network Australia-Pacific (2017): Getting started with the SDGs in universities: A guide for universities, higher education institutions, and the academic sector. Australia, New Zealand and Pacific Edition. Sustainable Development Solutions Network – Australia/Pacific, Melbourne.
- Tipler, P. y Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología*, Volumen I. Reverté.
- UNESCO, 2021. Competencias para el trabajo y la vida. <https://es.unesco.org/themes/competencias-trabajo-y-vida>
- Universidad de Guanajuato (s.f.). Ingeniería Civil. <https://www.ugto.mx/licenciaturas/por-entidad-academica/campus-celaya-salvatierra/ingenieria-civil#:~:text=El%20egresado%20es%20capaz%20de,empleando%20las%20herramientas%20tecnol%C3%B3gicas%20disponibles.>
- Universidad Autónoma de Nuevo León (s.f.). UANL, entre las universidades más sustentables del mundo <https://puntou.uanl.mx/sustentabilidad/uanl-entre-las-universidades-mas-sustentables-del-mundo-greenmetric/>
- Universidad e investigación de Wageningen (s.f.) <https://www.wur.nl/>
- Vilches, A. y Gil, D. (2010). Física para un futuro sostenible. *Revista Española de Física*, 24 (4), 1- 3.
- World Economic Forum (2020). The future of jobs report 2020. Ginebra, Suiza. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf

Apéndice A

Sumario de entrevista a líder del proyecto de la planta tratadora de aguas residuales.

1. ¿Cuáles son las razones por las que la empresa decide construir su propia planta de tratamiento de aguas?

- Bajar costos de operación
- Dejar de extraer agua del subsuelo
- Tener operación sustentable

La planta está ubicada en la zona industrial del Estado de México, entonces, tanto en la ciudad de México, como en el área conurbada cada vez escasea más el agua para consumo humano, ya que, la población crece y los recursos tienden a disminuir, por lo cual el costo del agua limpia cada vez es más alto y con ello impactan de manera importante los costos de los procesos productivos en los que la gran mayoría de estos requieren grandes cantidades de agua para sus procesos operativos y de sus servicios.

2. ¿Cómo gestionaron este proyecto?

Cuando hay empresarios con visión de la importancia de la viabilidad de sus empresas al demandar recursos de primera necesidad como es el caso del agua, ven oportunidades de obtención de agua con la calidad que necesitan, obtenida de los canales de aguas negras de la ciudad de la que solo se debe pagar su tratamiento, haciendo los contratos y obteniendo las concesiones con la Comisión Nacional de Agua (Conagua) para dar certidumbre a dichos proyectos.

3. ¿Qué ventaja competitiva proporciona este tipo de proyectos a una empresa?

Se asegura el suministro de agua a la empresa ya que aguas negras siempre habrá y en volúmenes suficientes para poder sustituir el agua de pozo que actualmente se usa.

Se garantiza el grado de conciencia Ecológica de la empresa lo que le da mucho prestigio con la mayoría de sus clientes que tienen especial interés en este tipo de empresas que no solo en el discurso dicen estar preocupados por la sustentabilidad, sino que están tomando acciones concretas para posicionarse como empresas confiables por sus mejores prácticas de operación en favor del medio ambiente.

4. ¿Cómo utiliza la física un ingeniero en este tipo de proyectos?

Para la planta tratadora “purísima” de la empresa “X”, decidió llevar a cabo un proyecto para sustituir el uso de agua de Pozo por agua negra superficial. El proyecto tiene un beneficio que se considera es sustentable, ya que, no se necesitará extraer del subsuelo 500,000 m³ de agua del subsuelo, ya que, para el proceso de recuperación se requieren alimentar unos 20 litros por segundo, a una presión aproximada de 4 bar.

El proceso implica, primero pasar por un tratamiento de tipo biológico, luego químico y por último físico, de aquí el producto terminado se envía a tanque almacenes primarios de donde se dispone el agua para ser bombeada a otro tanque ubicado previo el proceso donde se usa el agua con la calidad obtenida de las membranas de osmosis inversa.

Esta agua terminada se usa en todos los procesos que demandan agua en la planta y que van desde procesos productivos donde se obtienen productos para venta, agua para servicios de operación de calderas, de torres de enfriamiento, riego de áreas verdes previo al cumplimiento de las normas aplicables en lo que se refiere a este último caso.

5. ¿Cuál es el costo aproximado de una planta de tratamiento de este tipo?

Alrededor de cien millones de pesos.

6. ¿Cuál es el costo unitario cuando se compra el agua?

Aproximadamente \$38 por m³

7. ¿Cuánto les costará producirla con esta nueva planta de tratamiento?

Aproximadamente \$23 por m³

8. ¿Cuáles son las situaciones e inconvenientes que han enfrentado en este proyecto?

Primero un retraso de 12 meses, debido a la pandemia por Covid 19; otra situación técnica que en este momento esperamos resolver en el proceso de las pruebas de operación, es que la calidad y la cantidad de agua que necesitamos para el proceso, no es la esperada. Ver figura 3

Figura 3

Tanque de lodos mezclados y agua suave



Fuente: Fotografía tomada con autorización de la empresa, por la primera autora de esta indagación.

Apéndice B

Lista de cotejo función profesor (sesión síncrona y asíncrona).		
Aspectos observables	Si	No
1. El profesor muestra habilidades comunicativas (transmitir ideas con claridad).		
2. El profesor modera las discusiones.		
3. El profesor muestra respeto a las ideas de los estudiantes.		
4. El profesor tiene capacidad para organizar y programar las actividades de aprendizaje en el marco de los objetivos de la asignatura.		
5. El profesor muestra capacidad para utilizar la plataforma educativa como herramienta didáctica para transmitir y motivar a los estudiantes.		
6. Promueve la lectura y consulta de otros materiales (artículos, videos, libros).		
7. El profesor retroalimenta las actividades de los estudiantes tomando en cuenta criterios de evaluación específicos y congruentes.		
Para ponderar, asigne un 1, si la respuesta es si; asigne un 0, si la respuesta es no. Puntaje total:		

Apéndice C

Lista de cotejo función alumno (sesión síncrona y asíncrona).		
Aspectos observables	Si	No
1. El alumno muestra habilidades comunicativas (transmitir ideas con claridad).		
2. El alumno escucha e interactúa de forma respetuosa ante las ideas de sus pares.		
3. El alumno refuta las ideas de sus pares de forma respetuosa, citando otras fuentes o con contraejemplos.		
4. El alumno se integra de forma proactiva a su equipo de trabajo, indagando, proponiendo y haciendo las actividades de aprendizaje propuestas.		
5. El alumno muestra capacidad para utilizar la plataforma educativa como herramienta didáctica para aprender.		
6. El alumno participa de forma constante con reflexiones, dudas, preguntas o sugerencias.		
7. El alumno participa en los foros de discusión de forma informada y coherente.		
Para ponderar, asigne un 1, si la respuesta es si; asigne un 0, si la respuesta es no. Puntaje total:		

Apéndice D

Encuesta para medir satisfacción y la percepción de los estudiantes sobre la secuencia didáctica.

1. Antes de esta secuencia didáctica, tenías conocimiento de la interrelación de todas las dimensiones de la sustentabilidad:
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
 - d) En desacuerdo
 - e) Totalmente en desacuerdo

2. Consideras que la secuencia didáctica [actividades de aprendizaje propuestas], ayudaron a desarrollar habilidades, tales como, *Información como fuente: búsqueda, selección, evaluación y organización de la información.*
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
 - d) En desacuerdo
 - e) Totalmente en desacuerdo

3. Consideras que la secuencia didáctica [actividades de aprendizaje propuestas], ayudaron a desarrollar habilidades, tales como: *Información como producto: la reestructuración y modelaje de la información y el desarrollo de ideas propias (conocimiento).*
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
 - d) En desacuerdo
 - e) Totalmente en desacuerdo

4. Recomendarías a otro profesor diseñar secuencias didácticas, que vinculen temas modernos de la Unidad de Aprendizaje, usar software, lectura de artículos, controles de lectura, análisis de situaciones reales.

- a) Totalmente de acuerdo
- b) De acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) En desacuerdo
- e) Totalmente en desacuerdo

5. Mientras realizabas cada una de las actividades, consideras que estuviste atento [concentrado leyendo, indagando, analizando, discutiendo, redactando]:

- a) Totalmente de acuerdo
- b) De acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) En desacuerdo
- e) Totalmente en desacuerdo

Anexo

Rúbrica de evaluación para sustentabilidad (Murga, 2015).

Componentes: Pensamiento anticipatorio. Compromiso ético y social. Responsabilidad: universal, sincrónica, diacrónica y diferenciada. Compasión y cuidado.			
Capacidad para...	Indicadores y niveles de desempeño (resultados de aprendizaje: el estudiante...)		
	Nivel 1 (Aprobado)	Nivel 2 (Notable)	Nivel 3 (Sobresaliente)
<ul style="list-style-type: none"> -Comprender los efectos que, a medio y largo plazo, tienen los comportamientos individuales sobre los usos y costumbres sociales, y, a través de ellos, sobre colectivos humanos de la propia comunidad y de otras. -Comprender las consecuencias de los comportamientos individuales y colectivos sobre las condiciones biológicas necesarias para la vida, presente y futura. -Adoptar alternativas posibles a los estilos de vida injustos e insostenibles hoy consolidados -Establecer relaciones humanas con criterios de equidad y justicia -Etcétera 	<ul style="list-style-type: none"> -Conoce los datos significativos de la huella ecológica y social de los países industrializados -Identifica los valores que subyacen a los usos y costumbres sociales dominantes en la vida cotidiana -Identifica las relaciones causales entre los usos y costumbres sociales y la actual crisis socio-ambiental -Autoevalúa críticamente el propio estilo de vida, e identifica los valores tácitos que priman en los comportamientos propios -Etcétera 	<ul style="list-style-type: none"> -Explica con argumentos el impacto de los usos sociales dominantes sobre las generaciones presentes y futuras; sus debilidades, fortalezas y consecuencias futuras. -Desde una perspectiva local, explica argumentativamente las implicaciones sociales y éticas de los valores identificados en cada situación -Anticipa posibles consecuencias y efectos de las acciones -Propone comportamientos alternativos para lograr los cambios necesarios -Etcétera 	<ul style="list-style-type: none"> -Desde una perspectiva <i>glocal</i>, explica argumentativamente las implicaciones sociales y éticas de los valores identificados en cada situación -Adopta prácticas y pautas de consumo alternativas -Realiza voluntariado social en ONG comprometido con la promoción del desarrollo sostenible. -Asocia distintos comportamientos cotidianos inspirados en una actitud de cuidado y empatía universal -Etcétera

Acerca de los autores

Fabiola Escobar Moreno, doctora en Ciencias con especialidad en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (Cicata) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Se desempeña como profesora de posgrado en CICATA. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores 2022-2025.

Francisco Antonio Horta Rangel, físico del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Guanajuato, investigador SNI, nivel 1, y se desempeña como profesor de ciencias, materiales y proyectos de obra civil y física teórica.

Mario Humberto Ramírez Díaz, doctor en Ciencias con especialidad en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (Cicata) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Se desempeña como profesor de tiempo completo en el posgrado en Física Educativa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1.