

DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2024.73.01.30>

How to Cite:

Villagrán-Villegas, L.Y., Patiño-Ortiz, M., Patiño Ortiz, J., & Siordia-Vásquez, X. (2024). Implementación de un modelo sistémico en la enseñanza de nanotecnología para la educación básica: Un estudio de caso. *Amazonia Investiga*, 13(73), 355-372. <https://doi.org/10.34069/AI/2024.73.01.30>

Implementación de un modelo sistémico en la enseñanza de nanotecnología para la educación básica: Un estudio de caso

Implementation of a systemic model in nanotechnology teaching for basic education: A case study

Received: December 21, 2023

Accepted: January 28, 2024

Written by:

Luz Yazmín Villagrán-Villegas¹ <https://orcid.org/0000-0003-3860-2923>**Miguel Patiño-Ortiz²** <https://orcid.org/0000-0002-5630-8077>**Julián Patiño Ortiz³** <https://orcid.org/0000-0001-8106-9293>**Xóchitl Siordia-Vásquez⁴** <https://orcid.org/0000-0002-8472-8001>


Resumen

Este estudio presenta un innovador modelo de enseñanza para la nanotecnología en la educación básica, que integra estrategias diseñadas para fomentar el aprendizaje significativo. Se aplica la taxonomía SOLO para evaluar la efectividad de las respuestas de los estudiantes. En un esfuerzo por avanzar en la calidad educativa a nivel mundial, México se enfrenta a desafíos derivados de factores tanto externos como internos. Este modelo se basa en la metodología de sistemas blandos, tratando el proceso educativo como un sistema influido por su contexto social y político. La evaluación de la calidad educativa se realiza a través del análisis de índices de deserción escolar y eficiencia terminal, adoptando un enfoque sistémico para identificar y tratar los principales factores que impactan estos indicadores en la enseñanza de las ciencias a nivel básico. El modelo prioriza los aspectos críticos de la educación: contenido, evaluación, valores, entorno educativo y los roles fundamentales de profesores y estudiantes. Aunque específicamente desarrollado para la enseñanza de nanotecnología y nanociencia, el

Abstract

This study presents an innovative teaching model for nanotechnology in basic education, integrating strategies designed to promote meaningful learning. The SOLO taxonomy is applied to assess the effectiveness of student responses. In an effort to advance educational quality globally, Mexico faces challenges arising from both external and internal factors. This model is based on the soft systems methodology, treating the educational process as a system influenced by its social and political context. The evaluation of educational quality is carried out through the analysis of school dropout rates and terminal efficiency, adopting a systemic approach to identify and address the main factors impacting these indicators in science education at the basic level. The model prioritizes critical aspects of education: content, assessment, values, educational environment, and the fundamental roles of teachers and students. Although specifically developed for the teaching of nanotechnology and nanoscience, the model offers flexibility to adapt to other subjects, ensuring harmony between the objectives, goals,

¹ Doctora en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Profesora de la Universidad Veracruzana México, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, CDMX, México.  WoS Researcher ID: AAQ-8049-2021

² Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Profesor Investigador en el Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, CDMX, México.  WoS Researcher ID: JVZ-7493-2024

³ Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica y Doctor en Ciencias en Administración, Profesor Investigador en el Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, CDMX, México.

⁴ Doctora en Ciencias en Ingeniería Electrónica, Profesora de la Universidad Veracruzana México, Facultad de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, CDMX, México.



modelo ofrece flexibilidad para adaptarse a otras materias, asegurando una armonía entre los objetivos, metas y recursos disponibles dentro del contexto de la Nueva Escuela Mexicana.

Palabras clave: Modelo de enseñanza, educación básica, sistemas suaves, proceso enseñanza-aprendizaje (PEA), nanociencias para niños.

Introducción

La calidad educativa se enfoca en satisfacer las expectativas de la sociedad, valorándose por la habilidad del sistema educativo para responder a las demandas de la población, según Edwards (1991). En un contexto marcado por la globalización, el rápido avance tecnológico y las expectativas en constante evolución, resulta crucial formar individuos dotados de los conocimientos, habilidades, actitudes y valores necesarios para comprender, influir y mejorar su entorno. La necesidad de desarrollar este modelo de enseñanza de nanotecnología surge de desafíos específicos, como la brecha entre el avance acelerado en el campo de la nanotecnología y la capacidad de los sistemas educativos tradicionales para integrar estos avances de manera efectiva en sus currículos. Además, se enfrenta al reto de satisfacer la creciente demanda de profesionales capacitados en nanotecnología, lo que implica la necesidad de revisar y adaptar los métodos pedagógicos para incluir enseñanzas especializadas que respondan tanto a las necesidades del mercado laboral como a los imperativos de la innovación y el desarrollo sostenible.

La necesidad de innovación en la educación es imperante, enfocándose en metodologías activas como el 'aprender haciendo', que permiten a los niños interactuar directamente con los materiales, empleando pequeñas cantidades para experimentar y explorar las bases de la nanociencia. Esta aproximación práctica busca no solo fomentar la curiosidad y el interés en las ciencias desde una edad temprana sino también promover la inclusión y potenciar las áreas de STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas), asegurando que los beneficios de estas intervenciones educativas se proyecten a largo plazo y contribuyan a formar una sociedad más preparada y equitativa. El aprendizaje basado en indagación bajo enfoque STEAM es un enfoque interdisciplinario para ofrecer explicaciones desde las ciencias y los saberes de las comunidades.

and resources available within the context of the New Mexican School.

Keywords: Teaching model, basic education, soft systems, teaching-learning process (PEA), nanosciences for children.

Es fundamental desarrollar ciudadanos con una sólida cultura científica, ya que esto no solo mejora la gestión de la vida cotidiana, sino que también contribuye a abordar desafíos sanitarios y de supervivencia a nivel global, destaca (Bazán, 2006). No obstante, la educación moderna enfrenta un desafío significativo: la elección entre un conocimiento fragmentado y la necesidad de resolver problemas que son por naturaleza interdisciplinarios, multidimensionales y de alcance global, según (Morin, Ciurana, & Motta, 2002) sostiene que para que el conocimiento sea realmente relevante, es necesario integrar cuatro criterios esenciales que promuevan un aprendizaje significativo y, por ende, el desarrollo de una "inteligencia general".

La divulgación de la ciencia y tecnología se erige como una potente herramienta de comunicación que reúne a audiencias variadas, incluyendo expertos de diversas disciplinas, con el objetivo de aclarar temas específicos, según (Tutor Sánchez & Takeuchi, 2015). Este esfuerzo exige la capacidad de simplificar conceptos inherentemente complejos, haciéndolos accesibles y entendibles para todos (García & Foladori, 2015). Recientemente, la nanociencia y la nanotecnología han ganado notoriedad en la investigación, la divulgación y la educación científica, gracias a investigaciones de vanguardia con impacto social significativo, tales como el desarrollo de nuevos medicamentos, avances en materiales industriales y su aporte a la ciencia de materiales e ingeniería (Ledezma, 2019).

La formación en nanotecnología es crucial, ya que sienta las bases para el progreso científico en este campo y estimula a las nuevas generaciones, tanto en México como internacionalmente, a elegir carreras científicas (Winkelmann & Bhushan, 2016). Mediante su enseñanza, es posible destacar la amplia variedad de aplicaciones de la nanotecnología en la vida diaria. No obstante, la divulgación efectiva

requiere de estrategias definidas que incluyen la formación de docentes, el empleo de un lenguaje claro, la aplicación de conocimientos prácticos, charlas interdisciplinarias y enfoques pedagógicos variados (Robinson et al., 2014).

Este estudio busca generar un impacto positivo en los estudiantes de nivel básico, introduciéndolos en el fascinante mundo nanométrico de la nanociencia y la nanotecnología para despertar su curiosidad, enriquecer su comprensión de estos campos y promover el desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas (Rodríguez & Bernal, 2011). Este trabajo trasciende la teoría mediante un enfoque práctico y participativo: la creación de material didáctico innovador permite a los estudiantes experimentar y aplicar conceptos de manera activa y creativa (Capacho, 2011).

Marco Teórico

Este proyecto se enfoca en analizar un proyecto con el objetivo de comprender sus variables y frecuencias para, finalmente, sugerir soluciones en el desarrollo de modelos pedagógicos innovadores. Se fundamenta en la metodología de sistemas suaves, reconocida por su adaptabilidad, perdurabilidad y capacidad para abordar problemas no estructurados con significativas repercusiones sociales y políticas. A diferencia de enfocarse exclusivamente en los problemas inmediatos, esta aproximación se concentra en las circunstancias subyacentes que los originan.

Azabache (2012) (Acuña Salinas, 2020) señala que el diseño educativo está condicionado por un entorno dinámico, en el que intervienen factores sociales, políticos, económicos e históricos, impactando directamente en aspectos críticos como la reprobación y la deserción en asignaturas científicas.

(Checkland & Poulter, 2020) amplía esta visión identificando tres retos principales en el campo científico:

- **Complejidad Global:** El mundo, en su intrincada naturaleza, ha requerido que su estudio se divida en disciplinas específicas, como física o biología.
- **Ciencias Sociales:** A diferencia de las ciencias naturales con teorías consolidadas, las ciencias sociales no cuentan con leyes generales y enfrentan dificultades en la predicción de fenómenos sociales.
- **Aplicación Real de la Ciencia:** La toma de decisiones y la administración presentan problemas inherentes en la aplicación directa de la ciencia al mundo tangible.

(Checkland, 1999) y (Rennie, 1992) proponen la metodología de sistemas suaves como un enfoque flexible para la resolución de problemas. Esta metodología, estructurada en siete fases, se fundamenta en principios de aprendizaje y está diseñada principalmente para analizar y mejorar situaciones complejas en la realidad, promoviendo el pensamiento sistémico en sus etapas clave.

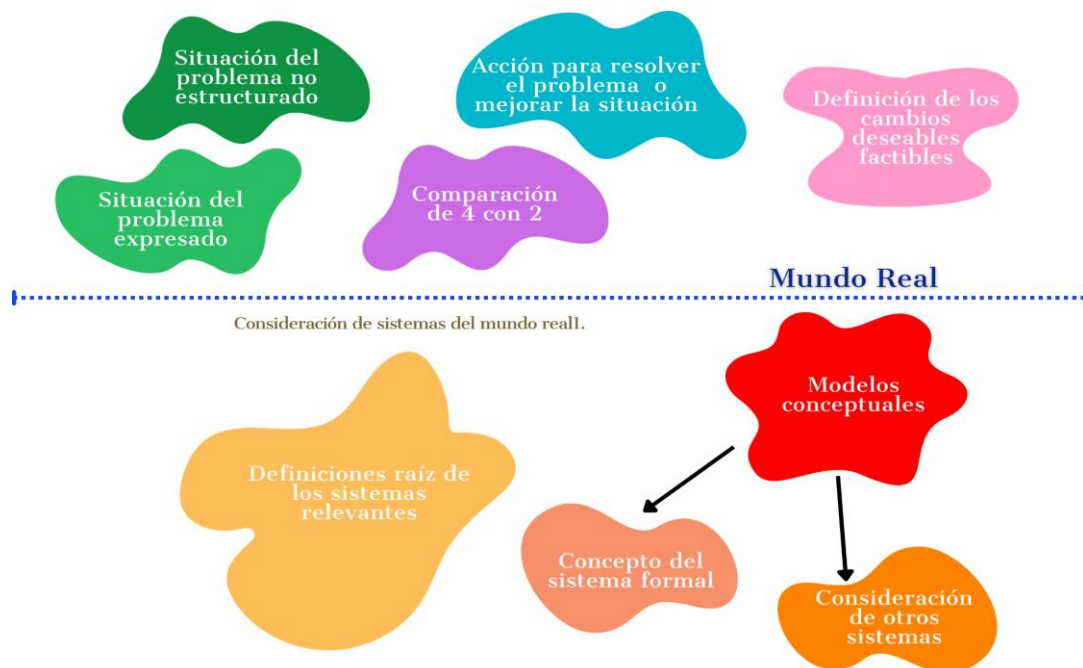


Figura 1. Metodología para sistemas blandos (Checkland & Scholes, 1999)

Para la presente investigación, se ha seleccionado el modelo de investigación como marco metodológico, debido a que este modelo presenta una estructura interna definida que reconoce y aborda problemas de naturaleza científica.

Esta estructura sirve como soporte esencial para la organización de los contenidos que se impartirán a los estudiantes (Ruíz, 2007). Las características distintivas del modelo de investigación incluyen:

- ❖ **Participación Activa del Estudiante:** *El modelo promueve que los estudiantes se involucren activamente en la construcción del conocimiento. Utilizan su saber previo como punto de partida para abordar y resolver proyectos o mini-proyectos.*
- ❖ **Rol Proactivo del Docente:** *Dentro de este modelo, es imperativo que el docente pueda diseñar y plantear problemas que sean relevantes y significativos para los estudiantes et al: (Ruíz, 2007) sugiere que, bajo este enfoque, el docente debe:*

- Diagnosticar las ideas previas de los estudiantes y facilitar la construcción de nuevos conocimientos.
- Fomentar la adquisición de habilidades de orden cognitivo.
- Estimular actitudes positivas hacia la ciencia y fomentar comportamientos científicos.
- Tender puentes entre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano.
- Evaluar y calibrar el nivel de comprensión científica de los estudiantes.

Con esta estructura y orientaciones, el modelo de investigación propone un enfoque pedagógico que busca una participación activa del estudiante y un rol dinámico y orientador del docente, considerando cuatro factores para que el conocimiento tenga sentido de pertinencia, los cuales son: el contexto, lo global (las relaciones entre todo y partes), lo multidimensional y lo complejo. (Tabla 1).

Tabla 1.

Los cuatro factores que se deben considerar para que el conocimiento sea pertinente.

1. El contexto	2. Lo global (las relaciones entre todo y partes)	3. Lo multidimensional	4. Lo complejo
El conocimiento de las informaciones o elementos aislados es insuficiente. Hay que ubicar las informaciones y los elementos en su contexto para que adquieran sentido. Para tener sentido la palabra necesita del texto que es su propio contexto.	Lo global es más que el contexto, es el conjunto que contiene partes diversas ligadas de manera inter-retroactiva u organizacional. De esa manera, una sociedad es más que un contexto, es un todo organizador del cual hacemos parte nosotros.	El conocimiento pertinente debe reconocer esta multidimensionalidad e insertar allí sus informaciones: se podría no solamente aislar una parte del todo sino las partes unas de otras.	El conocimiento pertinente debe enfrentar la complejidad. <i>Complexus</i> significa lo que está tejido junto; en efecto, hay complejidad cuando son inseparables los elementos diferentes que constituyen un todo.

Adaptado de (Morin, Ciurana, & Motta, 2002).

La educación contemporánea se halla ante múltiples retos y dificultades. Estos desafíos pueden originarse tanto por factores exógenos como endógenos. Tradicionalmente, se ha intentado abordar estas problemáticas de forma segmentada y lineal, siguiendo un "Enfoque analítico".

Esto implica que no se han tratado como componentes de un sistema unificado; un sistema se define como una entidad cuya existencia y funcionalidad dependen de la interacción armónica de sus componentes. En este contexto, cada componente está interconectado y colabora

de manera cohesiva, de acuerdo con el "Enfoque sistémico" (García & Reséndiz, 2017).

El enfoque sistémico se presenta como una metodología que organiza el conocimiento con el propósito de optimizar la acción (Rosnay, 1997). Por el contrario, el enfoque analítico busca fragmentar el conjunto para examinar cada elemento de forma individual, obviando las interconexiones y la dinámica global a la que pertenecen (Sáenz, 2009).

La **Tabla 2** subraya las diferencias fundamentales entre estos dos enfoques.

Tabla 2.
Las diferencias fundamentales entre el enfoque analítico y el enfoque sistémico.

Enfoque analítico	Enfoque sistémico
Aislado: Se centra en los elementos	Relacionado: Se centra en las interacciones entre los elementos.
Considera la naturaleza de sus interacciones.	Considera los efectos de las interacciones.
Se preocupa por la precisión del detalle.	Se preocupa de la percepción global.
Independencia de la duración: los fenómenos considerados son reversibles.	Integra la duración y la irreversibilidad.
La validación de hechos se realiza por prueba experimental dentro del marco de una teoría.	La validación de hechos se realiza por comparación del funcionamiento del modelo con la realidad.
Modelos precisos y detallados, aunque son difícilmente utilizables para la acción.	Modelos insuficientemente rigurosos para servir de base al conocimiento, no obstante, son utilizables en la decisión y acción.
Enfoque eficaz cuando las interacciones son lineales y débiles.	Enfoque eficaz cuando las interacciones son no lineales y fuertes.
Conduce a una acción programada en detalle.	Conduce a una acción por objetivos.
Conocimiento de los detalles, metas mal definidas.	Conocimiento de las metas, detalles borrosos.

Adaptado de (Rosnay, 1997).

Así, se adoptará la *Teoría General de Sistemas (TGS)*, que ha sido empleada en múltiples contextos como los físicos, biológicos, culturales y psicológicos (Mobus & Kalton, 2015). Su principal propósito es "analizar la realidad de manera global y las disciplinas que se enfocan en cómo los humanos abordan la solución de problemas, ya sea para comprender fenómenos o para intervenir en ellos" según lo señala et al: (Latorre, 1996).

Desde la perspectiva educativa, la TGS nos permite concebir el *proceso enseñanza-aprendizaje (PEA)* como un sistema donde diferentes actores convergen hacia un objetivo común. Un sistema se describe como "un

conjunto integrado por componentes interconectados de manera organizada, en el que las partes se influyen mutuamente dentro del sistema y se transforman al salir de él" (Van Gigch, 2012).

El PEA es entendido como un mecanismo de comunicación deliberada entre docente y alumno, desarrollándose principalmente en el aula, enmarcado por un contexto institucional (la escuela o centro educativo) que ofrece las condiciones adecuadas para diseñar estrategias dirigidas al aprendizaje. Por ende, el PEA debe incorporar las características esenciales de un sistema, tal como lo señala (Bertalanffy, 1986), ver Figura 2.

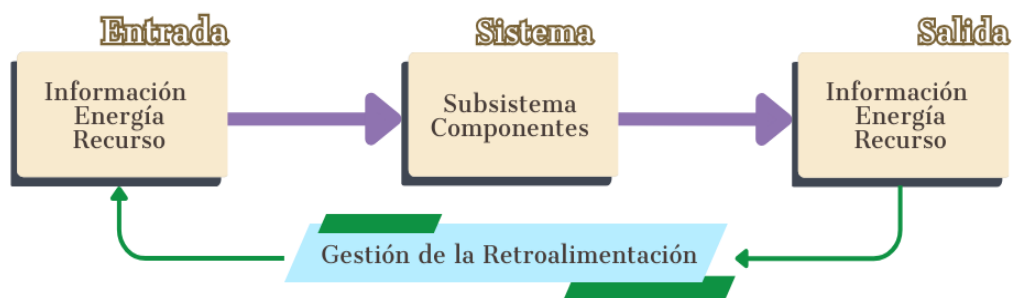


Figura 2. Funciones básicas realizadas por un sistema.
Adaptado de (Bertalanffy, 1986).

- **Entrada:** Es la fuerza de arranque que proporciona la información, energía o materia al sistema.
- **Salida:** Las salidas son el resultado de un proceso de transformación en el que se integran los elementos y sus relaciones, los

cuales deben ser afines con el objetivo del sistema.

- **Retroalimentación:** Es la función de regreso que tiene un sistema para confrontar la salida con algún criterio

preestablecido que gestiona el cumplimiento del propósito del sistema.

El PEA, al igual que la TGS, trabaja con diferentes niveles de complejidad, como se observa en la Figura 3.

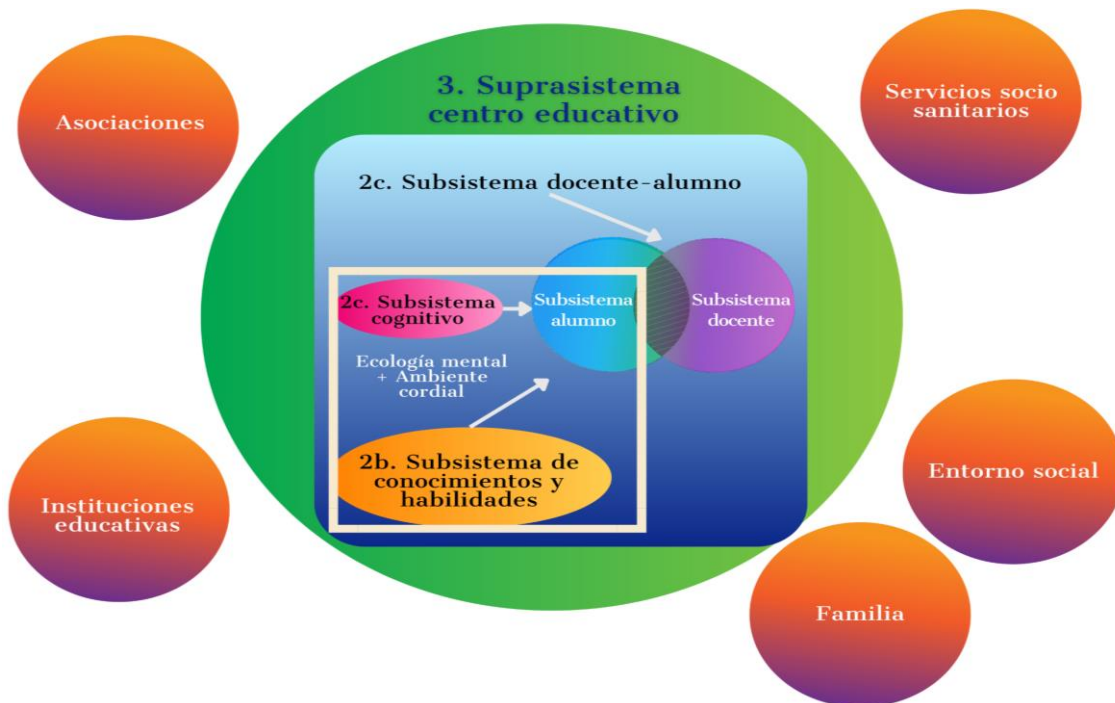


Figura 3. El sistema y suprasistema del *Proceso de Enseñanza-Aprendizaje*. Adaptado de (Compañ, 2018).

Los niveles de complejidad inherentes al PEA son:

- **Sistema:** Refiere al proceso integral de enseñanza-aprendizaje.
- **Subsistemas:** Estos constituyen los componentes del sistema principal. Dentro de estos encontramos:
 - a) **Subsistema cognitivo:** (Luffiego et al., 1991) et al: lo define como "una estructura dedicada a la selección, almacenamiento y procesamiento de información, dotada de capacidades distintivas de la especie

humana, pero sujeta a variaciones individuales".

En la Figura 4 se ilustra la interacción entre la información y el subsistema cognitivo, visualizándolo como un sistema abierto influenciado por diversos elementos, tales como la motivación, la información y la estructura conceptual. Estos factores inciden directamente en el aprendizaje, dado que, según (Johansen, 2004), el conocimiento "se expande mediante la absorción de información, es decir, al integrar mensajes que reconfiguran el entendimiento del receptor".



Figura 4. Influencia de la información en el sistema de cognición. Adaptado de (Luffiego et al., 1991)

La Figura 5 ilustra cómo la información se conceptualiza como un conjunto de datos procesados que poseen relevancia y significado. En contraposición, el conocimiento se construye a partir de la información enriquecida por

experiencias, reflexiones e interpretaciones, elevando su valor y haciéndolo esencial para la toma de decisiones y la implementación de acciones (Davenport, De Long, & Beers, 1998).



Figura 5. Proceso de convertir los datos en información y la información en conocimiento. Adaptado de (Davenport, De Long, & Beers, 1998).

- b) **Subsistema de Conocimientos y Habilidades:** El conocimiento se conceptualiza como un enfoque estructurado para deducir principios y esclarecer fenómenos, proporcionando soluciones a situaciones problemáticas (Morin, Ciurana, Motta, 2002) argumentan que "el pensamiento sistémico u organizacional permite establecer conexiones entre el conocimiento de las partes individuales y el conocimiento global, y viceversa".
- c) **Subsistema Docente-Alumno:** Este se define como un sistema social, compuesto por actores clave: estudiantes y docentes. La finalidad primordial de este subsistema es fomentar un ambiente propicio para el aprendizaje.
- **Suprasistema:** Representa el entorno que envuelve al proceso educativo. En el

contexto de este estudio, el suprasistema es el centro educativo, que se identifica como un sistema abierto debido a su continua interacción y adaptación al ambiente (Capacho, 2011) lo describe como una entidad que "se engancha en interacciones sociales a través de un currículo, situado en un contexto socio-histórico específico".

Es esencial reconocer que, al ver al centro educativo como un sistema abierto con la responsabilidad principal de prosperar mediante la adaptación y el intercambio de recursos con su entorno, se adopta una perspectiva socio-técnica. Esta perspectiva está compuesta por dos subsistemas esenciales, como se detalla en la Figura 6.



Figura 6. Los subsistemas que conforman al sistema socio-técnicos. Adaptado de (Stan, s.f)

Finalmente, es esencial destacar el entorno del sistema, que comprende todos los factores externos que circundan y afectan al centro educativo, influyendo en su comportamiento y trayectoria evolutiva. La relevancia radica en la interacción bidireccional entre el sistema y su entorno. Esta dinámica permite que tanto el sistema influya en su entorno como viceversa (Sáenz, 2009).

Metodología

Aplicación de la taxonomía *SOLO* (*Structure of Observed Learning Outcomes*) / *ERAO* (*Estructura del Resultado del Aprendizaje Observado*).

El objetivo es desarrollar un modelo con

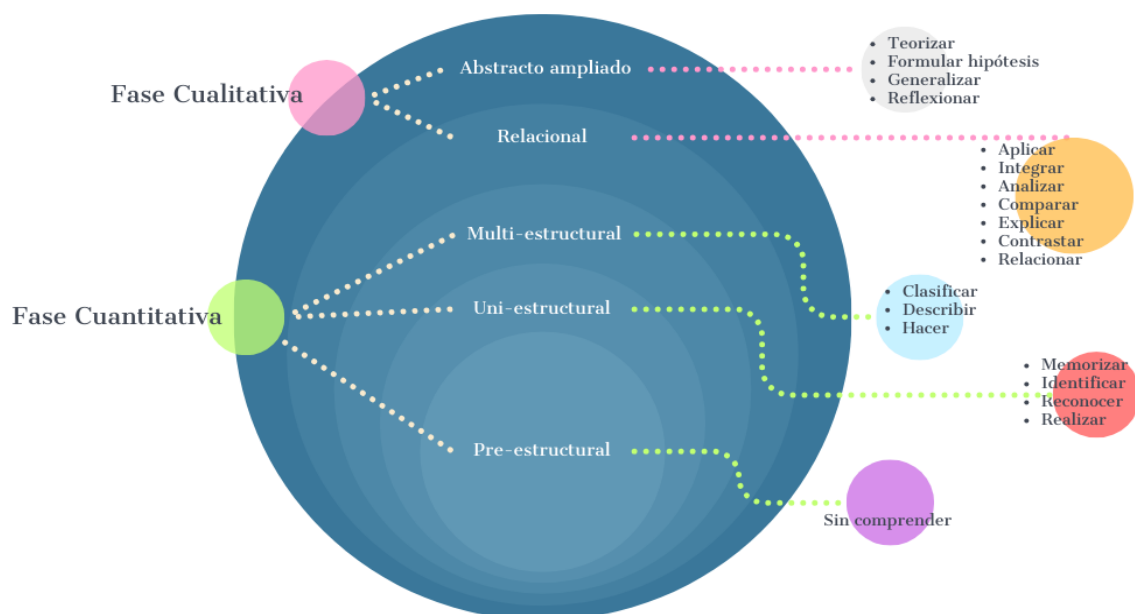


Figura 7. Los niveles de entendimiento y sus respectivos verbos que sugiere la taxonomía SOLO. Adaptado de (Biggs & Collis, 1982).

La taxonomía SOLO clasifica sus tres primeros niveles en una fase cuantitativa y los dos últimos en una fase cualitativa, los cuales se explican en la Tabla 3.

estrategias didácticas basadas en un enfoque constructivista, facilitando así la asimilación de conceptos por parte de los estudiantes. Para evaluar los logros obtenidos, se utilizará la taxonomía SOLO (*Structure of Observed Learning Outcomes*) o, en su versión en español, ERAO (*Estructura del Resultado del Aprendizaje Observado*).

Esta taxonomía se organiza jerárquicamente en cinco niveles. Cada nivel incorpora verbos específicos que actúan como indicadores para medir el grado de comprensión o la profundidad del entendimiento del estudiante sobre un tema determinado (véase Figura 7).

Tabla 3.
Descripción de los Niveles entendimiento de la taxonomía SOLO.

Fases	Nivel de entendimiento	Enfoque sistémico
Fase cuantitativa	Pre-estructural	El alumno no ha comprendido los conceptos. Sus respuestas son equivocadas y sin sentido.
	Uni-estructural	Sus respuestas son correctas para una parte específica del tema o tarea.
	Multi-estructural	El estudiante es capaz de contestar a diferentes aspectos del mismo tema de manera puntual, sin embargo, no muestra evidencias de poder integrar estos aspectos de manera conjunta.
Fase cualitativa	Relacional	El alumno tiene la capacidad de integrar los componentes de una temática en un conjunto coherente.
	Abstracto ampliado	En este nivel el alumno da respuesta a los cuestionamientos, más allá de lo trabajado en clase, se ha logrado que el estudiante sea activo en la construcción de su propio conocimiento.

Adaptado de (Biggs & Collis, 1982).

La información se recaba en la fase 1. En la fase 2 se diseñó una visión enriquecida en donde se expone el problema de forma estructurada con sus principales actores y relaciones que afectan

al proceso de aprendizaje; entre los que destacan los factores intrapersonales e interpersonales (Ver Figura 8).



Figura 8. Visión enriquecida del proceso de aprendizaje.
Elaboración propia.

En la Tabla 4 se definen los significados de cada imagen que conforma la visión enriquecida de la Figura 8.

Tabla 4.
Definiciones de la visión enriquecida del proceso de enseñanza-aprendizaje.

No.	Icon	Meaning	No.	Icon	Meaning
1		Proceso de Aprendizaje	12		Evaluación
2		Alumnos	13		Nivel Básico
3		Motivación	14		UNIVERSIDAD VERACRUZANA
4		Estilos y tipos de aprendizaje	15		SECRETARIA DE EDUCACIÓN Normatividad y lineamientos
5		Desarrollo biológico	16		Recursos económicos
6		Desarrollo cognitivo	17		Compañeros
7		Desarrollo socio-emotivo	18		Factores axiológicos
8		Desarrollo moral	19		Infraestructura (AULA)
9		Docente	20		Familia
10		Planes y programas de estudio	21		Contexto
11		Materiales y recursos didácticos	22		Campo laboral

Elaboración propia.

El modelo sistémico de enseñanza se estructura en cuatro fases esenciales:

- **Planeación:** Durante esta fase, es imperativo que el docente considere los

conocimientos previos del alumno, así como las creencias compartidas, tanto por él como por sus estudiantes. Es fundamental tener en cuenta el contenido específico de Nanociencias y los objetivos alineados a la

temática a desarrollar, sin omitir la dimensión axiológica, es decir, los valores. Para determinar los conocimientos previos de los estudiantes, es aconsejable realizar una evaluación diagnóstica basada en la taxonomía SOLO, que refleje tanto su nivel cognitivo como sus factores intrapersonales.

- **Diseño:** Esta fase se centra en la preparación meticulosa de estrategias, actividades, materiales y/o recursos educativos derivados de la información recopilada en la fase de planeación. La creación de estos materiales se basa en proyectos, ya sean reales o simulados, pues estos promueven habilidades cognitivas en los estudiantes. Un ejemplo puede ser el diseño de mini-proyectos (prácticas) orientados a responder ciertas interrogantes en contextos reales. Este modelo está imbuido de un enfoque constructivista, promoviendo la integración de nuevos conocimientos basándose en las

experiencias y saberes previos del estudiante.

- **Implementación:** Durante esta etapa, se ponen en práctica los recursos y estrategias previamente diseñados, materializándose en la interacción docente-alumno.
- **Evaluación:** Esta fase se desglosa en tres momentos clave: inicial, intermedio y final, también conocidos como modelo 3P (Presagio, Proceso y Producto). Esto implica primero determinar el nivel inicial de los estudiantes a través de una evaluación diagnóstica. Este conocimiento inicial guiará la implementación y diseño de estrategias posteriores. A lo largo del proceso, se evaluará de manera recurrente la eficacia y eficiencia del modelo en relación con el progreso de los estudiantes, identificando su nivel cognitivo en consonancia con la taxonomía SOLO, como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5.
 Niveles de comprensión de acuerdo a la taxonomía SOLO.

TAXONOMÍA SOLO	Niveles de comprensión		
Nivel 1. Pre-estructural	Sin comprender		
Nivel 2. Uni-estructural	Nivel Simple	Nivel Complejo	Memorizar Identificar Reconocer Realizar
	Terminología	Cuestión conceptual	
Nivel 3. Multi-estructural	Nivel Simple	Nivel Complejo	Clasificar Describir Hacer
	Elementos desorganizados	Infinidad de detalles	
Nivel 4. Relacional	Nivel Simple	Nivel Complejo	Aplicar Integrar Analizar Comparar Explicar Contrastar Relacionar
	Integración de datos	Aplicación de conceptos a un problema.	
Nivel 5. Abstracta ampliada	Nivel Simple	Nivel Complejo	Teorizar Formular hipótesis Generalizar Reflexionar
	Aborda problemas	Cuestiona principios existentes.	

Adaptado de (Biggs & Collis, 1982).

La taxonomía de Bloom se basa en la clasificación de los objetivos educativos y está enfocado en tres puntos importantes que son: el cognitivo, afectivo y el psicomotor; por ello se utiliza como un apoyo para saber ¿cómo ir

logrando los aprendizajes de un programa de estudio? y para el diseño de las estrategias. Se basa en diferentes etapas como se muestra en la Figura 9.

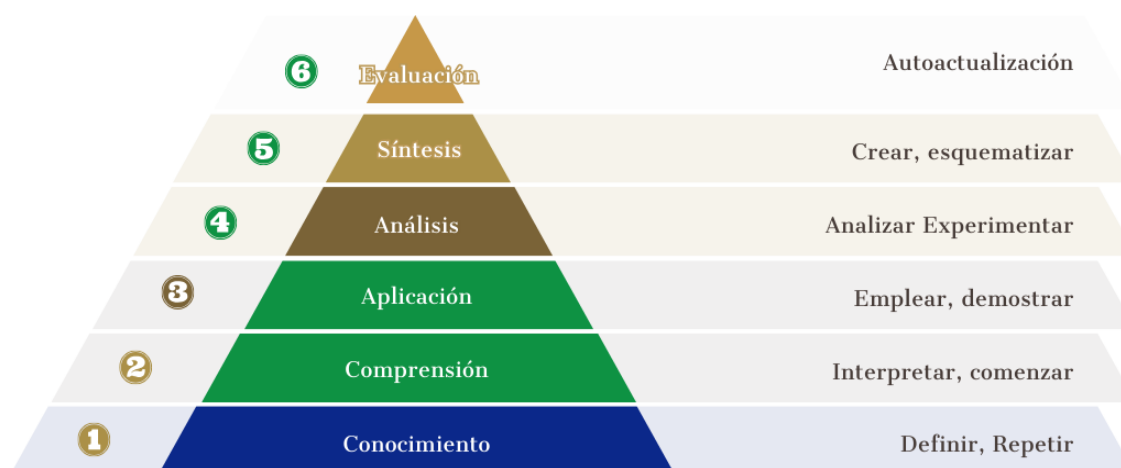


Figura 9. Niveles de los objetivos en la taxonomía de BLOOM
Adaptado de (Bloom, 1956).

Para cada uno de sus niveles tiene como apoyo un conjunto de verbos, que servirán como una guía para el docente, la cual permite analizar el mapa curricular y evaluar el nivel de aprendizaje o conocimiento a adquirir. Cada uno de los niveles tiene un propósito y son:

- **Conocimiento:** Está enfocado en la memorización de información.
- **Comprensión:** Entendimiento de la forma más simple de la información.
- **Aplicación:** La interrelación de la información y la realidad.
- **Análisis:** La división del todo en sus partes y la asimilación de cada una de sus partes.
- **Síntesis:** La comparación de la integración de sus partes, para construir un todo.
- **Evaluación:** La crítica para generar ideas nuevas y soluciones.

La metodología de implementación del proyecto "Nano para Niñas, Niños y Jóvenes" integra las taxonomías de Bloom y SOLO a través de seis fases estratégicas:

Fase 1: Preparación y Alianzas

Bloom: Conocimiento – Crear conciencia sobre las nanociencias.

SOLO: Pre-estructural – Reconocimiento de la diversidad en el conocimiento.

Desarrollo: Establecimiento de alianzas y reclutamiento de instructores con énfasis en la adaptabilidad pedagógica para abordar los variados niveles de comprensión de los estudiantes en Nanociencias.

Fase 2: Capacitación de Instructores

Bloom: Comprensión y Aplicación – Capacitar en la teoría y práctica de las nanociencias.

SOLO: Uni-estructural – Enseñanza de conceptos clave individualizados.

Desarrollo: Formación exhaustiva de instructores en conceptos de nanociencias y técnicas didácticas, enfocándose en la comprensión y aplicación práctica de conceptos individuales.

Fase 3: Desarrollo Curricular

Bloom: Análisis – Diseñar el currículo con actividades que promuevan el análisis crítico.

SOLO: Multi-estructural – Distinguir y relacionar múltiples conceptos.

Desarrollo: Creación de un currículo que integre actividades prácticas y demostrativas, diseñadas para facilitar el análisis y la comprensión de la interrelación entre diversos conceptos de nanociencias.

Fase 4: Implementación del Programa

Bloom: Síntesis – Integrar conocimientos en experiencias prácticas.

SOLO: Relacional – Comprender las interconexiones de los conceptos.

Desarrollo: Ejecución de sesiones prácticas en las escuelas, permitiendo a los estudiantes experimentar la síntesis de conocimientos de nanociencias, efectuar experimentos para comprender conceptos básicos de nanociencias y entender sus aplicaciones prácticas y teóricas en el mundo real.

Fase 5: Evaluación y Mejora Continua

Bloom: Evaluación – Crítica y reflexión sobre el aprendizaje.

SOLO: Extendido Abstracto – Aplicación del conocimiento en nuevos contextos.

Desarrollo: Recopilación de retroalimentación y realización de evaluaciones sumativas para medir la comprensión y aplicación de conocimientos en nanociencias, permitiendo la mejora continua del programa.

Fase 6: Sostenibilidad y Escalabilidad

Bloom y SOLO: Integración avanzada – Extender la aplicación de conocimientos y habilidades.

Desarrollo: Estrategias para asegurar financiamiento y creación de comunidades de aprendizaje (células de aprendizaje) que promuevan la innovación y aplicación de las nanociencias en contextos variados y sostenibles en niveles superiores de educación, para alumnos con barreras de aprendizaje y en lenguas originarias.

Al integrar las taxonomías de Bloom y SOLO, el proyecto asegura un enfoque educativo holístico que no solo abarca la adquisición y comprensión de conocimientos, sino que también enfatiza la aplicación, el análisis, la síntesis y la evaluación de estos conocimientos en contextos reales y diversos. Esto permite desarrollar un aprendizaje profundo y significativo en nanociencias, fomentando la inclusión, la igualdad de oportunidades educativas y la estimulación de vocaciones científicas desde una edad temprana.

Resultados y discusión

El proyecto "Nano para Niños" en México busca promover la inclusión y el empoderamiento a través de la educación de calidad en ciencia y tecnología, alineándose con el Modelo de

Ciudadanos del Mundo de la UNESCO, la Economía Circular y el Manifiesto 2030. Con un enfoque en las nanociencias y nanotecnología, se propone igualar oportunidades educativas, especialmente para niñas, y fomentar prácticas sostenibles. El proyecto se sincroniza con el Manifiesto 2030 al educar sobre materiales avanzados y su impacto en la sociedad, impulsando la innovación, la sostenibilidad y la colaboración comunitaria, con el objetivo de preparar a futuros innovadores en campos científicos y tecnológicos.

La Figura 10 muestra el modelo sistémico que integra el sistema cognitivo; en la segunda etapa se realiza una evaluación diagnóstica que depende del tiempo que el profesor disponga para su aplicación, pero para el diseño de la prueba es necesario incorporar los criterios de la taxonomía SOLO, para conocer el nivel de entendimiento que tienen los alumnos de la asignatura o de un tema en particular.

La tercera fase consiste en revisar los objetivos de aprendizaje que se desean alcanzar, para identificar las categorías cognitivas que se quiere lograr con los estudiantes, los cuales dependen de la asignatura, nivel académico, contexto, etc. En este punto el docente realiza un análisis de las habilidades y actitudes presentes y ausentes en el estudiante para realizar la planeación de sus clases.

La cuarta etapa incluye algunas actividades que propone Bloom para lograr las categorías cognitivas; estas se integran a las estrategias de enseñanza, su diseño depende del resultado de la etapa anterior, del tema, del aprendizaje y la asignatura que se desean abordar. Se hace hincapié que estas actividades que están en el esquema no son todas; únicamente son un ejemplo para cada categoría cognitiva.

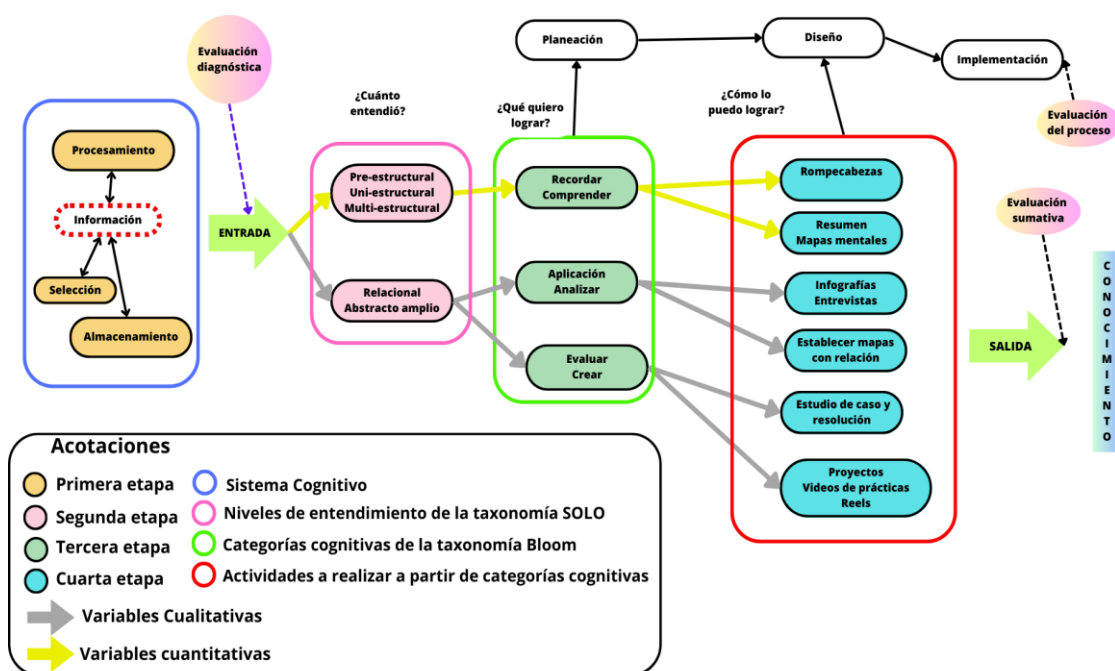


Figura 10. Modelo sistémico integrando la taxonomía SOLO y Bloom.
Adaptado de (Bloom, 1956).

La estrategia, ya revisada, se debe implementar con los alumnos y debe estar en constante evaluación para verificar si el proceso es eficaz y eficiente; por último, se aplica una evaluación sumativa para conocer el nivel de entendimiento alcanzado por el estudiante, de acuerdo con la taxonomía SOLO; esto permitirá identificar si el alumno fue capaz de transformar la información en conocimiento.

Un punto que se debe resaltar es que las evaluaciones deben ser congruentes con respecto a los objetivos propuestos en la planeación, que realmente midan las habilidades y actitudes que se pretenden alcanzar con los estudiantes. La evaluación debe ayudar no para detener en el camino a los más débiles, sino para identificar el grado de avance de cada uno, de manera que se apoye a todos, teniendo en cuenta la situación individual, para que todos lleguen hasta el final, alcanzando el mayor nivel posible de competencia en los conocimientos y habilidades que establecen los planes y programas (Martínez, 2004).

Este estudio ha incorporado elementos tanto cuantitativos como cualitativos. Se incluyeron en este estudio los 50 alumnos por escuela en la estrategia STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas, por sus siglas en inglés), que fueron seleccionados para representar el nivel básico (Gómez, 1981). La selección de la muestra no fue aleatoria, fue

asignada por autoridades educativas en función de variables como: nivel económico, infraestructura, tipo de escuela en zona urbana y es la única escuela Multigrado en la Ciudad de Poza Rica; Veracruz, México.

El proyecto "Nano para Niños" se implementó utilizando una metodología integrada basada en las taxonomías de Bloom y SOLO, dividida en seis fases estratégicas: preparación, capacitación de instructores, desarrollo curricular, implementación del programa, evaluación y mejora continua, y sostenibilidad y escalabilidad. Cada fase abordó distintos niveles cognitivos y estructurales, desde el reconocimiento de la diversidad en el conocimiento hasta la aplicación avanzada de este en contextos nuevos y variados. Durante la preparación, se establecieron alianzas y se reclutaron instructores, enfocándose en la adaptabilidad pedagógica para diferentes niveles de comprensión estudiantil en nanociencias. La capacitación de instructores incluyó formación teórica y práctica, mientras que el desarrollo curricular se centró en diseñar actividades para fomentar el análisis crítico y la interrelación de conceptos. La implementación permitió a los estudiantes experimentar prácticas de nanociencias, y la fase de evaluación aseguró la reflexión crítica y la aplicación de conocimientos en nuevos contextos. La última fase abordó la sostenibilidad del proyecto, promoviendo la innovación y la aplicación de nanociencias en contextos educativos ampliados. La estrategia

pedagógica fue diseñada para ser inclusiva, enfocándose en romper ciclos de desigualdad de género y fomentar el interés en campos STEM desde una edad temprana. Los talleres prácticos y los kits de prácticas reforzaron la enseñanza, proporcionando a los educadores herramientas para enseñar conceptos de nanotecnología de manera accesible. Esta metodología permitió una enseñanza y aprendizaje profundos de las nanociencias, alineando la educación con el Modelo de Ciudadanos del Mundo de la UNESCO, y destacando la importancia de la educación para el desarrollo sostenible, la inclusión social y la igualdad de género. Los resultados del proyecto reflejan el éxito en la creación de un marco educativo que empodera a los estudiantes a través del conocimiento y la aplicación práctica de las nanociencias, preparándolos para contribuir al desarrollo sostenible y la innovación tecnológica.

Los talleres proporcionaron demostraciones prácticas centradas en aspectos fundamentales de la nanotecnología. Estos incluyeron la comprensión de conceptos como la nano escala, nanociencia, nanotecnología, nanopartículas y nanomateriales, entre otros. Se destacó la capacidad de los estudiantes para representar sus aprendizajes a través de prácticas de laboratorio, logrando explicar la nanotecnología de una manera clara y accesible.

La formación ofreció conceptos diseñados especialmente para educadores de nivel básico, tales como "tamaño y escala" y "propiedades dependientes del tamaño". Se abordaron temas relevantes para la vida cotidiana, poniendo énfasis en la presencia y uso de nanomateriales en el entorno (Figura 11).



Figura 11. Proyecto piloto en Poza Rica; Veracruz, México, dirigido a niveles de primaria en la zona urbana.

En grupos de trabajo, los capacitadores presentaron prácticas de nanociencia a todos los participantes (Figura 12).



Figura 12. Proyecto piloto en Veracruz, nivel primaria, escuela multigrado.

Los docentes de nivel básico que participaron en los talleres del proyecto “Nano para niñas y niños” compartieron comentarios positivos, demostrando un marcado interés por la nanociencia y expresando satisfacción por los contenidos abordados.

Adicionalmente, se elaboró un kit de prácticas con material informativo dirigido a estudiantes de nivel básico. Este recurso brinda a los educadores una herramienta de consulta y apoyo, ofreciendo información detallada sobre la nanotecnología y sus diversas aplicaciones.

Conclusiones

Este modelo incorpora elementos de la taxonomía SOLO, enfocada en evaluar la calidad de las respuestas de los estudiantes y definir objetivos curriculares claros, así como de la taxonomía BLOOM, que organiza los objetivos educativos según dominios cognitivos, afectivos y psicomotores. Esto asegura que los estudiantes no solo reciban información, sino que también logren comprenderla profundamente. Comprender significa aprehender la información en su totalidad: contextualizarla, distinguir sus partes y su conjunto, y discernir lo general de lo específico. Mientras que la mera transmisión de

información no asegura su comprensión, una comunicación efectiva sí puede facilitarla.

El modelo sistémico propuesto destaca la esencialidad de una evaluación continua y adecuada en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta evaluación beneficia no solo al alumno, sino también al docente, permitiéndole una retroalimentación continua y la oportunidad de reflexionar sobre la eficacia de su metodología de enseñanza.

La transformación de la información en conocimiento efectivo por parte del estudiante requiere la integración de cuatro componentes clave del sistema educativo:

- El sistema cognitivo, diseñado para seleccionar, almacenar, procesar y depurar información.
- La evaluación diagnóstica, para identificar necesidades y adaptar el aprendizaje.
- Los objetivos de aprendizaje específicos adaptados a cada disciplina.
- La implementación de actividades diseñadas para estimular el desarrollo cognitivo.

El éxito del proceso evaluativo depende significativamente de las competencias y

actitudes del docente, quien debe apoyarse en el currículo y ajustar su enseñanza a las necesidades individuales de cada estudiante.

Para lograr los resultados educativos deseados, es crucial que el docente alinee de manera coherente las competencias a desarrollar, los resultados de aprendizaje esperados y las estrategias evaluativas a implementar.

Referencias bibliográficas

- Acuña Salinas, E. (Diciembre de 2020). Aplicación de una metodología de sistemas blandos para la elaboración de un sistema de mejora de una institución educativa: caso Una universidad privada. *Paidagogo: Revista de Investigación en ciencias de la educación*, 2(2), 22-46. <https://doi.org/10.52936/p.v2i2.30>
- Bazán, L. J. (2006). *Orientación y sentido de las áreas del plan de estudios actualizados*. México: UNAM. Obtenido de <https://acortar.link/MXsuLI>
- Bertalanffy, L. V. (1986). *Teoría General de los Sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. (Quinta ed.). (J. Almella, Trad.) México: Fondo de Cultura Económica S.A de C.V. Obtenido de <https://acortar.link/7ZAe9F>
- Biggs, B. J., & Collis, F. K. (1982). *Evaluating the Quality of Learning: The taxonomy*. Elsevier, Inc. doi: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-10375-3>
- Bloom, S. B. (1956). *Taxonomía de objetivos educativos: la clasificación de metas educativas*. Michigan, Estados Unidos: Longmans. Obtenido de <https://acortar.link/QnIZmT>
- Capacho, P. J. (2011). *Evaluación del aprendizaje en espacios virtuales-TIC* (Impresa ed.). Universidad del Norte. Edición 1. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1c3pz47>
- Compañ, P. E. (2018 de Julio de 2018). *Modelo sistémico aplicado al mundo educativo*. Instituto Alicantino de la Familia, Pedro Herrero. on line. <https://acortar.link/BO7mSt>
- Checkland, (1999). *Systems thinking, systems practice*. John Wiley & Sons. Obtenido de <http://evidence.thinkportal.org/handle/123456789/25702>
- Checkland, P., & Poulter, J. (2020). *Soft Systems Methodology*. In: Reynolds, M., Holwell (Retired), S. (eds) *Systems Approaches to Making Change: A Practical Guide*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7472-1_5
- Checkland, P., & Scholes, J. (1999). *Soft Systems methodology in action*. John Wilwy & Sons. <https://acortar.link/ga6c78>
- Davenport, T. H., De Long, D. W., & Beers, M. C. (1998). Building Successful Knowledge Management Projects. *ABI/INFORM Global*, (39), 43-57. Obtenido de <https://acortar.link/2SLFJV>
- García, G. M., & Foladori, G. (2015). Divulgación de Ciencia y Tecnología: Los límites del enfoque técnico en las nanotecnologías. *Revista Eureka sobre la enseñanza y la divulgación de las ciencias*, 12(3), 508-519. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5226905>
- García, M. M., & Reséndiz, J. L. (2017). El paradigma de Ackoff una administración sistémica. *XIKUA Boletín Científico De La Escuela Superior De Tlahuelilpan*, 5(9). <https://doi.org/10.29057/xikua.v5i9.2231>
- Gómez, D. G. (1981). La teoría general de sistemas aplicadas al análisis del centro escolar. *Revista de Educación*, 266, 5-40. Obtenido de <https://acortar.link/Ppu6Y0>
- Johansen, B. O. (2004). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. (N. Editores, Ed.) México: Limusa,. Obtenido de <https://acortar.link/Ymgkju>
- Latorre, E. E. (1996). *Teoría general de sistemas Aplicado a la solución integral de problemas* (Impresa ed.). Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle. Obtenido de <https://acortar.link/iZGMIY>
- Ledesma, M. J. (Junio de 2019). La comunicación de la nanotecnología del carbono a través del análisis crítico de textos informales en la educación química preuniversitaria. *Mundo Nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 12(22), 1-33. <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.61953>
- Luffiego, G. M., Bastida, D. I., Ramos, H. F., & Soto, L. J. (1991). *Propuesta teórica y experimental de un modelo sistémico de evolución conceptual*. (Impresa ed.). (C. d. Técnica, Ed.) Madrid, España: Ministerio de Educación y Ciencia. Obtenido de <https://acortar.link/XsYW9L>
- Martínez, R. F. (2004). ¿Aprobar o repobrar? El sentido de la evaluación en educación básica. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 9(23), 817-8939. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/140/14002303.pdf>
- Mobus, G. E., & Kalton, M. C. (2015). *Principles of Systems Science*. New York: Springer

- Verlang. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1920-8>
- Morin, E. R., Ciurana, E. R., & Motta, R. D. (2002). *Educación en la era planetaria. El pensamiento complejo como Método de aprendizaje en el error y la incertidumbre humana*. (UNESCO, Ed.) Valladolid, España: Universidad de Valladolid. Obtenido de <https://acortar.link/qeoKtM>
- Rennie, H. (1992). Soft systems methodology in action: the text for SSM teachers and practitioners? *La revista de la sociedad de investigación operativa*, 43(1), 77-79. <https://doi.org/10.2307/2583706>
- Robinson, A., Dailey, D., Hughes, G., & Cotabish, A. (Agosto de 2014). The Effects of a Science-Focused STEM Intervention on Gifted Elementary Students' Science Knowledge and Skills. *Journal of Advanced Academics*, 25(3), 189-213. Obtenido de <https://eric.ed.gov/?id=EJ1039758>
- Rodríguez, P. D., & Bernal, A. G. (2011). Experiencias en micro y nano escalas para niños y jóvenes. *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias Y Nanotecnología*, 4(2), 121-128. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2011.2.45080>
- Rosnay, J. D. (1997). *El macroscopio: Hacia una visión global*. Madrid, España: CV.
- Ruíz, O. F. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 3(2), 41-60. Obtenido de <https://acortar.link/Th17TJ>
- Sáenz, V. F. (2009). *Complejidad y Tecnologías de la Información*. (F. R. telecomunicaciones, Ed.) Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de https://dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_complejidad.pdf
- Stan, D. L. (s.f). *El modelo Tavistock de la organización: Los conceptos de la tarea principal y las fronteras*. (F. d. Argentina, Ed.) Obtenido de <https://acortar.link/FPVVRW>
- Tutor Sánchez, J., & Takeuchi, N. (1 de Julio de 2015). ¿Porque es necesaria la divulgación y la formación en nanotecnología? *MOMENTO Revista de Física*, (51), 45-58. <https://doi.org/10.15446/mo.n51.56204>
- Van Gigch, J. P. (2012). *Teoría General de Sistemas* (3a. ed.). México: Trillas.
- Winkelmann, K., & Bhushan, B. (2016). *Perspectivas globales de la educación en nanociencia e ingeniería*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31833-2>