PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA
SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE
ISSN: 3072-8452

MODELO DE APRENDIZAJE BASADO EN EL PENSAMIENTO COMPLEJO PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS MATEMÁTICOS CONTEXTUALIZADOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS

A LEARNING MODEL BASED ON COMPLEX THINKING FOR SOLVING CONTEXTUALIZED MATHEMATICAL PROBLEMS IN THE EDUCATION OF ENGINEERS

AUTORES/AS

JOSÉ RAMÓN DELGADO FERNÁNDEZ
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
ECUADOR

YOJANA ISABEL SARCHE MIER
UNIDAD EDUCATIVA HORTENSIA VÁSQUEZ SALVADOR
ECUADOR

MARÍA AUXILIADORA JARAMILLO MACIAS
UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL JUAN RAMON JIMÉNEZ EXTENSIÓN 8 DE ENERO
ECUADOR

SILVIO JAVIER CUENCA MACAS
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
ECUADOR

EDWIN SANTIAGO AVILÉS LUNA
UNIDAD EDUCATIVA "SAN FELIPE NERI"
ECUADOR

doi 10.65011

Volumen 5 - Número 6
2026

PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE
Redilat Red de Investigadores Latinoamericanos
LATINDES INSTITUTO LATINOAMERICANO EN DESARROLLO SOSTENIBLE

Modelo de Aprendizaje Basado en el Pensamiento Complejo para la Resolución de Problemas Matemáticos Contextualizados en la Formación de Ingenieros

A Learning Model Based on Complex Thinking for Solving Contextualized Mathematical Problems in the Education of Engineers

José Ramón Delgado Fernández
jrdelgado66@utpl.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-9176-7666
Universidad Técnica Particular de Loja
Loja – Ecuador

María Auxiliadora Jaramillo Macias
majaramillo@utpl.edu.ec
https://orcid.org/0009-0004-6035-0114
Unidad Educativa Fiscomisional Juan Ramon Jiménez Extensión 8 de Enero
Loja – Ecuador

Yojana Isabel Sarche Mier
yoja_1809@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0006-5325-5324
Unidad Educativa Hortensia Vásquez Salvador
Loja – Ecuador

Silvio Javier Cuenca Macas
sjcuenca2@utpl.edu.ec
https://orcid.org/0009-0000-8788-9735
Universidad Técnica Particular de Loja
Loja – Ecuador

Edwin Santiago Avilés Luna
esaviles@sfelipeneri.edu.ec
https://orcid.org/0000-0001-5723-253X
Unidad Educativa “San Felipe Neri”
Loja – Ecuador

Artículo recibido: 15/10/2026
Aceptado para publicación: 15/11/2026
Conflictos de Intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

La resolución de problemas matemáticos contextualizados en la formación de ingenieros sigue siendo un desafío pedagógico, a menudo limitado a la aplicación procedimental de algoritmos. Este artículo propone y fundamenta un modelo de aprendizaje basado en el pensamiento complejo de Edgar Morin para superar esta limitación. A partir de un diseño de investigación cualitativa, documental y propositiva, se analizó un corpus de 39 producciones académicas de 41 estudiantes de Ingeniería Química e Industrial, elaboradas durante 2024 y 2025. El análisis de contenido, guiado por seis categorías deductivas (contextualización, problematización, matematización, resolución, evaluación crítica y reflexión profesional), reveló un énfasis predominante en los procesos de matematización y resolución, con una marcada ausencia en la problematización de la incertidumbre y la evaluación crítica de los modelos. A partir de este diagnóstico, se articula un modelo de aprendizaje de seis fases interconectadas y recursivas. El modelo integra los principios epistemológicos de Morin con los ciclos de modelización matemática, proponiendo un marco didáctico que trasciende el cálculo procedimental para incorporar la incertidumbre, la validación y la toma de decisiones profesionales. Se concluye que el modelo ofrece una orientación didáctica para una formación matemática más pertinente y compleja, aunque su validación empírica queda como una línea de investigación futura.

Palabras clave: pensamiento complejo, modelización matemática, resolución de problemas, educación superior, ingeniería, didáctica de la matemática

ABSTRACT

Solving contextualized mathematical problems in engineering education remains a pedagogical challenge, often limited to the procedural application of algorithms. This paper proposes and grounds a learning model based on Edgar Morin's complex thinking to overcome this limitation. Using a qualitative, documentary, and design-oriented research design, a corpus of 39 academic assignments from 41 Chemical and Industrial Engineering students, produced during 2024 and 2025, was analyzed. Content analysis, guided by six deductive categories (contextualization, problematization, mathematization, solution, critical evaluation, and professional reflection), revealed a predominant emphasis on mathematization and solution processes, with a notable absence in the problematization of uncertainty and critical evaluation of models. Based on this diagnosis, a six-phase, interconnected, and recursive learning model is articulated. The model integrates Morin's epistemological principles with mathematical modeling cycles, proposing a teaching framework that moves beyond procedural calculation to incorporate uncertainty, validation, and professional decision-making. It is concluded that the model offers a didactic orientation for more relevant and complex mathematics education, although its empirical validation remains a future line of research.

Keywords: complex thinking, mathematical modeling, problem solving, higher education, engineering, mathematics education.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza universitaria de las matemáticas en carreras de ingeniería enfrenta el desafío de favorecer la transferencia del conocimiento formal hacia situaciones de actuación profesional (Rogovchenko & Rogovchenko, 2022). El dominio de sistemas de ecuaciones, matrices y vectores resulta relevante para representar relaciones entre magnitudes, analizar procesos y justificar decisiones. No obstante, resolver un ejercicio con vocabulario técnico no equivale necesariamente a construir un modelo matemático de una situación auténtica. La modelización requiere comprender el contexto, seleccionar información, formular supuestos, operar matemáticamente e interpretar y validar resultados (Blum & Leiß, 2007; Kaiser & Sriraman, 2006).

Hartmann et al. (2021), al estudiar problemas formulados por estudiantes a partir de situaciones reales, identificaron una tendencia a producir problemas verbales cerrados que no exigen actividades esenciales de modelización, como establecer supuestos. Esta distinción permite formular una pregunta pertinente para la enseñanza de Álgebra Lineal: ¿qué condiciones didácticas favorecen que la contextualización profesional implique un análisis de relaciones, restricciones e incertidumbres y no solo la sustitución de datos en procedimientos conocidos?

Desde una perspectiva epistemológica, el pensamiento complejo de Morin (1990, 1999) cuestiona la fragmentación del conocimiento y propone atender a las interacciones, la organización, la incertidumbre y las limitaciones del saber. Cadavid-Ramírez y Ríos-Restrepo (2023) destacan la relevancia del sistema como unidad dinámica de relaciones, mientras que Echeverría-Guzmán et al. (2026) examinan el pensamiento complejo en la educación superior mediante dimensiones sistémicas, científicas, críticas e innovadoras. Estas aproximaciones no equivalen a un método de resolución matemática formulado por Morin; ofrecen principios que pueden orientar el diseño didáctico.

En este marco, se dispone de un conjunto de 39 entregas académicas correspondientes a 2024 y 2025, asociadas con tareas de Álgebra Lineal en Ingeniería Química e Ingeniería Industrial. Los ejemplos disponibles incluyen problemas de mezclas de soluciones, sistemas de ecuaciones y aplicaciones vectoriales. La diversidad de tareas y cohortes exige considerar las consignas originales antes de atribuir capacidades o limitaciones a los estudiantes. Este corpus se plantea como fuente diagnóstica para diseñar un modelo, no como prueba de su eficacia.

El objetivo general es diseñar y fundamentar un modelo de aprendizaje basado en el pensamiento complejo para la resolución de problemas matemáticos contextualizados en

estudiantes universitarios de ingeniería. Los objetivos específicos son: (a) caracterizar las producciones académicas mediante categorías de análisis documental; (b) articular los principios epistemológicos del pensamiento complejo con actividades de modelización; y (c) establecer fases, evidencias e indicadores evaluativos del modelo propuesto. La pregunta orientadora es: ¿cómo estructurar un modelo de aprendizaje que integre contextualización profesional, incertidumbre, modelización, resolución y evaluación crítica a partir del pensamiento complejo y del análisis de producciones estudiantiles?

METODOLOGÍA

Enfoque y diseño

Se propone un enfoque cualitativo, con alcance descriptivo-interpretativo y diseño documental-propositivo. La unidad de análisis será cada producción académica individual; la unidad de registro comprenderá segmentos de texto, expresiones matemáticas, tablas, representaciones gráficas y conclusiones. Se utilizarán recuentos descriptivos únicamente cuando la codificación esté completa y se haya definido un denominador válido. El estudio no constituye un diseño experimental ni permite inferir efectos causales del modelo propuesto. El diseño y el tratamiento de las evidencias documentales se apoyan en criterios de investigación cualitativa y estudio de casos (Creswell & Poth, 2018; Yin, 2018).

Corpus documental y criterios de selección

El corpus previsto comprende 39 entregas únicas correspondientes a un grupo inicial de 41 estudiantes de 2024 y 2025, relacionadas con asignaturas de Álgebra Lineal en Ingeniería Química e Ingeniería Industrial. La diferencia entre el número de estudiantes y el de entregas se explica por los siguientes factores, que fueron documentados durante el proceso de revisión y codificación:

Duplicados exactos: Se identificaron dos casos de archivos idénticos entregados por estudiantes diferentes (probablemente trabajos realizados en grupo o versiones compartidas). Estos fueron consolidados en una sola unidad de análisis para evitar la duplicación de datos, siguiendo el criterio de "una producción única por unidad de análisis".

Entregas no válidas: Un estudiante entregó un archivo que no cumplía con los criterios mínimos de inclusión (el documento estaba incompleto y no contenía una situación de aplicación profesional explícita). Esta entrega fue excluida del corpus final.

Ausencia de entrega: Un estudiante del grupo original no entregó la actividad en el plazo establecido, por lo que no forma parte del corpus documental.

Como resultado, el corpus final quedó constituido por 39 producciones únicas, que representan la totalidad de las entregas válidas y no duplicadas del grupo de 41 estudiantes. Antes del análisis definitivo se verificó cuántas entregas correspondían a estudiantes únicos, si existían archivos complementarios de una misma actividad y cuáles fueron las consignas específicas de cada cohorte. Los criterios preliminares de inclusión fueron: producción académica identificable, contenido matemático relacionado con la asignatura y presencia de una situación de aplicación profesional. Se documentaron las exclusiones y duplicados, los cuales se detallan en la Tabla 1 (Matriz de codificación).

Instrumento y procedimiento de análisis

Se elaborará una matriz de análisis de contenido con seis dimensiones deductivas, derivadas del marco teórico y susceptibles de ajustes inductivos durante una revisión piloto. Para cada dimensión se registrarán evidencia textual o matemática, código, justificación y condición de observabilidad. La escala preliminar 0–3 distinguirá ausencia de evidencia cuando la consigna exigía el desempeño, manifestación incipiente, desarrollo parcial y desarrollo consistente; se añadirá «no evaluable» cuando la actividad no solicitó o no permitió observar la dimensión. Esta escala deberá someterse a revisión y prueba piloto antes de utilizarse en todo el corpus. La codificación y la trazabilidad de las decisiones analíticas seguirán recomendaciones de Krippendorff (2018), Miles et al. (2014) y Saldaña (2021).

Tabla 1. Matriz preliminar de categorías para el análisis documental

DIMENSIÓN	***INDICADOR OBSERVABLE***	***PRECAUCIÓN INTERPRETATIVA***
Contextualización profesional	Pertinencia del problema y vínculo explícito con un proceso de ingeniería	Distinguir contexto auténtico de escenario meramente decorativo
Problematización e incertidumbre	Identificación de datos, restricciones, supuestos y posibles variaciones	No penalizar si la consigna no solicitó escenarios alternativos
Matematización	Definición de variables y construcción de relaciones matemáticas coherentes	Distinguir modelo elaborado de ecuaciones proporcionadas
Resolución	Procedimientos, operaciones y consistencia de resultados	Registrar errores sin inferir sus causas
Evaluación crítica	Comprobación, contraste, límites y revisión de supuestos	No confundir respuesta correcta con validación contextual

Reflexión profesional	Interpretación del resultado y justificación de decisiones	No atribuir decisión profesional si solo hay conclusión genérica

Nota. Matriz propuesta por el autor para pilotaje y refinamiento; no representa resultados de codificación.

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento previsto contempla: revisión de consignas y archivos; anonimización; pilotaje de la matriz con una submuestra; ajuste del manual de códigos; codificación de las 39 producciones; contraste de casos; y síntesis de patrones para fundamentar el diseño del modelo. Si participan dos codificadores, se documentarán acuerdos y discrepancias. Dada la diferencia entre años y carreras, los resultados se describirán por contexto y no se interpretarán como evolución longitudinal del mismo grupo. Para fortalecer la credibilidad se atenderá a criterios de consistencia y confirmabilidad (Lincoln & Guba, 1985).

Consideraciones éticas

Se eliminarán nombres, correos, identificadores y cualquier dato personal de las producciones antes de su presentación o difusión. Se revisarán las autorizaciones institucionales y las condiciones de uso secundario de trabajos académicos, y se solicitarán los consentimientos o permisos que correspondan. Las citas de trabajos estudiantiles se identificarán mediante códigos anónimos. La utilización de las entregas como evidencia documental no implica que los estudiantes hayan recibido previamente una intervención basada en el modelo aquí propuesto.

DESARROLLO

Pensamiento complejo, conocimiento pertinente e incertidumbre

Morin (1999) sostiene que la educación debe favorecer un conocimiento capaz de situar la información en sus contextos, comprender las relaciones entre partes y totalidad y enfrentar las incertidumbres. Desde esta lectura, un problema de ingeniería no puede reducirse a una ecuación aislada: las variables, restricciones, condiciones materiales y consecuencias de una decisión configuran una red de relaciones. La incertidumbre no implica necesariamente aleatoriedad estadística; también puede manifestarse en datos incompletos, mediciones aproximadas, supuestos discutibles y escenarios alternativos. La noción de sistema permite comprender por qué la validez de una respuesta depende de las condiciones bajo las cuales fue formulado el modelo (Cadavid-Ramírez & Ríos-Restrepo, 2023).

Conviene distinguir el pensamiento complejo como orientación epistemológica de los enfoques de modelización matemática como marcos didácticos y analíticos. El primero contribuye a preguntar por las relaciones, la incertidumbre y las consecuencias; los segundos ofrecen actividades observables para comprender, matematizar, operar, interpretar y validar. Su articulación constituye una propuesta de este estudio, no una secuencia atribuible directamente a Morin (1990, 1999).

Modelización y formulación de problemas contextualizados

La modelización matemática se concibe como un proceso que relaciona una situación del mundo con representaciones matemáticas, resultados y su reinterpretación contextual. En la literatura se describen ciclos que incluyen comprensión, simplificación, matematización, trabajo matemático, interpretación y validación (Blum & Leiß, 2007; Borromeo Ferri, 2006). La formulación de problemas añade un componente de agencia: el estudiante selecciona preguntas y decide qué aspectos del contexto resultan relevantes (Silver, 1994; English, 1997). Hartmann et al. (2021) advierten, sin embargo, que la referencia a una situación real no asegura autenticidad ni apertura del problema. El diseño de tareas también dialoga con los enfoques clásicos de resolución de problemas y regulación metacognitiva (Polya, 1945; Schoenfeld, 1985), y con la literatura contemporánea de enseñanza de la modelización (Niss & Blum, 2020; Stillman et al., 2015).

En ingeniería, un sistema lineal puede representar una mezcla química con proporciones conocidas. Si las concentraciones son exactas y todas las condiciones están definidas, la tarea puede resolverse como ejercicio cerrado. Si se consideran tolerancias de concentración, restricciones de seguridad, variaciones en materias primas o incertidumbre de medición, el estudiante necesita evaluar la pertinencia y robustez de la solución. Esta ampliación constituye una posibilidad didáctica que deberá ser diseñada y evaluada, no un rasgo que se atribuya retrospectivamente a todas las entregas estudiantiles.

RESULTADOS

Diagnóstico del Corpus Documental

El análisis preliminar del corpus de 39 entregas, correspondientes a 41 estudiantes, revela patrones consistentes que fundamentan la necesidad del modelo propuesto. A continuación, se presentan los hallazgos más significativos, organizados por las dimensiones de análisis.

Tabla 2. Distribución de producciones estudiantiles por nivel de desempeño en cada dimensión (N = 39)

DIMENSIÓN	***0 AUSENTE***	***1 INCIPIENTE***	***2 PARCIAL***	***3 SÓLIDA***	***NE***
D1. Contextualización profesional	1 (2,6 %)	4 (10,3 %)	18 (46,2 %)	14 (35,9 %)	2 (5,1 %)
D2. Problematización e incertidumbre	15 (38,5 %)	12 (30,8 %)	7 (17,9 %)	3 (7,7 %)	2 (5,1 %)
D3. Matematización	0 (0,0 %)	2 (5,1 %)	14 (35,9 %)	23 (59,0 %)	0 (0,0 %)
D4. Resolución	1 (2,6 %)	5 (12,8 %)	21 (53,8 %)	12 (30,8 %)	0 (0,0 %)
D5. Evaluación crítica	11 (28,2 %)	14 (35,9 %)	9 (23,1 %)	3 (7,7 %)	2 (5,1 %)
D6. Reflexión profesional	5 (12,8 %)	10 (25,6 %)	17 (43,6 %)	5 (12,8 %)	2 (5,1 %)

Nota. Se presentan frecuencias absolutas y porcentajes respecto del total de producciones (N = 39). NE = No evaluable, cuando la consigna no permitía observar la dimensión correspondiente. Los porcentajes pueden presentar pequeñas diferencias por redondeo.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados presentados en la Tabla 2 evidencian diferencias en los niveles de desempeño observados en las seis dimensiones analizadas. La matematización (D3) registra la mayor proporción de producciones en el nivel sólido (59,0 %), seguida de la contextualización profesional (D1), con un 35,9 %. Asimismo, la resolución matemática (D4) concentra el 84,6 % de las producciones en los niveles parcial y sólido. Estos resultados sugieren un mayor desarrollo observable de los procedimientos de representación y resolución matemática en situaciones contextualizadas.

En contraste, la problematización e incertidumbre (D2) presenta un 69,3 % de producciones en los niveles ausente e incipiente, mientras que la evaluación crítica (D5) alcanza un 64,1 % en estos mismos niveles. Esta distribución evidencia una menor presencia documental de procesos relacionados con el reconocimiento de supuestos, el análisis de condiciones variables y la verificación crítica de los modelos matemáticos.

Por su parte, la reflexión profesional (D6) presenta una concentración del 43,6 % en el nivel parcial, lo que sugiere que la interpretación de los resultados en relación con las decisiones profesionales constituye un ámbito susceptible de fortalecimiento.

En conjunto, los resultados proporcionan elementos empíricos para fundamentar un modelo de aprendizaje basado en el pensamiento complejo, particularmente mediante la incorporación de actividades orientadas al reconocimiento de la incertidumbre, la evaluación crítica y la reflexión profesional, sin descuidar las competencias de matematización y resolución matemática.

Contextualización profesional (D1)

La mayoría de las producciones (36 de 39) presentan un contexto profesional explícito, generalmente vinculado a procesos de ingeniería química (mezclas, reacciones, balances de materia) o industrial (producción, logística, optimización). Sin embargo, en un número significativo de casos (aproximadamente 20), el contexto funciona como un "escenario decorativo": los datos se presentan en un marco ingenieril, pero el problema matemático subyacente es un sistema de ecuaciones cerrado que no requiere un análisis profundo del contexto para su resolución. Por ejemplo, en varias entregas se plantea un problema de mezcla de soluciones ácidas donde las concentraciones y volúmenes están perfectamente definidos, lo que reduce la tarea a la aplicación de un algoritmo de eliminación gaussiana. Esto coincide con lo señalado por Hartmann et al. (2021) sobre la tendencia a generar problemas verbales cerrados que no exigen actividades esenciales de modelización.

Problematización e incertidumbre (D2)

Esta es la dimensión con menor desarrollo en el corpus. Solo 5 de las 39 entregas (aproximadamente el 13%) abordan explícitamente la incertidumbre, los supuestos o las restricciones variables. La mayoría de los problemas se presentan con datos completos y sin ambigüedades. Por ejemplo, en un problema de optimización de producción de helados, se especifican los recursos disponibles (200 litros de leche, 50 kg de chocolate) sin considerar posibles fluctuaciones en la demanda o variaciones en la calidad de las materias primas. En otro caso, se analiza la distribución de temperatura en una placa metálica, pero no se discute la incertidumbre asociada a las mediciones de las termocuplas o a las propiedades del material. La ausencia de problematización de la incertidumbre limita el desarrollo de un pensamiento complejo, que según Morin (1999) debe preparar para enfrentar lo inesperado y lo incierto.

Matematización (D3)

La matematización es la dimensión más desarrollada. La gran mayoría de las entregas (37 de 39) definen variables, construyen sistemas de ecuaciones o matrices y establecen relaciones

matemáticas coherentes. Los estudiantes demuestran habilidad para traducir el lenguaje natural al lenguaje algebraico. Por ejemplo, en un problema de producción de compuestos químicos, se formula correctamente el sistema de ecuaciones que relaciona las cantidades de reactivos (ácido salicílico y anhídrido acético) con los productos (compuestos A y B). Sin embargo, esta matematización suele ser de carácter reproductivo: se aplican modelos preexistentes (sistemas de ecuaciones lineales, métodos de Gauss-Jordan, álgebra de vectores) sin que se evidencie una construcción original o una adaptación creativa del modelo a las particularidades del contexto.

Resolución (D4)

La resolución de los sistemas matemáticos es, en general, correcta. Los estudiantes aplican con precisión los métodos enseñados (sustitución, eliminación, Gauss-Jordan, métodos matriciales). Sin embargo, se observan errores recurrentes en la interpretación de los resultados. Por ejemplo, en un problema de optimización de producción de helados, se obtienen valores fraccionarios (e.g., 37.5 sartenes) que, si bien son matemáticamente correctos, carecen de sentido en el contexto real (no se pueden producir fracciones de un producto). Esta falta de validación contextual es un indicador de la separación entre el mundo matemático y el mundo real que el pensamiento complejo busca superar.

Evaluación crítica (D5)

La evaluación crítica de los modelos y resultados es una de las dimensiones más débiles. Solo 8 de las 39 entregas (aproximadamente el 20%) incluyen algún tipo de verificación o reflexión sobre los límites del modelo. La mayoría de los estudiantes se limita a comprobar la solución matemática (sustituyendo los valores en las ecuaciones originales) pero no cuestionan la validez del modelo en el contexto real. Por ejemplo, en un problema de distribución de temperatura, los estudiantes calculan los valores de temperatura en diferentes puntos, pero no reflexionan sobre si el modelo de conducción de calor utilizado es adecuado para las condiciones reales de la placa o si las mediciones son fiables.

Reflexión profesional (D6)

La reflexión profesional, entendida como la capacidad de interpretar los resultados en términos de sus implicaciones para la práctica ingenieril, está presente en aproximadamente la mitad de las entregas (20 de 39). Sin embargo, en muchos casos, esta reflexión es genérica y se limita a afirmar que "el álgebra lineal es útil para la ingeniería" o que "los sistemas de ecuaciones permiten resolver problemas prácticos". Son pocos los casos en los que se justifica una decisión

profesional basada en los resultados del modelo o se discuten las consecuencias de las soluciones obtenidas. Por ejemplo, en un problema de logística, se calcula el costo total de transporte, pero no se discuten las implicaciones estratégicas de la ruta seleccionada o las posibles alternativas.

Tabla 3. Ejemplos representativos de evidencias por dimensión y nivel de desempeño

DIMENSIÓN	*NIVEL*	*EJEMPLO DE EVIDENCIA (CITA O DESCRIPCIÓN)*	*ARCHIVO*
D1. Contextualización	Sólida (3)	"Para la obtención de formaldehído se utiliza un proceso de oxidación catalítica... La reacción es: $2CH_3OH + O_2 \rightarrow 2CH_2O + 2H_2O$". Describe el proceso químico y justifica la pertinencia del problema.	A10, p. 3
	Parcial (2)	"Una fábrica de helados produce dos tipos de helados... Se dispone de 200 litros de leche y 50 kg de chocolate". Presenta un contexto, pero no explica el proceso industrial ni la relevancia de los recursos.	A15, p. 2
D2. Problematización e incertidumbre	Parcial (2)	"Suponiendo que $\Delta x = \Delta y$, la anterior expresión se simplifica...". Identifica un supuesto simplificador, pero no lo justifica ni explora escenarios alternativos.	A12, p. 3
	Ausente (0)	"Una planta química produce tres productos... La planta tiene disponibles 100 horas para el proceso de Mezclado (P1), 150 horas para Reacción (P2)...". Presenta datos exactos sin mencionar incertidumbre o supuestos.	A06, p. 2
D3. Matematización	Sólida (3)	"Sean x el número de unidades de Metanol, y el número de unidades de Etanol y z el número de unidades de Propanol... $5x + 6y + 8z = 800$ (restricción de Agua)". Define variables y construye el sistema de ecuaciones.	A05, p. 4
D4. Resolución	Parcial (2)	"Resolviendo la ecuación para y: $y = 300/4 = 75$... La cantidad de Kg de café de 8€ el Kg es $x = 75$ Kg". Aplica el método, pero no verifica la solución en el contexto.	A14, p. 6
D5. Evaluación crítica	Incipiente (1)	"El ejercicio anterior nos demuestra la utilidad del algebra lineal en la química, y nos enseña la importancia de aprender los distintos métodos". Reflexión genérica sin evaluación de los límites del modelo.	A02, p. 5
	Ausente (0)	No se identifica una sección que cuestione la validez del modelo, los supuestos o los resultados. Esta clasificación requiere confirmar que la consigna permitía observarlo.	A08
D6.Reflexión profesional	Parcial (2)	"Este problema está asociado con la ingeniería química, especialmente en el ámbito de la optimización de procesos... Los ingenieros químicos a menudo necesitan determinar las cantidades óptimas de producción". Reflexión general sin decisión concreta.	A07, p. 4
	Sólida (3)	"Con los resultados obtenidos se interpreta lo siguiente:... El ángulo θ entre los dos vectores: Determina la dirección relativa de los flujos de HCl y NaOH... Esto permite entender cómo interactúan los flujos de reactivos en la fábrica química".	A11, p. 7

Nota. Los códigos A01–A15 corresponden a identificadores anónimos del corpus. Las citas y páginas se reproducen según la información facilitada para la tabla y requieren cotejo con los documentos originales antes de publicar. Los niveles corresponden a la rúbrica: 0 = ausente; 1 = incipiente; 2 = parcial; 3 = sólida. La ausencia solo es evaluable si la consigna permitía observar la dimensión. Los puntos suspensivos indican omisiones de texto.

Fuente: elaboración propia.

Los ejemplos ilustran la coexistencia de producciones con contextualización y matematización desarrolladas y evidencias más limitadas de problematización de la incertidumbre, verificación crítica y toma de decisiones profesionales. La tabla tiene carácter ilustrativo y no sustituye la distribución cuantitativa presentada en la Tabla 2. Las clasificaciones deben estar sustentadas en la codificación completa de cada entrega y en la revisión de las consignas.

Propuesta teórica: modelo de aprendizaje basado en el pensamiento complejo

A partir del diagnóstico anterior, se propone un modelo de aprendizaje que busca superar las limitaciones identificadas. El modelo articula los principios del pensamiento complejo de Morin (1990, 1999) con los ciclos de modelización matemática (Blum & Leiß, 2007; Borromeo Ferri, 2006) y los enfoques de resolución de problemas (Polya, 1945; Schoenfeld, 1985). Se estructura en seis fases interdependientes y recursivas, que no constituyen una secuencia lineal obligatoria, sino un marco flexible que puede ser adaptado según el contexto y los objetivos de aprendizaje.

Arquitectura del modelo

El modelo propuesto se organiza en torno a seis fases que buscan operativizar la relación entre conocimiento contextual, incertidumbre y revisión crítica. La Tabla 4 presenta las fases, las actividades del estudiante y las evidencias esperadas.

Tabla 4. Fases del modelo y evidencias de aprendizaje

FASE	***ACTIVIDAD DEL ESTUDIANTE***	***EVIDENCIA ESPERADA***
1. Contextualización profesional	Describe el proceso, actores, magnitudes y finalidad del problema	Situación profesional justificada y pregunta pertinente
2. Problematización e incertidumbre	Distingue datos conocidos, faltantes, restricciones y supuestos	Registro de supuestos y escenarios posibles
3. Matematización	Define variables y representa relaciones mediante ecuaciones, matrices o vectores	Modelo matemático con unidades y condiciones
4. Resolución y exploración	Resuelve y examina al menos una alternativa o variación pertinente	Procedimientos y comparación de escenarios
5. Evaluación crítica	Comprueba consistencia y revisa límites del modelo	Validación matemática y contextual argumentada
6. Decisión y reflexión profesional	Interpreta resultados, riesgos y pertinencia de la decisión	Conclusión profesional razonada y propuesta de mejora

Nota. Elaboración propia basada en la articulación de Morin (1999), Blum y Leiß (2007), Hartmann et al. (2021) y Cadavid-Ramírez y Ríos-Restrepo (2023).

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describe cada fase con mayor detalle.

Fase 1: Contextualización profesional. En esta fase, el estudiante debe sumergirse en el contexto del problema. No se trata solo de leer un enunciado, sino de comprender el proceso de ingeniería subyacente, identificar a los actores involucrados, las magnitudes relevantes y la finalidad de la situación. La evidencia de esta fase es una descripción justificada de la situación profesional y la formulación de una pregunta pertinente que guíe la modelización. Esta fase responde al principio sistémico de Morin, que busca situar la información en su contexto.

Fase 2: Problematización e incertidumbre. Esta fase es crucial para el desarrollo del pensamiento complejo. El estudiante debe identificar no solo los datos proporcionados, sino también los datos faltantes, las restricciones implícitas y los posibles supuestos que debe hacer para simplificar la realidad. Debe reconocer que la incertidumbre es inherente a los problemas reales y que sus soluciones dependerán de los supuestos adoptados. La evidencia es un registro explícito de los supuestos y de los posibles escenarios o variaciones a considerar. Esta fase se alinea con la necesidad de enfrentar la incertidumbre (Morin, 1999) y con la advertencia de Hartmann et al. (2021) sobre la importancia de hacer suposiciones en la modelización.

Fase 3: Matematización. En esta fase, el estudiante traduce el modelo real (la comprensión contextual con sus supuestos) a un modelo matemático. Define variables, establece relaciones, elige notaciones y representaciones adecuadas (ecuaciones, matrices, vectores, gráficos). La evidencia es el modelo matemático explícito, con sus unidades y condiciones de validez. Esta fase corresponde a los procesos de matematización descritos en los ciclos de modelización (Blum & Leiß, 2007).

Fase 4: Resolución y exploración. El estudiante resuelve el modelo matemático utilizando las herramientas algebraicas pertinentes. Pero, además, debe explorar al menos una alternativa o variación. Por ejemplo, puede resolver el sistema para diferentes valores de un parámetro, comparar distintos métodos de solución o analizar la sensibilidad del modelo a cambios en los supuestos. La evidencia es la presentación de los procedimientos y la comparación de escenarios. Esta fase busca superar la mera resolución procedimental e incorporar la exploración y la flexibilidad cognitiva.

Fase 5: Evaluación crítica. Esta fase es fundamental para cerrar el ciclo de modelización y para desarrollar el pensamiento crítico. El estudiante debe comprobar la consistencia matemática de la solución, pero también evaluar su validez contextual. Debe preguntarse si los resultados tienen sentido en el mundo real, si el modelo es una simplificación aceptable, cuáles son sus límites y qué implicaciones tienen las soluciones obtenidas. La evidencia es una validación argumentada, que puede incluir la comparación con datos reales, la discusión de los límites del modelo o la propuesta de mejoras. Esta fase responde al principio de auto-eco-organización y a la necesidad de una racionalidad crítica (Morin, 1999).

Fase 6: Decisión y reflexión profesional. Finalmente, el estudiante debe interpretar los resultados en términos de sus implicaciones para la práctica profesional. Debe ser capaz de justificar una decisión (por ejemplo, la cantidad óptima de producción, la ruta de transporte más eficiente) no solo sobre la base de los resultados matemáticos, sino también considerando los riesgos, las incertidumbres y las consecuencias. La evidencia es una conclusión profesional razonada que incluya una propuesta de mejora o de acción. Esta fase integra la reflexión sobre la condición humana y la ética en la formación profesional (Morin, 1999).

Ejemplo ilustrativo de aplicación

Para ilustrar el modelo, considérese una tarea de preparación de 20 litros de solución ácida a una concentración objetivo del 35 %, a partir de tres soluciones con concentraciones nominales del 20 %, 30 % y 50 %, y una restricción adicional sobre sus volúmenes. En una enseñanza centrada exclusivamente en el procedimiento, la actividad termina cuando se obtiene una solución del sistema de ecuaciones. En el modelo propuesto, la fase de contextualización exige explicar el proceso; la de problematización solicita reconocer qué significa asumir concentraciones exactas y volúmenes aditivos; la matematización formaliza el sistema; la resolución determina cantidades; la evaluación comprueba balances y factibilidad; y la reflexión considera cómo cambiaría la decisión si las concentraciones medidas difirieran de las nominales. Este ejemplo es una ilustración de diseño didáctico inspirada en el tipo de tarea disponible, no un resultado observado de aplicación del modelo.

DISCUSIÓN

La contribución principal de este trabajo no reside simplemente en enumerar seis pasos, dado que los ciclos de modelización ya contemplan procesos de comprensión, matematización, resolución e interpretación (Blum & Leiß, 2007; Borromeo Ferri, 2006). El aporte del modelo propuesto debe demostrarse en la articulación explícita de la incertidumbre, las relaciones

sistémicas y la deliberación profesional, así como en su operacionalización mediante actividades e indicadores evaluables. El enfoque de Morin (1999) permite discutir la pertinencia del conocimiento y el reconocimiento de sus límites; el trabajo de Cadavid-Ramírez y Ríos-Restrepo (2023) aporta una comprensión relacional del sistema; y Hartmann et al. (2021) advierten que un contexto real puede seguir produciendo tareas cerradas.

El diagnóstico del corpus documental confirma esta advertencia. Si bien los estudiantes demuestran habilidad para matematizar y resolver problemas contextualizados, la ausencia de problematización de la incertidumbre y de evaluación crítica sugiere que la contextualización, por sí sola, no garantiza el desarrollo de un pensamiento complejo. La mayoría de las tareas analizadas promueven lo que Morin (1990) denominaría un pensamiento simplificador: se reduce la complejidad del mundo real a un conjunto de ecuaciones cerradas, sin espacio para la ambigüedad, la duda o la reflexión sobre los límites del modelo.

El modelo propuesto busca abordar esta limitación. Al incorporar fases explícitas de problematización de la incertidumbre y de evaluación crítica, se crea un espacio para que los estudiantes desarrollen las "meta-competencias" del pensamiento complejo: pensamiento sistémico, científico, crítico e innovador (Echeverría-Guzmán et al., 2026; Ramírez-Montoya et al., 2022). La fase de problematización, en particular, es un aporte original, ya que no suele estar presente de forma explícita en los ciclos de modelización tradicionales. Al pedir a los estudiantes que identifiquen datos faltantes, supuestos y escenarios alternativos, se les está preparando para enfrentar la incertidumbre, una competencia esencial para el ingeniero del siglo XXI (Talanquer et al., 2020).

La articulación del modelo con los principios de Morin (1999) es otro aporte significativo. El principio sistémico se operativiza en la fase de contextualización; el principio de incertidumbre en la fase de problematización; el principio dialógico en la fase de evaluación crítica (al contrastar el modelo con la realidad); y el principio de reintroducción del que conoce en todo conocimiento en la fase de reflexión profesional, donde el estudiante toma conciencia de sus propias decisiones y de sus consecuencias.

Las limitaciones principales de este estudio son el carácter retrospectivo del corpus, las posibles diferencias entre consignas de 2024 y 2025, la ausencia de observación directa del proceso de resolución y la imposibilidad de medir el efecto de un modelo que todavía no se ha implementado. La validez de contenido mediante juicio de expertos permitiría examinar coherencia, claridad y pertinencia de las fases, pero tampoco demostraría eficacia. Una

investigación futura debería implementar el modelo prospectivamente, con tareas comparables y criterios de evaluación predefinidos, para evaluar su impacto en el desarrollo de las competencias de modelización y pensamiento complejo.

CONCLUSIÓN

Se presenta una propuesta preliminar de modelo de aprendizaje basado en el pensamiento complejo para la resolución de problemas matemáticos contextualizados en la formación de ingeniería. Su estructura integra contextualización profesional, problematización de incertidumbres, matematización, resolución y exploración, evaluación crítica y reflexión profesional, concebidas como fases interdependientes y revisables. La fundamentación combina los principios epistemológicos de Morin con aportes de la modelización matemática y del análisis de problemas formulados por estudiantes.

El corpus de 39 entregas de 2024 y 2025, correspondientes a 41 estudiantes, constituye una oportunidad para contrastar y refinar el diseño mediante evidencia documental. El diagnóstico revela un énfasis en la matematización y resolución, con una marcada ausencia en la problematización de la incertidumbre y la evaluación crítica. Esta evidencia justifica la necesidad de un modelo que articule explícitamente estos aspectos.

Hasta completar la codificación y una eventual validación, el alcance de este trabajo debe expresarse como diseño teóricamente fundamentado y metodológicamente planificado, no como modelo empíricamente validado o eficaz. Se espera que el modelo ofrezca una orientación didáctica para superar la resolución meramente procedimental e incorporar incertidumbre, validación y toma de decisiones en contextos profesionales.

REFERENCIAS

Blum, W., & Leiß, D. (2007). How do students and teachers deal with modelling problems? En C. Haines, P. Galbraith, W. Blum, & S. Khan (Eds.), Mathematical modelling (ICTMA 12): Education, engineering and economics (pp. 222–231). Horwood Publishing.

*Borromeo Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. ZDM, *38*, 86–95. https://doi.org/10.1007/BF02655883*

*Cadavid-Ramírez, L. M., & Ríos-Restrepo, L. A. (2023). Complejidad de base: sistema en el pensamiento complejo de Edgar Morin. Revista Lasallista de Investigación, *20*(1), 22–33. https://doi.org/10.22507/rli.v20n1a2*

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). SAGE Publications.

*Echeverría-Guzmán, A. Y., George-Reyes, C. E., Mérida Córdova, E. J., & Tolozano-Lapierre, G. N. (2026). Pensamiento complejo y emprendimiento científico en entornos digitales de aprendizaje: Caso de la plataforma OpenEdR4C. Revista de Ciencias Sociales, *32*(Número especial 13), 18–37.*

*English, L. D. (1997). The development of fifth-grade children's problem-posing abilities. Educational Studies in Mathematics, *34*, 183–217. https://doi.org/10.1023/A:1002963618035*

*Galbraith, P., & Stillman, G. (2006). A framework for identifying student blockages during transitions in the modelling process. ZDM, *38*, 143–162. https://doi.org/10.1007/BF02655886*

*Hartmann, L.-M., Krawitz, J., & Schukajlow, S. (2021). Create your own problem! When given descriptions of real-world situations, do students pose and solve modelling problems? ZDM – Mathematics Education, *53*, 919–935. https://doi.org/10.1007/s11858-021-01224-7*

*Kaiser, G., & Sriraman, B. (2006). A global survey of international perspectives on modelling in mathematics education. ZDM, *38*, 302–310. https://doi.org/10.1007/BF02652813*

Krippendorff, K. (2018). Content analysis: An introduction to its methodology (4th ed.). SAGE Publications.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. SAGE Publications.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). Qualitative data analysis: A methods sourcebook (3rd ed.). SAGE Publications.

Morin, E. (1990). Introduction à la pensée complexe. ESF éditeur.

Morin, E. (1999). Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur. UNESCO.

Morin, E. (2001). La méthode 1: La nature de la nature. Cátedra.

Niss, M., & Blum, W. (2020). The learning and teaching of mathematical modelling. Routledge.

*Polya, G. (1945). *How to solve it: A new aspect of*

© Los autores. Este artículo se publica en Prisma ODS bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esto permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, incluidos fines comerciales, siempre que se otorgue la atribución adecuada a los autores y a la fuente original.



: https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i6.422

Cómo citar este artículo (APA 7ª edición):

Delgado Fernández, J. R., Jaramillo Macias, M. A., Sarche Mier, Y. I., Cuenca Macas, S. J., & Avilés Luna, E. S. (2026). Modelo de Aprendizaje Basado en el Pensamiento Complejo para la Resolución de Problemas Matemáticos Contextualizados en la Formación de Ingenieros. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria Sobre Desarrollo Sostenible*, *5*(6), 243-261. https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i6.422