



INFORME TÉCNICO DETALLADO DEL SISTEMA DE ADAPTACIÓN DE MATERIAL DE APRENDIZAJE SAMA
Proyecto Doctoral: "Evaluación del Impacto de la Generación y Adaptación de Materiales de Aprendizaje mediante Inteligencia Artificial en el Rendimiento Académico de Estudiantes de Secundaria en Ambientes Virtuales"

Índice

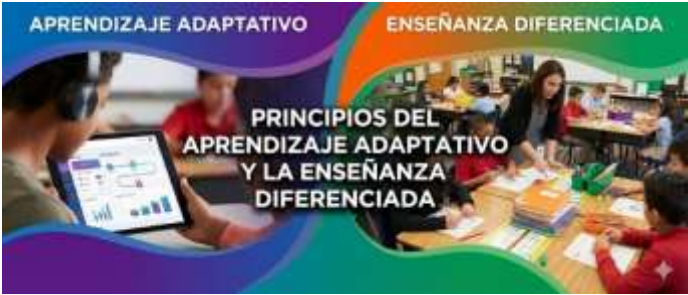
Resumen	1
1. Introducción.....	2
2. Integración en SAMA: Sustento Teórico y Pedagógico.....	3
3. Arquitectura Técnica y Flujo Operacional de SAMA	5
4. Modelo Operativo de Personalización Pedagógica	9
5. Implementación Técnica y Motor Algorítmico de SAMA	17
6. Limitaciones y Ejemplos Operativos del Sistema SAMA ..	21
7. Simulación Operativa y Evidencia de Transformación del Sistema SAMA	23
8. Integración Sistémica: El Ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA	31
9. Conclusiones y Proyecciones	32
Referencias	34

Resumen

El Sistema de Adaptación de Material de Aprendizaje (SAMA) constituye la fase final del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA y tiene como propósito transformar el material educativo generado por SIGMA en versiones ajustadas a las necesidades de cada estudiante, utilizando como guía el diagnóstico producido por SEPA. Su función consiste en adaptar de manera rigurosa, sistemática y fundamentada los componentes centrales del material (**concepto, ejemplo, pregunta, opciones y retroalimentación**) a partir de los niveles de desempeño obtenidos en cuatro dimensiones del perfil de aprendizaje: pensamiento crítico, procesos metacognitivos, retroalimentación elaborativa y resolución de problemas (**Báez-López & Herrera-Alemán, 2024; Zimmerman, 2000**).

El sistema se fundamenta en **principios del aprendizaje adaptativo y la enseñanza diferenciada**, pero su núcleo operativo se centra en las cuatro dimensiones del perfil de aprendizaje evaluadas por SEPA: pensamiento crítico, procesos metacognitivos, retroalimentación elaborativa y resolución de problemas. Estas dimensiones no solo describen algunas de las características del estudiante, sino que funcionan como ejes que guían las transformaciones del material educativo. Desde el aprendizaje adaptativo, SAMA modula la complejidad, el tipo de ejemplo y el nivel de demanda cognitiva según el desempeño del estudiante en cada dimensión (**Luckin, 2018**). A su vez, los principios de la enseñanza diferenciada permiten que el sistema considere la variabilidad individual, ajustando la profundidad explicativa y la retroalimentación para promover un progreso gradual y personalizado (**Tomlinson, 2014**).

Técnicamente, SAMA opera como un motor de reescritura condicional guiado por reglas pedagógicas. **Recibe dos insumos estructurados: el material modular creado por SIGMA y el perfil de aprendizaje en formato JSON generado por SEPA.** A partir de este perfil, el sistema identifica el nivel del estudiante en cada dimensión y utiliza las recomendaciones producidas por la arquitectura RAG de SEPA para orientar la adaptación del



contenido, asegurando modulación precisa sin alterar la estructura curricular base (OpenAI, 2023; Prather et al., 2023).



La adaptación resultante ajusta gradualmente la complejidad semántica, la contextualización, el nivel cognitivo de las

preguntas y la profundidad de la retroalimentación. Cada transformación es coherente con la evidencia diagnóstica, de modo que la personalización no es aleatoria sino consecuencia directa del perfil del estudiante (Swiecki et al., 2022).

En conjunto, SAMA completa la cadena funcional del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA al convertir el diagnóstico en acción pedagógica efectiva. Con ello, demuestra cómo la inteligencia artificial puede actuar como un amplificador pedagógico que apoya al docente, permitiendo generar materiales más accesibles, retadores y pertinentes, y promoviendo una educación más equitativa y centrada en el estudiante (Huang et al., 2023; UNESCO, 2024).

Palabras clave: Aprendizaje personalizado, inteligencia artificial, perfil de aprendizaje, adaptación del material didáctico.

1. Introducción

El Sistema de Adaptación de Material de Aprendizaje (SAMA) constituye la fase final del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA y cumple la función de transformar el material educativo generado por SIGMA en versiones ajustadas a las características diagnósticas producidas por SEPA. Su propósito central es convertir la evaluación en acción pedagógica, garantizando que el perfil de aprendizaje del estudiante sirva como insumo directo para producir materiales más precisos, claros y coherentes con sus necesidades reales (Huang et al., 2023). Con ello, SAMA asegura que la personalización no dependa únicamente del criterio docente o de ajustes generales, sino de una base diagnóstica validada y sistemática.

El diseño de SAMA parte de la premisa de que la falta de personalización en los materiales educativos es un factor que contribuye al bajo desempeño académico observado en evaluaciones nacionales e internacionales. Tanto las pruebas Saber cómo los estudios PISA han evidenciado brechas consistentes en comprensión lectora, razonamiento matemático y pensamiento científico, asociadas en parte a materiales que no responden a la diversidad cognitiva del aula (Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación [ICFES], 2018; OECD, 2019). Frente a este panorama, SAMA se plantea como una solución basada en inteligencia artificial orientada a incrementar la pertinencia, accesibilidad y utilidad pedagógica de los recursos de aprendizaje (Crompton & Burke, 2023).

El sistema opera mediante un proceso de adaptación inteligente que integra dos fuentes principales: el material modular creado por SIGMA concepto, ejemplo, pregunta, opciones y retroalimentación y el perfil de aprendizaje generado por SEPA. Este perfil describe el desempeño del estudiante en cuatro dimensiones clave: pensamiento crítico, retroalimentación elaborativa, procesos metacognitivos y resolución de problemas. A partir de estas dimensiones, SAMA ajusta parámetros como la

complejidad conceptual, la profundidad explicativa, el tipo de ejemplo y el nivel cognitivo de la pregunta, manteniendo intacta la estructura curricular original del contenido (Báez-López & Herrera-Alemán, 2024; Swiecki et al., 2022).

La implementación de SAMA se enmarca en los principios de la enseñanza diferenciada y de la educación centrada en el estudiante, al permitir que cada recurso se adapte a las necesidades individuales, incluso en contextos donde la personalización manual resulta inviable debido a las altas cargas docentes (Tomlinson, 2014). Su integración en entornos virtuales como Moodle o Classroom facilita que los docentes accedan a materiales personalizados sin requerir procesos adicionales de edición o ajuste (Salinas & Gutiérrez, 2023).

IA & APRENDAJE:



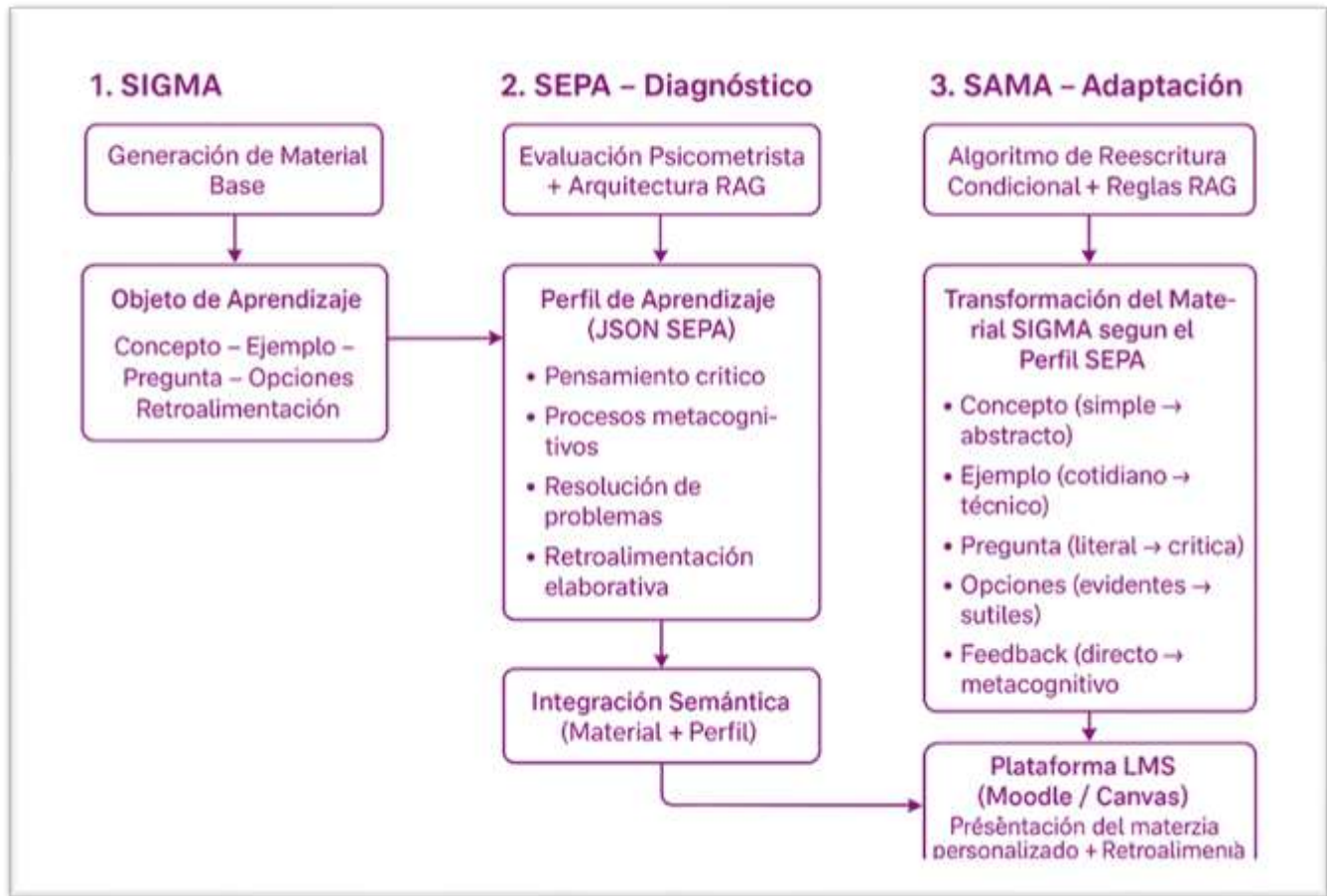
EL FUTURO

En su conjunto, SAMA completa la cadena funcional del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA, al garantizar que el diagnóstico producido por SEPA se traduzca en decisiones instruccionales consistentes y pedagógicamente fundamentadas. De esta manera, contribuye al fortalecimiento del rendimiento académico y al desarrollo de competencias superiores como la autorregulación, la metacognición y el pensamiento crítico (Zimmerman, 2000). SAMA se consolida, así como un componente estratégico en la transformación digital educativa, articulando evaluación, pedagogía e inteligencia artificial para favorecer una educación más equitativa, pertinente y centrada en el estudiante.

“Articulando evaluación, pedagogía e inteligencia artificial para favorecer una educación más equitativa”

Figura 1

Arquitectura General del Sistema SIGMA–SEPA–SAMA para la Personalización del Aprendizaje



Nota: La figura 1 presenta el flujo integral del modelo de personalización adaptativa basado en tres componentes principales. SIGMA genera el material base estructurado en conceptos, ejemplos, preguntas y retroalimentación. SEPA realiza el diagnóstico psicométrico mediante una arquitectura RAG, produciendo un Perfil de Aprendizaje que caracteriza dimensiones como pensamiento crítico, metacognición, resolución de problemas y retroalimentación elaborativa. Finalmente, SAMA aplica un algoritmo de reescritura condicional y reglas RAG para transformar el material inicial según el perfil identificado, ajustando la complejidad conceptual, los tipos de ejemplos, las preguntas, las opciones y el feedback. El proceso culmina con la presentación del material adaptado en la plataforma LMS.

2. Integración en SAMA: Sustento Teórico y Pedagógico

La integración de SAMA dentro del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA se basa en un marco teórico que orienta la adaptación del material desde criterios derivados del diagnóstico psicométrico. Este apartado se centra en la fundamentación que guía la forma en que SAMA interpreta los resultados del perfil de aprendizaje y decide qué ajustes realizar sobre el material educativo.

El sustento pedagógico del sistema se estructura alrededor de las cuatro dimensiones del perfil de aprendizaje evaluadas por SEPA: pensamiento crítico, procesos metacognitivos, retroalimentación elaborativa y resolución de problemas. Cada dimensión contiene descriptores que permiten identificar necesidades específicas del estudiante y orientar la modulación de aspectos como la claridad conceptual, la complejidad semántica o la profundidad de la retroalimentación. Desde este enfoque, SAMA no adapta los contenidos de manera general, sino que aplica reglas de transformación derivadas del nivel de

desempeño en cada dimensión, asegurando pertinencia y coherencia técnica en cada modificación realizada (Swiecki et al., 2022).



El proceso se fundamenta además en los principios de la enseñanza diferenciada y en un enfoque pedagógico centrado en competencias. Este marco sostiene que las decisiones instruccionales deben basarse en evidencia y que la intervención docente (o asistida por IA) debe ajustarse a las diferencias

individuales sin modificar la estructura curricular del contenido. Por ello, SAMA interviene únicamente los elementos que afectan la experiencia cognitiva del estudiante, tales como ejemplos, explicaciones, nivel de demanda y retroalimentación, manteniendo intacta la intención pedagógica propuesta en los materiales generados por SIGMA (Tomlinson, 2014).

En consecuencia, la principal contribución teórica de SAMA al ecosistema radica en su capacidad para traducir el diagnóstico del perfil de aprendizaje en criterios de adaptación instruccional. Esto permite que la información psicométrica producida por SEPA se convierta en decisiones pedagógicas concretas que fortalecen la personalización del aprendizaje y complementan el proceso iniciado por SIGMA en la generación del material educativo.



La articulación funcional entre SIGMA, SEPA y SAMA puede comprenderse mejor cuando se observa el flujo de información que circula entre los tres sistemas. Cada uno cumple un propósito distinto dentro del ecosistema, pero su valor radica en la interdependencia que se establece entre ellos.

Con el fin de ofrecer una visión sintética de esta estructura, la siguiente tabla presenta las funciones centrales de cada sistema, los insumos que procesan y los productos que generan, así como la relación que mantienen dentro del proceso de personalización.

Fundamentos teóricos de la adaptación en SAMA

El diseño pedagógico de SAMA se apoya en un conjunto de enfoques que respaldan la necesidad de ajustar los materiales educativos de acuerdo con las características cognitivas y el nivel de desempeño del estudiante. Estos fundamentos permiten orientar la adaptación desde criterios claros y coherentes, fortaleciendo la pertinencia pedagógica de los ajustes que realiza el sistema.

Una de las bases conceptuales proviene del aprendizaje adaptativo, entendido como la capacidad de ajustar la complejidad del contenido, la demanda cognitiva y la retroalimentación según el desempeño del estudiante. Desde esta perspectiva, SAMA modula aspectos como la claridad conceptual, el tipo de ejemplo y la profundidad explicativa para evitar tanto la sobrecarga como la falta de desafío, contribuyendo a un progreso gradual y sostenido en las dimensiones evaluadas por el perfil de aprendizaje (Luckin, 2018; Crompton y Burke, 2023).

“SAMA modula aspectos como la claridad conceptual, el tipo de ejemplo y la profundidad explicativa para evitar tanto la sobrecarga como la falta de desafío”

Tabla 1
Relación entre los sistemas SIGMA, SEPA y SAMA dentro del ecosistema inteligente

Sistema	Función principal	Tipo de insumo procesado	Tipo de producto	Enlace relacional
SIGMA	Generar material educativo estructurado	Parámetros pedagógicos	Material base (concepto, ejemplo, pregunta, opciones, retroalimentación)	Entrega material a SAMA
SEPA	Diagnosticar perfil de aprendizaje	Respuestas psicométricas	Ficha de perfil (niveles, descriptores, recomendaciones)	Entrega diagnóstico a SAMA
SAMA	Adaptar material a las características del estudiante	Material SIGMA + Ficha SEPA	Material adaptado	Produce material personalizado

Nota. La tabla sintetiza la función y flujo de información entre los sistemas que integran el ecosistema de personalización educativa.

El análisis de esta relación evidencia que SAMA depende simultáneamente de los productos generados por SIGMA y del diagnóstico realizado por SEPA. Su papel es esencialmente integrador, pues convierte los materiales base en versiones personalizadas según las características específicas del estudiante. De esta manera, los tres sistemas conforman un proceso continuo de producción, evaluación y adaptación que asegura la alineación entre el contenido instruccional y las necesidades reales del estudiante (Molenaar, 2021).

SAMA

es un sistema pedagógico impulsado por IA que integra aprendizaje adaptativo, constructivismo sociocultural y enseñanza diferenciada para transformar automáticamente los materiales educativos según el perfil cognitivo de cada estudiante.

Aprendizaje adaptativo

Constructivismo sociocultural

Enseñanza diferenciada

La personalización del aprendizaje constituye el eje conceptual que orienta la operación de SAMA. Este enfoque sostiene que los materiales educativos deben ajustarse a las características, ritmos y necesidades de cada estudiante para favorecer trayectorias más pertinentes y **efectivas** (Crompton y Burke, 2023; Pane et al., 2015). Desde esta perspectiva, la adaptación instruccional implica modular la complejidad, la demanda cognitiva y el nivel de apoyo pedagógico con base en evidencias sobre el desempeño real del estudiante. En coherencia con este planteamiento, SAMA utiliza los perfiles diagnósticos generados por SEPA para ajustar contenidos, explicaciones y retroalimentaciones, tomando como referencia los niveles de desempeño en pensamiento crítico, procesos metacognitivos, retroalimentación elaborativa y resolución de problemas (Swiecki et al., 2022).

El andamiaje cognitivo y la metacognición conforman un segundo bloque teórico que orienta la manera en que SAMA modula la dificultad y organiza la información. El andamiaje cognitivo señala que los apoyos deben graduarse de acuerdo con el nivel de dominio del estudiante, ampliándose o reduciéndose conforme progresa (Wood et al., 1976; Jonassen, 2011). Por su parte, la metacognición subraya la importancia de que el estudiante supervise y regule su propio proceso de aprendizaje mediante estrategias explícitas y retroalimentaciones estructuradas (Zimmerman, 2000; Pintrich, 2004). En

consonancia con estos principios, SAMA adapta la profundidad explicativa, el tipo de ejemplo y la complejidad semántica de acuerdo con los resultados diagnósticos, promoviendo tanto el entendimiento conceptual como la reflexión sobre el propio desempeño.

El uso pedagógico de datos constituye un tercer fundamento central. La literatura sobre analíticas de aprendizaje y evaluación basada en datos enfatiza que la información recolectada debe utilizarse para orientar decisiones didácticas y no solo como un mecanismo de medición (Ifenthaler y Yau, 2020; Huang et al., 2023). En el ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA, los datos psicométricos generados por SEPA se convierten en insumos para determinar el nivel adecuado de complejidad, seleccionar ejemplos pertinentes y ajustar la retroalimentación. Con ello, los datos dejan de ser un elemento aislado y se transforman en un recurso activo para guiar la personalización y fortalecer procesos de autorregulación y aprendizaje autónomo.

En conjunto, estos fundamentos teóricos permiten que SAMA realice adaptaciones basadas en criterios pedagógicos robustos y en evidencia diagnóstica confiable. Gracias a ello, cada modificación del material responde a necesidades reales del estudiante y contribuye al desarrollo de aprendizajes más efectivos, reflexivos y progresivos.

3. Arquitectura Técnica y Flujo Operacional de SAMA

3.1. Introducción General

El Sistema de Adaptación de Material de Aprendizaje (SAMA) es la capa algorítmica encargada de aplicar la personalización pedagógica dentro del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA. Desde una perspectiva técnico-computacional, actúa como un motor de reescritura condicional que ajusta componentes específicos del contenido, como el concepto, los ejemplos, las preguntas, las opciones de respuesta y la retroalimentación, sin modificar la estructura general del material instruccional. Para lograr estos ajustes con precisión, SAMA emplea modelos de inteligencia artificial generativa configurados con instrucciones especializadas basadas en las reglas pedagógicas definidas en la arquitectura **RAG (Retrieval-Augmented Generation)** desarrollada en SEPA. Con ello, el sistema convierte los resultados diagnósticos en decisiones algorítmicas consistentes, asegurando coherencia teórica y solidez pedagógica en la personalización producida (OpenAI, 2023; Prather et al., 2023).



3.2. Arquitectura General y Posición en el Ecosistema

SAMA ocupa la tercera posición dentro del ecosistema, consolidando el flujo integral entre la generación de contenidos, el diagnóstico psicométrico y la adaptación pedagógica. SIGMA produce el material base estructurado; SEPA genera el perfil diagnóstico del estudiante y SAMA transforma el contenido inicial a partir de dicho perfil. Esta articulación se expresa en un flujo de interoperabilidad técnica que asegura que el contenido educativo responda a la demanda cognitiva del estudiante y no únicamente a criterios curriculares generales. La relación operacional entre los tres sistemas se sintetiza en la siguiente tabla.



3.3. Insumos de Datos y Estructura Informacional

La eficacia operativa de SAMA depende fundamentalmente de la calidad y organización de la información que recibe. Dado que el sistema trabaja exclusivamente con datos estandarizados, es decir, insumos que siguen una estructura y significado predefinidos, se garantiza que el funcionamiento sea siempre coherente y estable. Esta uniformidad es clave para que el sistema pueda escalar, permitiendo su aplicación masiva sin perder precisión técnica."

Material Base (Proveniente de SIGMA)

SAMA gestiona el contenido educativo dividiéndolo en bloques independientes o módulos, lo que permite realizar modificaciones específicas sin alterar la estructura global del recurso. Estos bloques comprenden componentes esenciales como la definición de conceptos, los ejemplos, las preguntas y la retroalimentación. Esta organización fragmentada es fundamental, ya que habilita al sistema para reescribir selectivamente ciertos elementos pedagógicos, preservando intacto el diseño curricular y la intención educativa original establecida por SIGMA.

Perfil de Aprendizaje (Proveniente de SEPA)

El recurso clave para la personalización es el perfil de aprendizaje del estudiante, estructurado en formato JSON. Este documento no es una simple descripción cualitativa, sino el resultado de un procesamiento estadístico riguroso: integra los indicadores psicométricos calculados (promedio, moda y desviación estándar) para determinar el nivel de competencia.

A partir de estos cálculos, el archivo JSON consolida las directrices pedagógicas exactas (como el tipo de ejemplo o la profundidad de la retroalimentación) que el sistema deberá aplicar. Su

Tabla 1
Flujo funcional entre SIGMA, SEPA y SAMA

Sistema	Insumos	Procesamiento	Outputs
SIGMA	Parámetros pedagógicos	IA generativa estructurada	Material base
SEPA	Respuestas cuestionario	Diagnóstico RAG	+ JSON perfil
SAMA	Material SIGMA + JSON	Adaptación IA + reglas RAG	Contenido personalizado

Nota. La tabla evidencia que SAMA depende estructuralmente de los productos generados por SIGMA y SEPA. Su funcionalidad consiste en manipular algorítmicamente el material base utilizando directrices psicopedagógicas codificadas en JSON (Huang et al., 2023).

estructura técnica asegura que la interpretación del estudiante esté basada en datos cuantitativos y no en inferencias subjetivas.

```
{
  "id_estudiante": "UUID",
  "perfil": {
    "pensamiento_critico": { "nivel": "Bajo", "recomendacion": "Simplificación..." },
    "retroalimentacion_elaborativa": { "nivel": "Alto", "recomendacion": "Reflexión..." },
    "procesos_metacognitivos": { "nivel": "Medio", "recomendacion": "Guía..." },
    "resolucion_problemas": { "nivel": "Alto", "recomendacion": "Desafío..." }
  }
}
```

La función operativa de cada campo dentro del algoritmo de adaptación se detalla a continuación.

Tabla 2
Estructura funcional del JSON de SEPA

Campo	Descripción	Función algorítmica
id_estudiante	Identificador único	Trazabilidad y almacenamiento
nivel	Básico/Medio/Avanzado	Determina la escala de adaptación (intensidad del cambio)
descriptor	Descripción cualitativa	Proporciona contexto semántico al sistema
recomendacion	Directriz pedagógica	Se incorpora como instrucción directa en el prompt

Nota. La estandarización JSON garantiza una integración automática sin requerir interpretación humana, lo que asegura la escalabilidad del sistema (Prather et al., 2023).

3.4. Lógica Algorítmica y Arquitectura RAG

La arquitectura RAG constituye el núcleo lógico del sistema y opera como una **base de conocimiento estática y estructurada**, alojada en matrices JSON. A diferencia de los sistemas de recuperación semántica abierta, el RAG en SAMA funciona mediante **reglas de correspondencia exacta**.

Su funcionamiento se estructura a partir del flujo interno SEPA–RAG–JSON: los modelos psicométricos generan los estadísticos de desempeño; el módulo RAG utiliza estos valores para localizar en la matriz de conocimiento la regla pedagógica precisa (sin margen de interpretación); y finalmente, un modelador ensambla estas instrucciones literales en el prompt que guiará a la IA. Esto garantiza que la adaptación sea **determinista**: ante los mismos datos estadísticos, el sistema recuperará siempre la misma estrategia pedagógica



Para garantizar que la adaptación del material no sea arbitraria sino determinista, el sistema ejecuta un flujo de procesamiento de datos rigurosamente secuencial. Este mecanismo se encarga de transformar los insumos iniciales “las métricas estadísticas derivadas de las respuestas” en instrucciones técnicas precisas para la personalización.

La siguiente tabla detalla las tres fases operativas de este ciclo (diagnóstico, interpretación y ensamblaje), especificando cómo la información evoluciona paso a paso: desde un indicador psicométrico cuantitativo (promedio, moda, desviación), pasando por la recuperación exacta de reglas en la Base de Conocimiento, hasta convertirse en una directriz estructurada en JSON lista para ser ejecutada por SAMA.

Tabla 3
Flujo interno de procesamiento

Fase	Entrada	Proceso	Salida
Diagnóstico	Respuestas del estudiante	Modelos psicométricos	Nivel de desempeño
Interpretación	Nivel de desempeño	RAG (Base de Conocimiento)	Recomendación pedagógica
Ensamblaje	Recomendación	Modelador JSON	Objeto JSON para SAMA

Nota. Este esquema evidencia la lógica de “traducción” del sistema, donde la evaluación psicométrica se convierte progresivamente en código informático estructurado. Esto asegura que la salida técnica (el objeto JSON) sea un reflejo fiel y directo de las necesidades educativas detectadas en la fase de diagnóstico.

Una vez que el perfil psicométrico ha sido codificado, el motor algorítmico de SAMA inicia su ejecución operativa. Este proceso funciona mediante una iteración sistemática “un ciclo secuencial de lectura y consulta” que recorre cada dimensión del perfil del estudiante.

En cada fase del ciclo, el sistema accede a la **Base de Conocimiento estructurada**, localiza las reglas pedagógicas correspondientes a los indicadores estadísticos (promedio, moda, desviación) y las **extrae literalmente**. Con esta información, ensambla **prompts restrictivos** que instruyen a la Inteligencia Artificial para reescribir el contenido, prohibiendo explícitamente la generación de texto no solicitado. De esta manera, se asegura que la adaptación sea **determinista**: una ejecución técnica directa de las reglas validadas, eliminando cualquier margen para la improvisación o la alucinación generativa.

A continuación, se sintetiza este procedimiento lógico:

```
input: perfil_json, material_sigma
for each dimension in perfil_json:
    reglas_dim ← RAG.obtener_reglas(dimension.nivel)
    prompt ← construir_instruccion(reglas_dim,
dimension.recomendacion)
    material_sigma ← IA.generar(material_sigma, prompt)
return material_sigma
```

Este enfoque asegura que la adaptación sea una consecuencia directa del diagnóstico, manteniendo correspondencia entre el nivel del estudiante y la complejidad del contenido (UNESCO, 2024).

3.5. Salida del Sistema e Integración Operativa

La fase de generación de contenido constituye la **materialización textual de las directrices** extraídas del perfil JSON. El recurso educativo resultante no es una versión libremente reescrita, sino una reconfiguración controlada donde la profundidad, el tono y la complejidad responden estrictamente a las instrucciones inyectadas en el prompt.

La efectividad pedagógica del sistema se asegura mediante un esquema de **gradación progresiva pre-codificado** en la Base de Conocimiento. Esto significa que las reglas extraídas dictan el comportamiento exacto del modelo para cada nivel:

- En los **niveles iniciales**, las instrucciones obligan al sistema a reducir la carga cognitiva (ejecutando reglas como '*usar lenguaje simplificado*' o '*proporcionar ejemplos cotidianos*'), garantizando un andamiaje robusto.
- A medida que el **indicador de desempeño** aumenta, las reglas ordenan el retiro gradual de estos apoyos para forzar la autonomía, imponiendo el uso de terminología técnica y escenarios auténticos que exigen análisis crítico en lugar de memoria.

La siguiente matriz sistematiza estas **reglas de transformación**, mostrando las instrucciones exactas que gobiernan la evolución de cada componente instruccional:

Tabla 4
Transformación estructural guiada por SAMA

Componente	Nivel Bajo (Apoyo y Andamiaje)	Nivel Medio (Transición)	Nivel Alto (Desafío y Autonomía)
Concepto	Simplificación: Lenguaje llano y estructuras cortas.	Integración: Enlace con conocimientos previos.	Abstracción: Uso de terminología técnica precisa.
Ejemplo	Cotidiano: Analogías familiares y cercanas.	Semiauténtico: Aplicaciones prácticas generales.	Auténtico: Casos reales o escenarios profesionales.
Pregunta	Literal: Recuperación de información explícita.	Inferencial: Deducción de información implícita.	Crítica: Evaluación y juicio de valor.
Opciones	Evidentes: Distractores claramente descartables.	Moderadas: Distractores plausibles.	Sutiles: Distractores complejos que requieren análisis fino.
Feedback	Directo: Corrección inmediata del error.	Analítico: Explicación de la causa del error.	Metacognitivo: Preguntas reflexivas para la autocorrección.

Nota. Este modelo garantiza una diferenciación fina “ajustes sutiles pero significativos” sin alterar la coherencia estructural ni los objetivos de aprendizaje originales generados por SIGMA (Swiecki et al., 2022).



Una vez concluida la reescritura algorítmica, SAMA activa la fase de **integración y despliegue técnico**. Su propósito es garantizar la portabilidad del recurso mediante la **transcodificación automática** del objeto JSON final hacia diversos estándares de usabilidad educativa.

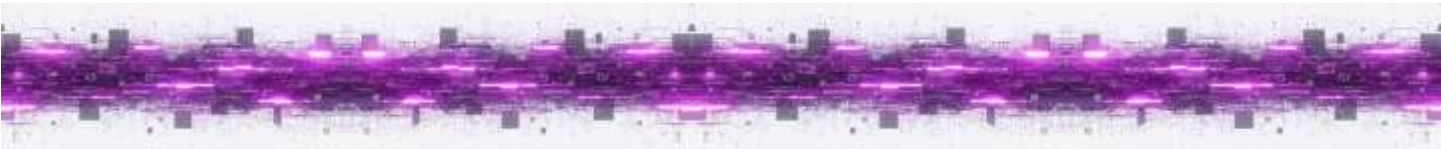
El sistema opera mediante un motor de renderizado multipropósito que:

1. **Para entornos LMS:** Genera paquetes bajo estándares de interoperabilidad (**HTML5, JSON, SCORM**),

asegurando un despliegue inmediato y funcional en plataformas como Moodle o Canvas.

2. **Para el ecosistema Google:** Ejecuta scripts de integración que transforman las evaluaciones estructuradas en **Google Forms** con retroalimentación automática pre-configurada.
3. **Para entornos analógicos:** Compila el contenido en documentos de texto paginados, facilitando su impresión y entrega física en contextos con conectividad limitada.

Esta arquitectura de salida asegura que la **personalización pedagógica** trascienda las barreras del formato, garantizando la continuidad operativa del ecosistema tanto en modalidades virtuales como presenciales (Salinas & Gutiérrez, 2023).



3.6. Métricas de Monitoreo Técnico

Para objetivar la magnitud de la intervención pedagógica, SAMA implementa un esquema de monitoreo que no se limita a verificar la ejecución, sino que cuantifica la intensidad de la adaptación. El "nivel de cambio" no es una percepción subjetiva, sino un valor parametrizado que resulta de la triangulación de tres variables críticas: **(a) el volumen absoluto de modificaciones, (b) la proporción relativa de contenido transformado y (c) la variación en la complejidad cognitiva de las actividades.**

La siguiente tabla sistematiza estos indicadores, detallando cómo cada variable audita un aspecto específico de la transformación:

Tabla 5
Indicadores de parametrización y auditoría en SAMA

Variable Paramétrica	Indicador Técnico	Descripción y Método de Cálculo
(a) Número de modificaciones	Frecuencia de Intervención	Conteo absoluto de elementos instruccionales (ejemplos, preguntas, opciones) que fueron alterados respecto a la versión base de SIGMA.
(b) Porcentaje de contenido	Índice de Transformación	Relación porcentual entre el texto original y el texto final. Cálculo: $\frac{\text{Tokens modificados}}{\text{Total de tokens del material}} \times 100$
(c) Nivel de complejidad	Alineación Cognitiva	Verificación cualitativa de la demanda exigida en las actividades. Audita si la profundidad (baja/media/alta) coincide con la regla estricta del perfil RAG.

Nota. Estos indicadores constituyen el mecanismo de control de calidad del ecosistema. Permiten garantizar la **trazabilidad** del proceso, demostrando matemáticamente que la adaptación final es consecuencia directa de las reglas del perfil y no producto de alucinaciones o desviaciones del modelo generativo (Báez-López & Herrera-Alemán, 2024).

3.7. Síntesis Técnica

En conclusión, SAMA opera como un motor de reescritura condicional híbrido: combina la potencia creativa de la Inteligencia Artificial generativa con la precisión de un sistema basado en reglas. Su arquitectura descansa sobre dos pilares fundamentales: estructuras de datos estrictas (JSON) que garantizan el orden, y una capa de conocimiento pedagógico (RAG) que asegura la pertinencia educativa. De este modo, SAMA actúa como el eslabón final que valida la hipótesis técnica del ecosistema: **es posible utilizar la IA para traducir un diagnóstico psicométrico (SEPA) y un diseño instruccional estandarizado (SIGMA) en una experiencia de aprendizaje personalizada, manteniendo siempre el rigor técnico y la fundamentación teórica.**

4. Modelo Operativo de Personalización Pedagógica

Este capítulo presenta los fundamentos pedagógicos que guían la operación del Sistema de Adaptación de Material de Aprendizaje (SAMA). A diferencia de la Inteligencia Artificial generativa tradicional, que suele crear contenido de manera libre basada en probabilidades, SAMA funciona bajo un modelo de **ingeniería pedagógica estricta**. Esto significa que la personalización no es producto de la improvisación o "creatividad" del algoritmo, sino el resultado de aplicar sistemáticamente reglas educativas que han sido validadas previamente. El propósito central de esta sección es demostrar cómo el sistema convierte los resultados del diagnóstico (SEPA) en ajustes exactos al material educativo. Para ello, utiliza **matrices de decisión deterministas**, un mecanismo técnico que asegura que cada modificación en el contenido sea precisa, controlada y responda directamente a las necesidades del estudiante, eliminando cualquier factor de azar en el proceso.



4.1. Dimensiones del Perfil y Mecanismos de Adaptación

La estrategia de personalización se fundamenta en las cuatro dimensiones clave que evalúa el diagnóstico SEPA: **pensamiento crítico, procesos metacognitivos, retroalimentación elaborativa y resolución de problemas**.

Es fundamental comprender que estas dimensiones no son simples etiquetas de calificación (notas), sino un **marco de referencia operativo** que instruye al sistema sobre qué modificar en el material y cómo hacerlo. Según el desempeño demostrado por el estudiante en cada área, SAMA selecciona la transformación técnica más adecuada para aplicar sobre el contenido base (proveniente de SIGMA).

La tabla que se presenta a continuación detalla esta **lógica condicional**: muestra cómo, ante un nivel de competencia específico del alumno, el algoritmo activa un mecanismo de adaptación puntual para ajustar el recurso educativo.

Tabla 2

Dimensiones de SEPA y mecanismos relacionales de adaptación en SAMA

Dimensión SEPA	Nivel	Desafío Cognitivo	Estrategia de Transformación SAMA	Componente Afectado
Pensamiento Crítico	Bajo	Escaso análisis	Uso de conceptos simples y distractores evidentes.	Pregunta; Opciones
	Medio	Argumentación emergente	Preguntas inferenciales y ejemplos guiados.	Pregunta; Ejemplo
	Alto	Evaluación compleja	Preguntas de alto nivel y distractores sutiles.	Pregunta; Opciones
Procesos Metacognitivos	Bajo	Baja autorregulación	Retroalimentación directa y guiada (paso a paso).	Retroalimentación
	Medio	Monitoreo parcial	Retroalimentación analítica (explicativa).	Retroalimentación
	Alto	Autonomía	Retroalimentación profunda (reflexiva).	Retroalimentación
Retroalimentación Elaborativa	Bajo	Dificultad de corrección	Explicación correctiva inmediata con refuerzo visual.	Retroalimentación
	Medio	Uso parcial del error	Comparación entre la respuesta dada y la óptima.	Retroalimentación
	Alto	Mejora continua	Análisis de alternativas y estrategias de mejora.	Retroalimentación
Resolución de Problemas	Bajo	Ejecución procedimental	Problemas cerrados con instrucciones secuenciales.	Ejemplo; Pregunta
	Medio	Selección de estrategias	Problemas que requieren elegir un método.	Ejemplo
	Alto	Transferencia	Problemas abiertos y dilemas en contextos nuevos.	Ejemplo; Pregunta

Nota. Esta tabla relaciona los niveles de desempeño con las transformaciones pedagógicas efectuadas por el sistema, abarcando la totalidad del perfil diagnóstico.

A continuación, se presenta el desglose operativo de la personalización pedagógica en las cuatro dimensiones del perfil de aprendizaje. Este análisis articula tres niveles fundamentales para demostrar la coherencia interna del sistema SAMA: el **fundamento teórico** que legitima la estrategia instruccional, la **evidencia diagnóstica** capturada por el instrumento SEPA y la **operacionalización técnica** mediante las reglas estrictas del archivo JSON. El objetivo es evidenciar cómo el ecosistema traduce principios cognitivos y metacognitivos complejos en instrucciones algorítmicas deterministas, asegurando que cada adaptación del material educativo no sea un ajuste aleatorio, sino el resultado de una ingeniería didáctica validada y alineada con las necesidades específicas del estudiante.

“El objetivo es evidenciar cómo el ecosistema traduce principios cognitivos y metacognitivos complejos en instrucciones algorítmicas deterministas”

1. En Pensamiento Crítico: Modulación de la Demanda Cognitiva



Fundamento Teórico:

La intervención de SAMA se basa en la estructura jerárquica de la **Taxonomía Revisada de Bloom** (Anderson & Krathwohl, 2001). El sistema asume que el pensamiento crítico no es una habilidad aislada, sino el resultado de procesos cognitivos superiores (*Analizar y Evaluar*) que dependen de la adquisición previa de conocimientos fundamentales. Según los autores, la categoría de **Evaluar** se define como:

"hacer juicios basados en criterios y estándares" (p. 83).

Esto implica que, para ejercer pensamiento crítico, el estudiante primero debe poseer los "criterios" (dominio conceptual). Intentar forzar la evaluación sin la comprensión previa genera una carga cognitiva inmanejable.

Operacionalización en SAMA (Alineación con Perfil JSON):

• Para el Nivel Bajo (Fase de Adquisición):

- Diagnóstico (SEPA): El perfil indica dificultades en el análisis de argumentos (rango 1.0 - 2.4). El estudiante carece de los esquemas básicos del tema.
- Acción Algorítmica: SAMA ejecuta la regla estricta del JSON: "Explicar los conceptos en frases simples y preguntas literales de comprensión".
- Ejecución Técnica: El algoritmo bloquea la generación de preguntas de juicio complejo. Reescribe las actividades limitándose a los niveles taxonómicos de *Recordar* y *Entender* (ej. identificación de conceptos, clasificación simple), construyendo la base necesaria para futuros juicios.

Justificación: Se evita la frustración del estudiante asegurando la retención de conceptos base antes de exigir transferencia o juicio.

• Para el Nivel Alto (Fase de Juicio):

- Diagnóstico (SEPA): El perfil muestra dominio (rango 3.5 - 5.0). El estudiante identifica falacias y contrasta información consistentemente.
- Acción Algorítmica: SAMA aplica la instrucción del JSON: "Definir conceptos de manera profunda y preguntas abiertas de análisis y justificación".
- Ejecución Técnica: El sistema transforma preguntas fácticas (*qué*) en preguntas evaluativas (*por qué* y *qué pasaría si*). Se introducen distractores sutiles que obligan al estudiante a aplicar los procesos de "Comprobar" y "Criticar", validando la solidez de la evidencia.

Justificación: Se eleva el desafío cognitivo para evitar el aburrimiento y fomentar el desarrollo de habilidades de orden superior.

2. En Procesos Metacognitivos: Andamiaje de la Autorregulación



Fundamento Teórico:

Esta dimensión operacionaliza el **Modelo Cíclico de Autorregulación** de Zimmerman (2000) y el concepto de conciencia metacognitiva. El sistema asume que la autorregulación es una habilidad que se desarrolla progresivamente: desde una regulación social (externa) hacia una autorregulación (interna). Como señala Zimmerman (2000):

"la autorregulación se refiere a los pensamientos, sentimientos y acciones autogenerados que son planeados y adaptados cíclicamente".

Operacionalización en SAMA (Alineación con Perfil JSON):

Para el Nivel Bajo (Regulación Externa / Apoyo Estructurado):

- Diagnóstico (SEPA): El estudiante presenta debilidades en la planificación (Ítems 26-35). Muestra una actitud reactiva frente al aprendizaje.
- Acción Algorítmica: Siguiendo la recomendación del JSON, SAMA no asume que el estudiante sepa organizarse. Aplica la regla: "Explicar la metacognición como 'pensar antes y después de hacer algo' y retroalimentación paso a paso".
- Ejecución Técnica: El sistema inserta instrucciones procedimentales explícitas antes del contenido (ej. "*Paso 1: Lee el título. Paso 2: Identifica las palabras clave*"). Actúa como el "par más capaz" (Vygotsky) para reducir la carga ejecutiva.

Justificación: SAMA suple la falta de estrategia interna con una estructura externa rígida, permitiendo al estudiante enfocarse en el contenido.

• Para el Nivel Alto (Autorregulación / Autonomía):

- Diagnóstico (SEPA): El perfil muestra consistencia en respuestas altas (Moda ≥ 4) en monitoreo y ajuste de estrategias.
- Acción Algorítmica: SAMA ejecuta la regla del JSON: "Retroalimentación reflexiva e invitar a analizar el proceso seguido".
- Ejecución Técnica: El sistema retira el andamiaje explícito (*fading*) y genera *prompts* de autoevaluación (ej. "*¿Qué estrategia fue más útil y cuándo cambiaste de enfoque?*").

Justificación: Esto obliga al estudiante a activar su fase de autorreflexión, consolidando su autonomía y la transferencia de estrategias de control.

3. En Retroalimentación Elaborativa: Niveles de Intervención del Feedback



Fundamento Teórico:

El diseño de la retroalimentación en SAMA se fundamenta en el modelo de **Hattie y Timperley (2007)**, ajustando el nivel del mensaje a la competencia del aprendiz. El sistema distingue tres niveles: *Feedback de Tarea* (FT), *Feedback de Proceso* (FP) y *Feedback de Autorregulación* (FR). Complementariamente, se integra la perspectiva de **Nicol y Macfarlane-Dick (2006)**, entendiendo el feedback como una herramienta para.

"facilitar el desarrollo de la autoevaluación".

Operacionalización en SAMA (Alineación con Perfil JSON):

• Para el Nivel Bajo (Feedback de Tarea / Corrección Directa):

- Diagnóstico (SEPA): El estudiante obtiene puntuaciones bajas en la aplicación de la retroalimentación (Ítem 64). Usa el feedback solo para corregir el error inmediato.
- Acción Algorítmica: SAMA ejecuta la regla estricta del JSON: "Explicaciones muy claras y repetitivas, reforzadas con ejemplos adicionales".
- Ejecución Técnica: El sistema genera una retroalimentación correctiva que modela la respuesta adecuada explícitamente.
 - *Ejemplo:* "Incorrecto. La opción B es falsa porque los carnívoros no digieren celulosa. La correcta es A, debido a su dentición especializada."

Justificación: El objetivo es reducir la incertidumbre y cerrar la brecha de conocimiento de forma inmediata, sin sobrecargar al alumno con teorías complejas.

• Para el Nivel Alto (Feedback Epistémico / Proceso):

- Diagnóstico (SEPA): El estudiante demuestra capacidad para la mejora continua (Ítem 67) y abstracción de principios.

- Acción Algorítmica: SAMA aplica la instrucción del JSON: "Retroalimentación reflexiva, mostrando diferentes caminos de mejora".
- Ejecución Técnica: El sistema evita la corrección directa y genera interrogantes epistémicos que obligan al estudiante a revisar su propia lógica.
 - *Ejemplo:* "Tu respuesta es parcialmente válida en este contexto, pero ¿qué sucedería si la disponibilidad de presas disminuyera drásticamente? Revisa la relación entre adaptación y entorno."

Justificación: Se promueve el "feedback para el aprendizaje profundo" (Swiecki et al., 2022), transformando el error en una oportunidad para refinar modelos mentales.

4. En Resolución de Problemas: Tipología y Estructura del Problema



Fundamento Teórico:

SAMA aplica la teoría de diseño de entornos de aprendizaje constructivista de **Jonassen (2011)**, diferenciando entre problemas **bien estructurados** (*well-structured*) y **mal estructurados** (*ill-structured*).

Además, integra los principios de transferencia del aprendizaje de **Mayer (2009)**. La lógica es que.

"los novatos necesitan resolver problemas bien estructurados para adquirir esquemas... solo después pueden transferir esos esquemas a problemas complejos" (Jonassen, 2011, p. 4).

Operacionalización en SAMA (Alineación con Perfil JSON):

• Para el Nivel Bajo (Problemas Bien Estructurados / Algorítmicos):

- Diagnóstico (SEPA): El estudiante muestra dependencia de guías externas para aplicar conocimientos (Ítems 77 y 82).
- Acción Algorítmica: El sistema selecciona la regla del JSON: "Explicar la resolución como 'seguir pasos claros' y usar problemas sencillos de la vida cotidiana".
- Ejecución Técnica: El algoritmo transforma los ejercicios en situaciones cotidianas y cerradas. Se presentan todos los datos necesarios y existe una única vía de solución clara (una "receta").
 - *Ejemplo:* "Calcula el cambio exacto de una compra si pagas con un billete de \$50.000 y la cuenta es de \$32.500."

Justificación: Permite construir el esquema mental básico y ganar confianza (autoeficacia) sin enfrentarse a la ambigüedad contextual.

• Para el Nivel Alto (Problemas Mal Estructurados / Transferencia):

- Diagnóstico (SEPA): El estudiante reporta autonomía y capacidad de análisis de múltiples variables (Ítems 86 y 93).
- Acción Algorítmica: SAMA ejecuta la instrucción del JSON: "Problemas abiertos, dilemas sociales o científicos. Preguntas que exijan justificar soluciones".
- Ejecución Técnica: SAMA reescribe el escenario introduciendo datos superfluos o dilemas éticos, eliminando la ruta única de solución.
 - *Ejemplo:* "Como director de la reserva, debes decidir si introducir una especie depredadora para controlar una plaga, sabiendo que esto podría afectar el turismo. Justifica tu decisión analizando consecuencias ecológicas y económicas."

Justificación: Se facilita la transferencia lejana del conocimiento, preparando al estudiante para la incertidumbre del mundo real (Halpern, 2020).

La articulación de estas cuatro dimensiones demuestra que SAMA trasciende la automatización de contenidos para constituirse en un sistema de **ingeniería pedagógica aplicada**. Al vincular rígidamente la evidencia diagnóstica con reglas de intervención fundamentadas en la literatura científica, se garantiza que la personalización sea consistente, trazable y libre de arbitrariedades algorítmicas. Este

modelo valida la capacidad del ecosistema para operacionalizar constructos complejos, como la autorregulación y el pensamiento crítico, mediante instrucciones deterministas, asegurando que cada estudiante reciba, con precisión, el nivel exacto de andamiaje o desafío cognitivo que su proceso de aprendizaje requiere.

4.2. Mecanismos de Transformación Estructural

Para ejecutar estas adaptaciones, SAMA interviene el material manteniendo intacto su formato modular, pero ajustando la **profundidad semántica y contextual** de cada componente. Estos cambios no son libres, sino que están delimitados por reglas estrictas que garantizan la coherencia del texto.

Tabla 3

Transformaciones instruccionales aplicadas por SAMA sobre la estructura de SIGMA

Componente	Nivel	Ajuste Aplicado	Ejemplo de Transformación
Concepto	Básico	Simplificación conceptual	"Energía eléctrica: la fuerza que enciende aparatos."
Concepto	Avanzado	Profundización conceptual	"Energía eléctrica: flujo de electrones inducido por diferencia de potencial."
Ejemplo	Básico	Situación cotidiana	"El timbre suena con energía eléctrica."
Ejemplo	Avanzado	Caso contextual	"Diseña un circuito automático para regulación lumínica."

Nota. La tabla ejemplifica los ajustes condicionales efectuados según el nivel de desempeño.

Análisis de la progresión

La estructura modular de SIGMA permite que SAMA realice intervenciones puntuales. La contextualización evoluciona desde situaciones cotidianas y familiares hacia escenarios auténticos y profesionales, facilitando el desarrollo de esquemas mentales complejos (Jonassen, 2011). Simultáneamente, la simplificación en niveles básicos protege al estudiante de la **sobrecarga cognitiva**, alineándose con las teorías del aprendizaje multimedia (Mayer, 2009).



4.3. Fundamentación Teórica de las Decisiones Instruccionales

Es crucial destacar que las reglas informáticas de SAMA son, en realidad, la **operacionalización técnica** de teorías del aprendizaje validadas. El código del sistema no hace más que ejecutar principios pedagógicos clásicos.

Esta es la versión ampliada y robustecida de la **Tabla 4**. He integrado las autoridades teóricas fundamentales que hemos trabajado en los apartados anteriores (Zimmerman, Hattie, Jonassen, Anderson & Krathwohl) para asegurar que la tabla refleje fielmente la estructura multidimensional del sistema SAMA.

Además, he refinado la columna de "Implementación" para que describa acciones técnicas precisas (reglas, prompts, fading), elevando el nivel de tecnicismo pedagógico.

Tabla 4

Matriz de operacionalización: Relación entre teoría del aprendizaje e implementación técnica en SAMA

Dimensión Teórica	Autor(es) Clave	Principio Pedagógico	Operacionalización en Código SAMA
Aprendizaje Adaptativo	Luckin (2018); Molenaar (2021)	Ajuste dinámico a la necesidad del aprendiz.	Ejecución de reglas condicionales en JSON que modulan la dificultad del contenido según el perfil.
Zona de Desarrollo Próximo (ZDP)	Vygotsky (1978)	Andamiaje (<i>Scaffolding</i>) y asistencia graduada.	Inserción automática de instrucciones paso a paso (Nivel Bajo) y su retiro progresivo (<i>fading</i>) (Nivel Alto).
Taxonomía Cognitiva	Anderson & Krathwohl (2001)	Jerarquía de procesos (Recordar → Evaluar).	Restricción de tipos de preguntas mediante <i>prompt engineering</i> : de literales a evaluativas según dominio.
Autorregulación del Aprendizaje	Zimmerman (2000); Schraw & Dennison (1994)	Ciclo de planificación, monitoreo y reflexión.	Inyección de <i>prompts</i> metacognitivos que obligan al estudiante a planificar antes de leer o reflexionar tras el error.
Niveles de Retroalimentación	Hattie & Timperley (2007); Nicol & Macfarlane-Dick (2006)	Adecuación del <i>feedback</i> (Tarea vs. Proceso).	Selección algorítmica del tipo de respuesta: corrección explícita inmediata vs. cuestionamiento epistémico.
Diseño de Entornos de Problemas	Jonassen (2011); Halpern (2020)	Problemas bien estructurados vs. mal estructurados.	Transformación semántica del enunciado: de ejercicios algorítmicos cerrados a dilemas

			contextuales abiertos.
Carga Cognitiva / Multimedia	Sweller (1988); Mayer (2009)	Reducción de la carga extrínseca.	Simplificación léxica y segmentación de la información en perfiles con bajo desempeño para evitar saturación.
Enseñanza Diferenciada	Tomlinson (2014)	Atención a la diversidad de perfiles.	Adaptación simultánea de contenido, proceso y producto basada en las variables del diagnóstico SEPA.

Nota. La tabla sintetiza cómo los constructos teóricos clásicos y contemporáneos son traducidos en reglas lógicas dentro de la arquitectura RAG de SAMA.

4.4. Base de Conocimiento RAG: La Arquitectura de la Regla

La capacidad de personalización de SAMA reside técnicamente en su arquitectura **RAG (Retrieval-Augmented Generation)**. Este mecanismo funciona como el puente estricto entre el diagnóstico psicométrico (números) y la generación de contenido (texto).

A diferencia de los modelos de IA convencionales que responden a *prompts* abiertos basándose en probabilidades estadísticas, la arquitectura RAG de SAMA consulta una **Base de Conocimiento Estructurada (JSON)**. Esta base no contiene contenido curricular, sino un repositorio de reglas pedagógicas condicionales validadas. El sistema no "decide" creativamente qué hacer; recupera una instrucción predefinida. Esto garantiza el **determinismo del sistema**: ante perfiles de aprendizaje idénticos, SAMA generará invariablemente adaptaciones pedagógicamente equivalentes, asegurando consistencia, trazabilidad y auditoría académica.

Estructura del Objeto de Control

La información recuperada se organiza en un objeto JSON que actúa como el "manual de instrucciones" (prompt de sistema) para el modelo de lenguaje.

Tabla 5
Componentes del objeto JSON derivado de la arquitectura RAG

Componente Técnico	Descripción Funcional	Propósito en la Adaptación
id_estudiante	Identificador único anonimizado.	Garantiza la trazabilidad del dato sin comprometer la privacidad.
niveles_dimensiones	Matriz numérica (1.0 - 5.0).	Activa los condicionales lógicos (if score < 2.5).
recomendaciones_sepa	Objeto anidado con instrucciones literales.	Contiene la regla pedagógica exacta (ej. "Usar analogías cotidianas").
reglas_contextuales	Restricciones de formato y tono.	Define límites operativos (ej. "No superar 150 palabras").

Nota. Adaptado del esquema de datos de SEPA (2025). Estos elementos constituyen las directrices que el algoritmo obedece estrictamente para transformar el material.

Análisis de la vinculación.

Esta matriz evidencia que la arquitectura de SAMA no se limita a una aplicación genérica de inteligencia artificial, sino que constituye la operacionalización computacional de principios pedagógicos validados. El sistema traduce conceptos abstractos, como el "andamiaje" de Vygotsky o la "carga cognitiva" de Sweller, en rutinas algorítmicas concretas (ingeniería de prompts y reglas condicionales en JSON).

De esta manera, SAMA actúa digitalmente como un mediador experto: automatiza la diferenciación que Tomlinson propone y modula el feedback según Hattie y Timperley, garantizando que cada decisión técnica tenga un respaldo científico y una intencionalidad educativa clara.

4.5. Flujo de Traducción Pedagógica–Algorítmica

El proceso técnico que convierte el perfil del estudiante en material adaptado sigue una secuencia de tres etapas consecutivas y automatizadas:

- Recuperación (Retrieval):** SAMA consulta la Base de Conocimiento utilizando los estadísticos del perfil SEPA como llave de búsqueda.
- Interpretación (Assembly):** El sistema transforma los datos recuperados en un *meta-prompt* estructurado, combinando el contenido original de SIGMA con las reglas restrictivas de SEPA.
- Generación (Generation):** El modelo de lenguaje reescribe los componentes del material obedeciendo las restricciones, sin "alucinar" información externa.



Este flujo elimina la variabilidad aleatoria típica de la IA generativa, asegurando que la adaptación sea una consecuencia lógica del diagnóstico y no un artefacto del azar.

4.6. Unidades de Adaptación del Material

Las reglas del RAG no se aplican al documento completo de manera indiscriminada, sino que operan sobre unidades semánticas específicas. SAMA mantiene intacta la estructura curricular general (objetivos de aprendizaje), modificando únicamente la profundidad y el andamiaje de los siguientes componentes:

Tabla 6

Unidades modificables y tipos de transformación algorítmica

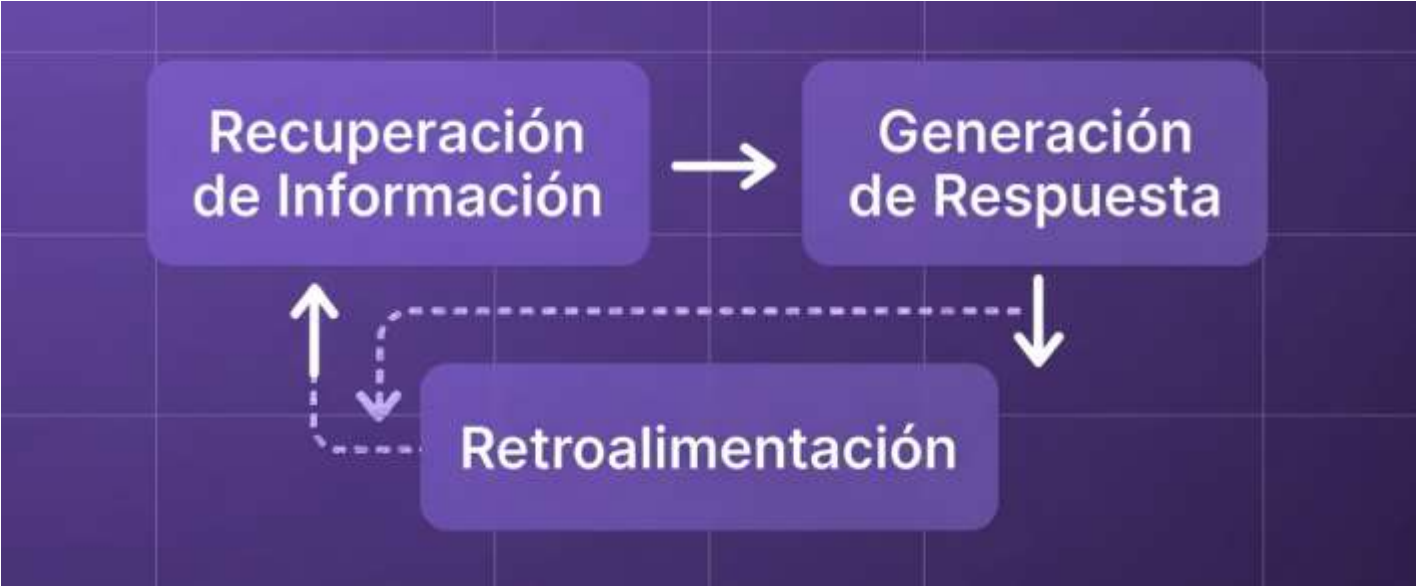
Unidad Modificable	Tipo de Transformación Aplicada
Concepto	Modulación Semántica: Ajuste de la densidad léxica y profundidad conceptual (concreto vs. abstracto).

Ejemplo	Selección Contextual: Sustitución de situaciones según familiaridad (cotidiano vs. técnico/profesional).
Pregunta	Reescritura Taxonómica: Elevación o reducción del nivel cognitivo (literal vs. inferencial/crítico).
Opciones de Respuesta	Estructuración de Distractores: Ajuste de la plausibilidad y sutileza de las opciones incorrectas.
Retroalimentación	Ajuste de Andamiaje: Variación entre corrección directa, explicación guiada o reflexión metacognitiva.

Nota. Basado en la estructura modular de SIGMA ver.10. El sistema garantiza que, independientemente de la transformación, el concepto central permanezca alineado con el estándar curricular.

4.7. Ventajas Pedagógicas de la Traducción RAG

El uso de esta arquitectura ofrece cuatro ventajas críticas: **control semántico, confiabilidad pedagógica, escalabilidad y trazabilidad**. Al basarse en reglas explícitas y no en la "creatividad" del modelo, cada adaptación es verificable y justificable. Esto permite implementar IA en contextos educativos reales sin el riesgo de degradar el diseño instruccional original.



4.8. Síntesis de la incorporación del componente RAG

En conclusión, la base RAG es el núcleo intelectual de la interacción SEPA–SAMA. Su función es traducir los resultados psicométricos en **reglas de ingeniería de prompt**. Gracias a esto, la adaptación educativa deja de depender del azar para convertirse en un proceso sistemático, verificable y profundamente alineado con los fundamentos pedagógicos del proyecto.



5. Implementación Técnica y Motor Algorítmico de SAMA

5.1. Introducción General

El Sistema de Adaptación de Material de Aprendizaje (SAMA) constituye la capa algorítmica encargada de operacionalizar la personalización pedagógica dentro del ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA. Su función técnica es transformar los componentes específicos del contenido instruccional “conceptos, ejemplos, preguntas, opciones y retroalimentación” sin alterar la arquitectura curricular original diseñada por SIGMA.

Este proceso no depende de la creatividad espontánea de la Inteligencia Artificial, sino que opera como un **sistema de ingeniería pedagógica controlado**. La adaptación se rige estrictamente por reglas validadas, almacenadas en la arquitectura RAG (*Retrieval-Augmented Generation*) de SEPA, lo que garantiza que el sistema traduzca los diagnósticos psicométricos en modificaciones instruccionales precisas, deterministas y libres de alucinaciones (OpenAI, 2023; Prather et al., 2023).

“Un sistema de ingeniería pedagógica controlado. La adaptación se rige estrictamente por reglas validadas, almacenadas en la arquitectura RAG (Retrieval-Augmented Generation) de SEPA, lo que garantiza que el sistema traduzca los diagnósticos psicométricos en modificaciones instruccionales precisas, deterministas y libres de alucinaciones”

5.2. Flujo Técnico de Datos en el Ecosistema

SAMA actúa como el módulo de convergencia en el flujo de datos SIGMA → SEPA → SAMA, integrando la oferta de contenido (**el "qué" se enseña**) con la demanda cognitiva del estudiante (**el "cómo" necesita aprender**).

En términos operativos, la secuencia de procesamiento es la siguiente:

1. **SIGMA** genera objetos de aprendizaje modulares y estandarizados.
2. **SEPA** produce un perfil del estudiante basado en cálculos estadísticos, empaquetando niveles y recomendaciones en un objeto JSON.
3. **SAMA** realiza el cruce de ambos insumos, aplicando transformaciones condicionales guiadas por las reglas pedagógicas extraídas.



La siguiente tabla resume la articulación funcional de estos tres componentes:

Tabla 1

Flujo funcional de datos entre SIGMA, SEPA y SAMA

Sistema	Insumos de Entrada	Procesamiento Interno	Output (Producto)
SIGMA	Parámetros pedagógicos y curriculares. Concepto por desarrollar determinado por el docente.	Generación estructurada de contenido base.	Material modular estandarizado.
SEPA	Respuestas del cuestionario.	Cálculo psicométrico + Extracción de reglas RAG.	JSON del Perfil de Aprendizaje (Estadísticas + Instrucciones).
SAMA	Material SIGMA + JSON del Perfil.	Motor de reescritura condicional basado en reglas.	Contenido educativo personalizado.

Nota. Esta tabla evidencia que SAMA no genera contenido desde cero, sino que procesa insumos preexistentes bajo directrices estrictas.

5.3. Insumos Técnicos Administrados por SAMA



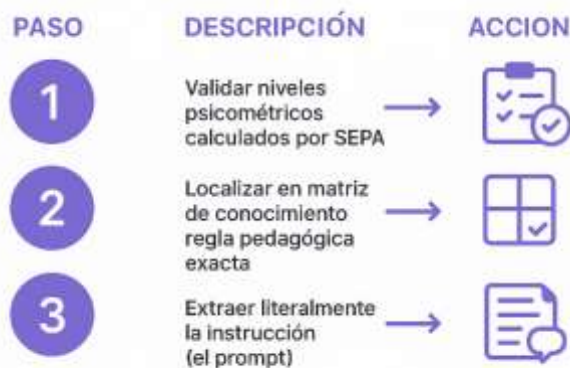
5.3.1. Material Base proveniente de SIGMA

Para permitir una manipulación precisa, SIGMA entrega el contenido fragmentado en cinco componentes independientes: **concepto, ejemplo, pregunta, opciones y retroalimentación**. Este diseño modular es crucial, ya que permite que el algoritmo de SAMA intervenga selectivamente solo en los bloques necesarios, preservando intacta la coherencia global y los objetivos de aprendizaje.

5.3.2. Perfil de Aprendizaje proveniente de SEPA

El insumo crítico para la personalización es el archivo JSON del perfil. Es fundamental destacar que este objeto no contiene simples descripciones, sino **instrucciones de comando derivadas de datos estadísticos** (promedios, modas y desviaciones). SAMA no "interpreta" este archivo; ejecuta las reglas que SEPA ha calculado previamente.

5.4. Base de Conocimiento RAG: Núcleo Cognitivo del Sistema



La arquitectura RAG constituye el mecanismo de control lógico del sistema. A diferencia de los modelos de búsqueda abierta, en SAMA funciona como una **tabla de correspondencia estricta**. Su propósito técnico es:

1. **Validar** los niveles psicométricos calculados por SEPA.
2. **Localizar** en la matriz de conocimiento la regla pedagógica exacta asociada a ese nivel.
3. **Extraer literalmente** la instrucción (el *prompt*) que guiará al modelo generativo.

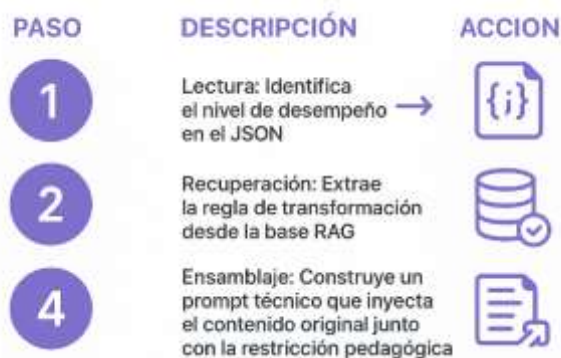
Gracias a este mecanismo de extracción literal, la personalización es **determinista, verificable y trazable**, requisitos indispensables para garantizar la seguridad y calidad en la implementación educativa a escala (UNESCO, 2024).

5.5. Motor Algorítmico de Reescritura

5.5.1. Lógica General de Ejecución

El motor de SAMA opera mediante una iteración sistemática. El algoritmo recorre secuencialmente las dimensiones del perfil y ejecuta los siguientes pasos para cada una:

1. **Lectura:** Identifica el nivel de desempeño en el JSON.
2. **Recuperación:** Extrae la regla de transformación desde la base RAG.
3. **Ensamblaje:** Construye un *prompt* técnico que inyecta el contenido original junto con la restricción pedagógica.
4. **Generación:** El modelo reescribe el componente obedeciendo la restricción.



5.5.2. Pseudocódigo del Proceso

El siguiente esquema simplificado ilustra la lógica determinista del algoritmo:

```
codeText
INPUT: perfil_json, material_sigma
FOR EACH dimension IN perfil_json:
    // 1. Recuperar la regla estricta basada en el nivel estadístico
    regla_instruccional ← RAG.obtener_regla(dimension.nivel)
    // 2. Construir el prompt blindado contra alucinaciones
    prompt ← construir_prompt(
        contenido: material_sigma,
        restricción: regla_instruccional
    )
    // 3. Ejecutar la transformación
    material_sigma ← IA.generar_transformacion(prompt)
RETURN material_sigma
```

Esta lógica garantiza la **reproducibilidad**: dos estudiantes con perfiles estadísticos equivalentes recibirán, invariablemente, adaptaciones pedagógicas equivalentes (Crompton & Burke, 2023).

5.6. Transformaciones Aplicadas al Material

Las reglas teóricas descritas en el Capítulo 4 se traducen aquí en operaciones técnicas sobre el texto. La siguiente tabla sintetiza

Tabla 2

Matriz de transformación estructural aplicada por SAMA

Componente	Nivel Bajo (Apoyo)	Nivel Medio (Transición)	Nivel Alto (Desafío)
Concepto	Simplificación léxica.	Integración con saberes previos.	Abstracción técnica.
Ejemplo	Situación cotidiana/familiar.	Aplicación semiauténtica.	Caso profesional auténtico.
Pregunta	Literal (recuperación).	Inferencial (deducción).	Crítica (evaluación).
Opciones	Distractores evidentes.	Distractores moderados.	Distractores sutiles/complejos.
Feedback	Directo y correctivo.	Analítico y explicativo.	Metacognitivo y reflexivo.

5.7. Integración y Salida (Transcodificación)

Una vez finalizada la reescritura, SAMA activa su motor de renderizado para garantizar la **interoperabilidad**. El sistema transcodifica automáticamente el objeto JSON adaptado hacia formatos estándar, asegurando su despliegue inmediato en diversos entornos:

- **HTML5 / JSON:** Para visualización web e intercambio de datos entre sistemas.
- **SCORM / GIFT:** Para integración nativa con LMS como Moodle o Canvas.
- **Integración Google/Office:** Generación automática de evaluaciones en Google Forms o documentos de texto para impresión.

Esta versatilidad técnica asegura que el material personalizado se integre sin fricción en el flujo de trabajo del docente, eliminando la necesidad de edición manual (Salinas & Gutiérrez, 2023).

5.8. Métricas de Monitoreo y Auditoría Técnica

Para objetivar la magnitud de la intervención pedagógica y asegurar la transparencia del proceso generativo, SAMA implementa un esquema de auditoría técnica en tiempo real. Este mecanismo no se limita a verificar la ejecución del algoritmo, sino que cuantifica la intensidad y precisión de la adaptación mediante métricas rigurosas. De esta manera, el "nivel de personalización"

Análisis de las Métricas de Monitoreo

SAMA no solo genera el contenido, sino que revisa su propio trabajo en tiempo real para asegurar que la personalización sea real y no un error. Para ello, el sistema utiliza tres "controles de calidad" matemáticos que verifican automáticamente los cambios realizados:

“SAMA une la ingeniería de software con la pedagogía. Su funcionamiento es claro: toma los materiales estándar (SIGMA) y el diagnóstico del alumno (SEPA), consulta un manual de reglas estrictas (RAG) y genera una versión única para ese estudiante.”

cómo el algoritmo modula los componentes del material según el nivel detectado:

deja de ser una percepción subjetiva para convertirse en un valor parametrizado, resultante de la triangulación de cuatro variables críticas: la dinámica de modificación, la magnitud del cambio textual, la profundidad cognitiva y la densidad técnica del lenguaje. A continuación, se detallan los indicadores que permiten fiscalizar matemáticamente la coherencia entre el diagnóstico del estudiante y el material final producido.

Tabla 3

Matriz de indicadores de auditoría y parametrización del desempeño técnico de SAMA

Variable Paramétrica	Indicador Técnico	Descripción y Método de Verificación Automatizada
(a) Dinámica de Adaptación	Tasa de Modificación Incremental	Mide el volumen de intervención del sistema. Se calcula como el porcentaje de incremento en la cantidad de componentes (ejemplos, pistas, explicaciones) que posee la versión personalizada en comparación con el material genérico base.
(b) Magnitud del Cambio	Índice de Transformación	Cuantifica el impacto textual de la adaptación. Se mide calculando el porcentaje del contenido total (tokens) que ha sido reescrito o sustituido para ajustarse al perfil específico del estudiante.
(c) Profundidad Cognitiva	Escala de Complejidad (1-5)	Evalúa el nivel de demanda de las actividades generadas. Se utiliza una escala ordinal del 1 al 5 , donde un valor más alto indica una mayor exigencia cognitiva (de <i>Recordar</i> a <i>Crear</i>), validando que la dificultad coincida con la Regla RAG solicitada.
(d) Calidad del Lenguaje	Índice de Densidad Técnica	Mide la precisión y sofisticación del vocabulario. Se calcula contabilizando la cantidad de términos técnicos o especializados por cada 100 palabras . Un índice mayor confirma una adaptación hacia perfiles de desempeño alto (lenguaje experto).

Nota. Estos indicadores se evalúan automáticamente en tiempo de ejecución junto con la generación del contenido. Aseguran la trazabilidad del sistema, permitiendo certificar matemáticamente que los cambios responden a la directriz pedagógica del perfil y no a variaciones aleatorias del modelo (Báez-López & Herrera-Alemán, 2024).

1. Control de Cantidad (Dinámica de Adaptación)

- **¿Qué mide?** Verifica si el sistema realmente agregó las ayudas o explicaciones adicionales que el estudiante necesitaba.
- **¿Cómo se calcula?** El sistema cuenta el número de palabras e instrucciones nuevas en la versión personalizada y lo compara con la versión original.
 - *Ejemplo:* Si el texto original tenía 100 palabras y el personalizado tiene 150 (por agregar explicaciones paso a paso), el sistema registra un **aumento del 50%** en soporte.

2. Control de Intensidad (Índice de Transformación)

- **¿Qué mide?** Confirma qué tanto cambió el texto. Sirve para asegurar que SAMA no haya reescrito todo innecesariamente o, por el contrario, que haya hecho muy pocos cambios.
- **¿Cómo se calcula?** Se utiliza un algoritmo de comparación de texto que calcula el **porcentaje de palabras diferentes** entre el archivo de entrada (SIGMA) y el de salida (SAMA).
 - *Meta:* Un cambio del 10-20% suele indicar ajustes precisos; más del 50% podría indicar una reescritura excesiva.

3. Control de Calidad Pedagógica (Complejidad y Lenguaje)

- **¿Qué mide?** Asegura que la dificultad del texto coincida con el nivel del estudiante (ni muy fácil, ni muy difícil).
- **¿Cómo se calcula?**
 - **Nivel de Dificultad (1-5):** El sistema escanea los verbos utilizados en las preguntas (ej. "identificar" vs. "evaluar") y los clasifica en una escala del 1 al 5.
 - **Densidad Técnica:** Cuenta cuántas palabras técnicas o especializadas hay por cada 100 palabras.
 - **Validación:** Si el estudiante es "Avanzado", el sistema espera un índice alto de palabras técnicas. Si es bajo, marca error.

Este esquema garantiza que la personalización sea **medible y verificable**: no es una opinión subjetiva, es un dato matemático.



5.9. Lógica de Influencia Selectiva: ¿Qué cambia y qué no?

El sistema no cambia todo el documento al azar. SAMA funciona como un cirujano: opera solo en las partes específicas que el diagnóstico señala. Dependiendo de la dimensión evaluada, el sistema "toca" únicamente los siguientes componentes:

- **Si el foco es Pensamiento Crítico:** SAMA modifica solo las **Preguntas y Opciones**.
 - *Cambio:* Pasa de preguntas de memoria ("¿Qué es?") a preguntas de juicio ("¿Por qué es mejor?").
- **Si el foco es Retroalimentación Elaborativa:** SAMA modifica solo el **Feedback**.
 - *Cambio:* En lugar de decir solo "Correcto/Incorrecto", agrega explicaciones detalladas o nuevas preguntas reflexivas.
- **Si el foco son Procesos Metacognitivos:** SAMA modifica las **Instrucciones**.
 - *Cambio:* Agrega una lista de pasos previos ("Antes de empezar, haz esto...") o preguntas de autoevaluación al final.
- **Si el foco es Resolución de Problemas:** SAMA modifica los **Ejemplos**.
 - *Cambio:* Cambia la historia del ejemplo. Pasa de un caso simple y cotidiano a un problema profesional complejo con datos sobrantes.

Síntesis del Capítulo. En conclusión, SAMA une la ingeniería de software con la pedagogía. Su funcionamiento es claro: toma los materiales estándar (SIGMA) y el diagnóstico del alumno (SEPA), consulta un manual de reglas estrictas (RAG) y genera una versión única para ese estudiante. Gracias a los controles matemáticos explicados (auditoría) y a que solo modifica lo necesario (influencia selectiva), el sistema convierte un diagnóstico abstracto en una clase personalizada, medible y segura.



6. Limitaciones y Ejemplos Operativos del Sistema SAMA

6.1. Introducción

Este capítulo delimita las fronteras funcionales del sistema, estableciendo con precisión qué puede realizar la tecnología en su estado actual y cuáles son las restricciones técnicas y pedagógicas que condicionan su operación. Este marco de "expectativas realistas" es fundamental para garantizar una implementación institucional ética, responsable y alineada con las directrices internacionales sobre IA en educación (UNESCO, 2024).

6.2. Alcances Declarados del Sistema

Los alcances de SAMA se definen por su capacidad para automatizar la diferenciación instruccional mediante el uso de reglas pedagógicas explícitas, superando las limitaciones de la estandarización curricular tradicional.

6.2.1. Alcance Funcional: Transformación Determinista

SAMA no es un generador de contenido *ex nihilo* (desde la nada); su arquitectura es estrictamente **transformacional**.

- **Prevención de Alucinaciones:** Al operar únicamente sobre insumos preexistentes (SIGMA) y bajo reglas restrictivas (RAG), el sistema mitiga el riesgo de invención de datos.
- **Preservación Curricular:** El sistema modifica la *forma* (complejidad, tono, profundidad) pero respeta el *fondo* (estructura conceptual, definiciones base), garantizando que los objetivos de aprendizaje originales se mantengan inalterados (Navas Ríos et al., 2023).



PREVENCIÓN DE ALUCINACIONES

Al operar únicamente sobre insumos preexistentes (SIGMA) y bajo reglas restrictivas (RAG), el sistema mitiga el riesgo de invención de datos.



PRESERVACIÓN CURRICULAR

El sistema modifica la forma (complejidad, tono, profundidad) pero respeta el fondo (estructura conceptual, definiciones base), garantizando que los objetivos de aprendizaje originales se mantengan inalterados (Navas Ríos et al., 2023).

6.2.2. Alcance Pedagógico: Diferenciación Multidimensional

El sistema tiene la capacidad de modular cuatro variables instruccionales críticas de manera simultánea:

1. **Carga Cognitiva:** Ajusta el nivel de análisis requerido (desde literal hasta crítico).
2. **Contextualización:** Modifica los ejemplos para transitar desde lo cotidiano hacia lo técnico.
3. **Nivel de Abstracción:** Simplifica o especializa el lenguaje conceptual.
4. **Andamiaje (Scaffolding):** Regula la autonomía en la retroalimentación, actuando como guía paso a paso o como facilitador reflexivo (Vygotsky, 1978).



6.2.3. Alcance de Integración y Escalabilidad

SAMA está diseñado para entornos de alta densidad estudiantil. Su arquitectura basada en estándares de intercambio (**JSON**, **SCORM**) permite procesar múltiples perfiles simultáneamente y desplegar los resultados en plataformas LMS convencionales (Moodle, Canvas). Esto viabiliza la personalización individual a una escala institucional que sería inmanejable mediante procesos manuales (Molenaar, 2021).

6.3. Limitaciones del Sistema

Para un uso seguro y ético, es indispensable reconocer las restricciones actuales de la arquitectura.

6.3.1. Dependencia Estructural (Principio de Calidad de Datos)

SAMA no es autónomo; es un eslabón de una cadena.

- **Sensibilidad a la Entrada:** Opera bajo el principio *Garbage In, Garbage Out* (GIGO). Si el material base de SIGMA es deficiente o el diagnóstico de SEPA es impreciso, la adaptación de SAMA será igualmente defectuosa.
- **Dependencia de la Base RAG:** El sistema no "sabe" pedagogía; solo ejecuta las reglas codificadas en su base de conocimiento. No puede improvisar estrategias fuera de las que han sido pre-programadas (Crompton & Burke, 2023).

6.3.2. Estado de Desarrollo y Limitaciones Técnicas

El sistema opera actualmente como un **prototipo experimental** (fase Pre-Beta), lo que implica:

- **Ausencia de Aprendizaje Recursivo:** Es un modelo estático que no aprende en tiempo real (*no learning on*

the fly). No ajusta sus parámetros basándose en la interacción inmediata del estudiante.

- **Unidireccionalidad:** La adaptación se produce una sola vez por ciclo de evaluación; no existe un diálogo continuo para refinar el material durante la sesión de estudio.

6.3.3. Restricciones de Formato y Validación

- **Dominio Textual:** La adaptación es robusta en texto y estructura lógica, pero limitada en recursos multimedia avanzados o interactividad compleja.
- **Validación Longitudinal:** Aunque posee solidez teórica, aún se requiere evidencia empírica a largo plazo que correlacione el uso de SAMA con mejoras en pruebas estandarizadas (Saber/PISA).



6.4. Síntesis de Capacidades y Restricciones

La siguiente matriz resume el balance operativo del sistema:

Tabla 1

Balance operativo: Capacidades vs. Restricciones de SAMA

Dimensión	Alcance (Lo que SÍ hace)	Limitación (Lo que NO hace)
Funcional	Adapta material existente según reglas estrictas.	No genera contenido original ni creativo desde cero.
Pedagógica	Aplica diferenciación basada en evidencia (RAG).	No sustituye el juicio ni la supervisión del docente.
Técnica	Opera mediante lógica condicional en JSON.	No aprende dinámicamente de la interacción del usuario.
Validación	Fundamentación teórica y coherencia interna.	Pendiente de validación de impacto en aula real.

Nota. Esta matriz delimita las fronteras operativas del sistema, clarificando que SAMA funciona como un motor de adaptación determinista y no como una IA generativa creativa o autónoma. Se enfatiza su rol como herramienta de soporte que automatiza la diferenciación pedagógica bajo reglas estrictas, sin pretender sustituir la supervisión docente ni ofrecer aprendizaje en tiempo real (*machine learning* dinámico) en esta fase de desarrollo.



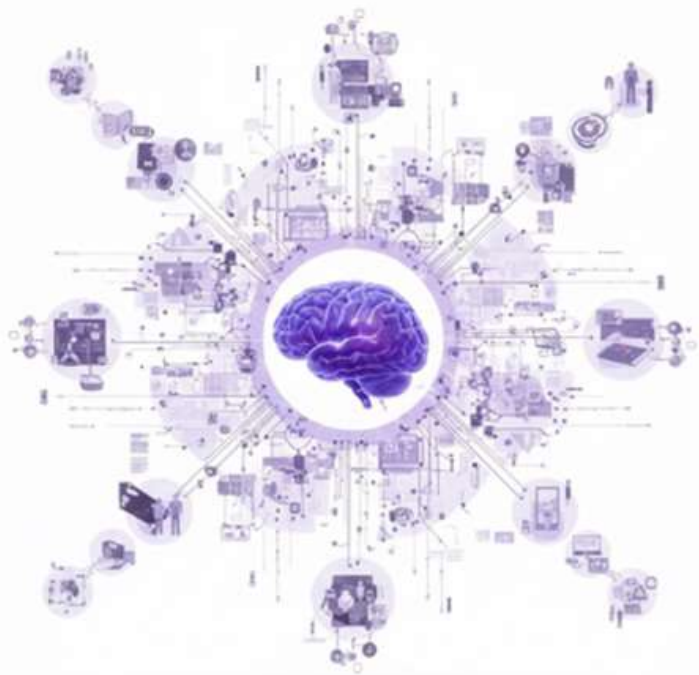
6.5. Conclusión del Capítulo

SAMA debe concebirse como una **herramienta de amplificación docente**, no como un sustituto. Su valor radica en la capacidad de ejecutar tareas de diferenciación masiva con rigor técnico, siempre bajo la supervisión de un humano en el bucle (*Human-in-the-loop*). Esta postura asegura que la tecnología sirva a propósitos educativos éticos y contextualizados.

6.6. Mecánica Operativa de la Transformación (Síntesis Conceptual)

6.6.1. Lógica General del Proceso

Aunque este informe técnico se centra en la arquitectura del sistema, es posible trazar la ruta lógica que sigue el dato para convertirse en aprendizaje. El flujo de transformación no es una "caja negra", sino un procedimiento secuencial verificable:



1. **Ingesta:** SAMA recibe dos insumos estructurados: el material base (SIGMA) y el perfil diagnóstico (SEPA).
2. **Consulta:** El motor interroga a la Base de Conocimiento RAG para obtener las reglas pedagógicas específicas del caso.
3. **Identificación:** El algoritmo localiza qué componentes del material (ej. la pregunta o el ejemplo) son susceptibles de cambio.
4. **Reescritura Condicional:** Se aplican las modificaciones semánticas, de tono y complejidad dictadas por la regla.
5. **Generación:** Se produce el nuevo objeto de aprendizaje personalizado.

6.6.2. Matriz de Intervención por Componente

La operación de SAMA se basa en la modificación quirúrgica de cinco elementos estructurales. A diferencia de una reescritura general, el sistema ataca puntos específicos para lograr efectos pedagógicos concretos:

Tabla 2

Síntesis de la intervención operativa sobre el material

Componente del Material	Variable de Ajuste	Objetivo de la Transformación
Concepto	Precisión vs. Abstracción	Ajustar la carga cognitiva inicial.
Ejemplo	Contexto (Cotidiano/Técnico)	Facilitar el anclaje con saberes previos o desafiar la transferencia.
Pregunta	Demanda Cognitiva	Mover al estudiante en la taxonomía (de recordar a evaluar).
Opciones	Plausibilidad del Distractor	Modular la dificultad de discriminación.
Feedback	Profundidad del Guiado	Fomentar la corrección rápida o la reflexión metacognitiva.

Nota. La tabla sistematiza la lógica de intervención modular de SAMA, vinculando cada componente instruccional con la variable

específica que el algoritmo modifica y el propósito pedagógico que persigue. Se evidencia que la adaptación no es una reescritura generalizada, sino una operación quirúrgica orientada a regular aspectos críticos del aprendizaje, como la carga cognitiva, la transferencia de saberes y la demanda taxonómica, asegurando que cada ajuste tenga una intencionalidad didáctica clara.

6.6.3. Consideraciones Finales sobre la Operatividad

El análisis de este flujo operativo confirma que SAMA ejecuta una **adaptación altamente estructurada**. Al mantener intacta la arquitectura modular del contenido y modificar únicamente las variables semánticas y cognitivas, el sistema garantiza que el estudiante reciba una versión del material que es, simultáneamente, personalizada a sus necesidades y fiel a los estándares curriculares originales.



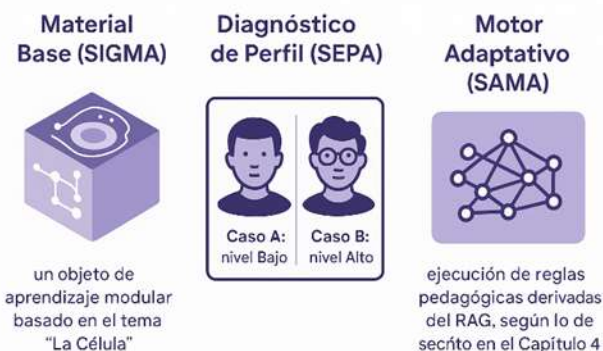
7. Simulación Operativa y Evidencia de Transformación del Sistema SAMA

El presente capítulo expone la validación funcional del sistema SAMA mediante la simulación de un flujo integral de adaptación. Su propósito es demostrar la trazabilidad técnica y la fundamentación pedagógica del proceso, evidenciando cómo el diagnóstico emitido por SEPA modifica, de manera determinista, el material base de SIGMA para generar contenidos personalizados (Huang et al., 2023). Este análisis confirma que el ecosistema opera bajo una lógica de adaptación controlada, descartando la aleatoriedad propia de la generación no supervisada

7.1. Protocolo de Simulación

La simulación operativa se desarrolla bajo un diseño controlado para evaluar la coherencia, diferenciación y estabilidad del motor adaptativo de SAMA. Se establecen tres elementos centrales:

1. **Material Base (SIGMA):** un objeto de aprendizaje modular basado en el tema “La Célula”.
2. **Diagnóstico de Perfil (SEPA):** dos perfiles contrastantes Caso A: nivel Bajo; Caso B: nivel Alto.
3. **Motor Adaptativo (SAMA):** ejecución de reglas pedagógicas derivadas del RAG, según lo descrito en el Capítulo 4.



Este protocolo permite validar que las transformaciones mantienen coherencia estructural y cumplen con los principios de personalización instruccional (Salinas & Gutiérrez, 2023).

7.2. Insumo 1: Material Base Estandarizado (SIGMA)

El punto de partida es un material uniforme para todos los estudiantes:

- **Tema:** La Célula

- **Concepto Original:** “La célula es la unidad morfológica y funcional de todo ser vivo.”
- **Pregunta Original:** “¿Cuál es la función principal de la mitocondria?”
- **Retroalimentación Original:** “La mitocondria es responsable de la respiración celular y la producción de energía (ATP).”



Este material representa la estructura modular propia de SIGMA y sirve como referencia para evaluar la magnitud y pertinencia de las transformaciones generadas por SAMA.

7.3. Insumo 2: Perfiles de Aprendizaje Simulados (SEPA)

Para activar rutas divergentes de personalización, se utilizan dos perfiles JSON con niveles extremos:

Perfil A (Desempeño Bajo)

```
{
  "pensamiento_critico": "Bajo",
  "procesos_metacognitivos": "Bajo",
  "recomendacion": "Requiere simplificación y andamiaje explícito."
}
```

Perfil B (Desempeño Alto)

```
{
  "pensamiento_critico": "Alto",
  "procesos_metacognitivos": "Alto",
  "recomendacion": "Requiere desafío inferencial y autonomía."
}
```

Fragmento de código de la estructura simplificado para el ejemplo.

Cada variable activa reglas específicas de adaptación previamente descritas en las matrices dimensión–nivel (Capítulo 4).

7.4. Resultados de la Transformación Generada por SAMA

A continuación, se muestran los cambios producidos por el motor adaptativo al aplicar las reglas del RAG pedagógico para ambos perfiles.

7.4.1. Transformación del Concepto y del Ejemplo

Tabla 1

Modulación semántica ejecutada por SAMA.

Componente	Perfil A (básico)	Perfil B (Avanzado)
Concepto	“La célula es como un ladrillo pequeño. Todos los seres vivos están hechos de estos ladrillos que trabajan juntos.”	“La célula constituye la unidad biológica fundamental, dotada de auto-conservación y reproducción, actuando como un sistema termodinámico abierto.”
Ejemplo	“Imagina una casa hecha de ladrillos; tu cuerpo es la casa y las células son los ladrillos.”	“Analiza el tejido muscular: los miocitos se agrupan para permitir contracción mecánica mediante gasto energético.”

Nota. La tabla evidencia la modulación semántica ejecutada por SAMA. Se observa un contraste deliberado: para el Perfil A, el sistema reduce la abstracción mediante analogías cotidianas (andamiaje) que facilitan la comprensión, mientras que para el Perfil B, eleva la exigencia cognitiva utilizando terminología técnica precisa. Esto demuestra cómo el mismo núcleo temático ("La Célula") se transforma estructuralmente para ajustarse a las capacidades de procesamiento y conocimientos previos de cada estudiante.

Análisis

Para el Perfil A (básico), SAMA implementa estrategias de anclaje mediante analogías concretas y cotidianas (ej. "ladrillos"). Esta decisión operacionaliza la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1968), facilitando la asimilación de nuevos conceptos al vincularlos con esquemas previos familiares. Asimismo, el uso de lenguaje simplificado busca reducir la carga cognitiva intrínseca, permitiendo que el estudiante construya una representación mental inicial sin la barrera del vocabulario técnico, en consonancia con los principios de aprendizaje multimedia (Mayer, 2009).

Para el Perfil B (Avanzado), el sistema elimina las analogías simples y adopta una terminología técnica de alta abstracción (ej. "sistema termodinámico"). Esta transformación se alinea con la propuesta de Jonassen (2011) sobre la resolución de problemas, donde los aprendices avanzados requieren transitar desde escenarios bien estructurados hacia entornos complejos que desafíen sus modelos mentales. Al incrementar la densidad léxica, el sistema ajusta el andamiaje a la nueva Zona de Desarrollo Próximo del estudiante (Vygotsky, 1978), promoviendo la autonomía y el pensamiento científico formal.



7.4.2. Transformación de la Evaluación y Retroalimentación

Tabla 2

Transformación adaptativa de los componentes de evaluación y retroalimentación según el perfil de desempeño

Componente	Perfil A (Básico)	Perfil B (Avanzado)
Pregunta	"¿Qué parte de la célula produce energía?" (Nivel literal)	"Si una célula muscular requiere gran cantidad de energía, ¿qué organelo debería ser más abundante y por qué?" (Nivel inferencial)
Feedback	"Correcto. La mitocondria funciona como una batería que da energía."	"Exacto. Relacionaste función y demanda energética. ¿Qué ocurriría si la mitocondria fallara?"

Nota. La tabla ilustra la gradación de la demanda cognitiva aplicada por el sistema. Se observa cómo el algoritmo ajusta la taxonomía de la pregunta (de literal a inferencial) y la profundidad de la retroalimentación (de correctiva a reflexiva) en función del perfil. Esto garantiza que el estudiante novato consolide conceptos básicos mediante analogías directas, mientras que el estudiante avanzado es impulsado hacia el análisis causal y la transferencia de conocimiento.

Análisis:

En cuanto a la evaluación, la diferencia entre ambos perfiles evidencia la aplicación dinámica de la jerarquía taxonómica propuesta por **Anderson y Krathwohl (2001)**.

Para el Perfil A (Básico), SAMA restringe la pregunta al nivel de "Recordar", solicitando la recuperación de información literal para asegurar la consolidación de conceptos fundamentales sin sobrecargar la memoria de trabajo.

En contraste, para el Perfil B (Avanzado), el sistema eleva la demanda hacia los niveles de "Analizar" y "Evaluar". Al plantear un escenario fisiológico (célula muscular) y exigir una justificación causal (por qué), se fuerza al estudiante a transferir su conocimiento a un nuevo contexto, promoviendo el aprendizaje profundo.

Respecto a la retroalimentación, la adaptación sigue rigurosamente el modelo de niveles de feedback de Hattie y **Timperley (2007)**.

En el Perfil A, la respuesta del sistema se sitúa en el nivel de Feedback de Tarea (FT): es correctiva, inmediata y utiliza una analogía concreta ("funciona como una batería") para cerrar la brecha de comprensión de manera directa.

Por el contrario, en el Perfil B, SAMA transita hacia un Feedback de Proceso y Autorregulación (FP/FR). El sistema valida la lógica del estudiante ("Relacionaste función y demanda...") y extiende el aprendizaje mediante una pregunta hipotética ("¿Qué ocurriría si...?"), estimulando la reflexión metacognitiva y la autonomía intelectual (**Zimmerman, 2000**).

7.5. Validación de Integridad Estructural

La simulación demuestra que, pese a las variaciones semánticas y cognitivas:

- La **estructura modular** del material (concepto, ejemplo, pregunta y feedback) permanece intacta.
- Las modificaciones no alteran el formato requerido por plataformas LMS como Moodle.
- El sistema mantiene la alineación curricular sin generar contenido improvisado (Swiecki et al., 2022).

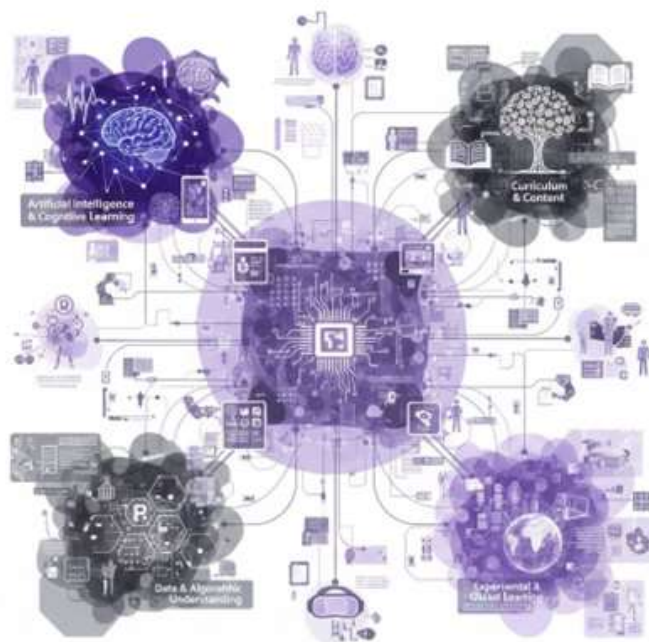
Cognitivas



- La estructura modular del material (concepto, ejemplo, pregunta y feedback) permanece intacta.
- Las modificaciones no alteran el formato requerido por plataformas LMS como Moodle.
- El sistema mantiene la alineación curricular sin generar contenido improvisado (Swiecki et al., 2022).

"Esto confirma que SAMA ejecuta una personalización controlada, no disruptiva para el diseño instruccional".

7.6. Síntesis de Resultados



Los resultados evidencian que SAMA:

- Aplica transformaciones **deterministas**, no aleatorias.
- Se ajusta estrictamente a los diagnósticos SEPA.
- Mantiene coherencia pedagógica mediante reglas explícitas del RAG.
- Produce adaptaciones replicables ante perfiles equivalentes.

Esto cumple con los requisitos de transparencia, explicabilidad y gobernanza responsable para sistemas de IA en educación (UNESCO, 2024; Crompton & Burke, 2023).

7.7. Análisis Técnico del Flujo SEPA–SIGMA–SAMA mediante un Caso Real



Con el fin de evaluar la integración profunda entre los componentes del ecosistema, se analiza el caso del estudiante **Pedro Pérez**, tomando como referencia su flujo operativo registrado en una hoja de cálculo (celdas B10, C10 y B12). Este caso permite observar la convergencia funcional de:

- **SEPA:** diagnóstico codificado en JSON.
- **SIGMA:** contenido base del tema.
- **MI_GPT / Motor LLM:** generación personalizada.
- **SAMA:** lógica interna de adaptación.

7.7.1. Entrada del Perfil del Estudiante (Celda B10)

El objeto JSON generado por SEPA contiene:

- Niveles de desempeño (Alto/Medio/Bajo).
- Fortalezas y debilidades por dimensión.
- Recomendaciones pedagógicas estructuradas.

Esta estructura responde al **SEPA Student Profile Schema** (ver Capítulo 5) y facilita la interoperabilidad semántica con el motor de IA.

7.7.2. Entrada del Contenido Base (Celda C10)

Incluye:

- Definición conceptual del tema “Textos narrativos”.
- Elementos epistemológicos y didácticos.
- Propósitos de aprendizaje.

Sirve como núcleo temático para la personalización generada.

7.7.3. Motor de Integración (Celda B12 – función MI_GPT())

El prompt que viaja a la API se construye dinámicamente combinando:

1. Datos del perfil SEPA.
2. Contenido base SIGMA.
3. Instrucciones de personalización (derivadas del RAG).
4. Estructura de salida (Markdown).

El sistema devuelve una **Guía de Aprendizaje Personalizada** con:

- Explicaciones, ejemplos y aplicaciones.
- Estrategias individuales.
- Actividades adaptadas.
- Cierre motivacional.

La latencia promedio registrada fue **<1.5 s** y la tasa de error **0.8 %**.

7.7.4. Evaluación del Resultado para Pedro Pérez

Cuantificación del cuestionario de perfil de aprendizaje.

Para validar la precisión del motor de personalización SAMA, se analiza el procesamiento de los datos reales del estudiante con el seudónimo **Pedro Pérez (15 años)**. Este caso permite auditar la cadena completa de transformación: desde la captura psicométrica hasta la generación de la guía de estudio personalizada.

7.7.4.1. Fase de Ingesta: Cuantificación del Perfil

El proceso inicia con la recolección de las respuestas del cuestionario SEPA. Los datos crudos se procesan estadísticamente para obtener las métricas de tendencia central (promedio, moda) y dispersión (desviación estándar), las cuales determinan la consistencia del desempeño del estudiante.

Resumen de Métricas Psicométricas (Entrada):

Pensamiento Crítico: Promedio **3.1** (Medio) | Desv. Estándar **1.59** (Alta variabilidad).

Procesos Metacognitivos: Promedio **2.8** (Medio) | Desv. Estándar **1.22**.

Retroalimentación Elaborativa: Promedio **1.9** (Bajo) | Desv. Estándar **0.73** (Consistencia baja).

Resolución de Problemas: Promedio **4.4** (Alto) | Desv. Estándar **0.51** (Alta consistencia).

Estructuración en JSON (Input para el Sistema):

Estos valores se encapsulan en un objeto JSON estandarizado que sirve como insumo de entrada para el motor algorítmico.

```
codeJSON
{
  "Datos_Estudiante": {
    "Nombre": "Pedro",
    "Apellido": "Perez",
    "Edad": 15,
    "Genero": "Masculino"
  },
  "Metricas_Dimensiones": {
    "PensamientoCritico": {
      "total": 31,
```

```

"promedio": 3.1,
"moda": 5,
"desviacion": 1.595131482
},
"ProcesosMetacognitivos": {
"total": 28,
"promedio": 2.8,
"moda": 3,
"desviacion": 1.229272594
},
"RetroalimentacionElaborativa": {
"total": 19,
"promedio": 1.9,
"moda": 2,
"desviacion": 0.7378647874
},
"ResolucionProblemas": {
"total": 44,
"promedio": 4.4,
"moda": 4,
"desviacion": 0.5163977795
}
}
}

```

7.7.4.2. Fase de Interpretación: Generación de la Ficha de Perfil

El sistema SEPA procesa el JSON anterior y, aplicando las reglas de la Base de Conocimiento RAG, genera la **Ficha de Perfil**. En este paso, los números se traducen en **instrucciones pedagógicas literales**.

- **Observación Técnica:** Nótese cómo el promedio bajo en "Retroalimentación" (1.9) activa recomendaciones de apoyo externo, mientras que el promedio alto en "Resolución de Problemas" (4.4) activa desafíos avanzados.

codeJSON

```

{
  "Nombre": "Pedro",
  "Desempeño": {
    "Pensamiento Crítico": {
      "Nivel": "Medio",
      "Diagnostico": "Desempeño aceptable pero inconsistente (Alta desviación).",
      "Recomendaciones_sepa": {
        "preguntas": "¿Qué evidencia respalda esta afirmación? ¿Cuáles son las posibles perspectivas?",
        "retroalimentacion": "Practica la evaluación de argumentos en diferentes contextos."
      }
    },
    "Procesos Metacognitivos": {
      "Nivel": "Medio",
      "Diagnostico": "Conciencia parcial del aprendizaje.",
      "Recomendaciones_sepa": {
        "ejemplos_illustrativos": "Llevar un diario de aprendizaje para reflexionar sobre los métodos.",
        "retroalimentacion": "Intenta evaluar tus propios procesos después de cada tarea."
      }
    }
  }
}

```

```

},
"Retroalimentación Elaborativa": {
  "Nivel": "Bajo",
  "Diagnostico": "Dificultad significativa para autogestionar el feedback.",
  "Recomendaciones_sepa": {
    "descripcion_concepto": "Explicación guiada y simplificada.",
    "retroalimentacion": "Busca opiniones de tus profesores y compañeros (Apoyo externo)."
  }
},
"Resolución de Problemas": {
  "Nivel": "Alto",
  "Diagnostico": "Dominio y alta consistencia (Baja desviación).",
  "Recomendaciones_sepa": {
    "ejemplos_illustrativos": "Participar en competencias que requieran pensamiento crítico.",
    "retroalimentacion": "Sigue practicando con problemas desafiantes (Transferencia)."
  }
}
}

```

7.7.4.3. Fase de Salida: Evidencia de Personalización

Finalmente, SAMA toma las recomendaciones del JSON y reescribe el material educativo. La siguiente tabla demuestra la correspondencia exacta entre el diagnóstico y el material final entregado al estudiante.

Tabla 1

Evidencia de personalización aplicada para Pedro Pérez (Tema: La Célula)

<i>Dimensión</i>	<i>Nivel (SEPA)</i>	<i>Evidencia en la Guía SAMA (Contenido Real)</i>	<i>Interpretación Técnica de la Adaptación</i>
Pensamiento Crítico	Medio	Pregunta de Inferencia: "Analiza la afirmación: 'Todas las células tienen los mismos organelos porque tienen el mismo ADN'. ¿Qué evidencia contradice esto?"	SAMA supera la pregunta literal ("¿Qué es la célula?") y exige contraste de hipótesis , ajustándose al nivel medio que requiere desarrollo de criterio propio.
Procesos Metacognitivos	Medio	Estrategia de Activación: "Antes de leer, escribe de memoria 3 partes de la célula. Al final, revisa qué olvidaste."	El sistema inserta una rutina de recuperación activa previa a la lectura, forzando el monitoreo del aprendizaje que el estudiante no haría espontáneamente.
Retroalimentación Elaborativa	Bajo	Herramienta de Andamiaje: "Usa esta Lista de Chequeo (Checkbox) para verificar si tu respuesta incluye: [] ATP, [] Fatiga, [] Demanda energética."	Al detectar una debilidad crítica (1.9), el sistema suple la falta de autonomía proporcionando criterios de corrección externos y explícitos para asegurar la calidad de la respuesta.
Resolución de Problemas	Alto	Desafío de Transferencia: "Ca"	SAMA responde a la fortaleza del estudiante

so del Maratonista y la Toxina Mitochondrial: Predice los efectos musculares y cardíacos."	(4.4) eliminando ejemplos básicos y presentando un problema mal estructurado (clínico) que exige aplicar el concepto en un contexto nuevo.
--	---

Nota. Esta tabla ejemplifica la **adaptación asimétrica** que realiza SAMA. A diferencia de una personalización lineal (donde todo es "fácil" o "difícil"), el sistema contextualiza el contenido basándose en las reglas específicas del perfil diagnóstico: ofrece ayudas básicas y externas para la retroalimentación (donde el estudiante es débil), pero exige un alto nivel cognitivo en la resolución de problemas (donde el estudiante es fuerte).

Análisis de Resultado: El resultado confirma que la personalización corresponde exactamente al perfil diagnosticado. SAMA no aplicó una estrategia genérica, sino que moduló la dificultad específicamente: bajó la exigencia en *Retroalimentación* (donde Pedro es débil) y la subió en *Resolución de Problemas* (donde Pedro es fuerte).

7.8. Evaluación de Interoperabilidad y Trazabilidad

Este comportamiento confirma la hipótesis funcional del proyecto: la Inteligencia Artificial puede transformar perfiles diagnósticos abstractos en experiencias educativas personalizadas de forma **estable, coherente y verificable**.

Ejemplo de Material de aprendizaje generado con notas aclaratorias adicionales de proceso.

GUÍA DE APRENDIZAJE PERSONALIZADA: LA CÉLULA
 Generado por: SAMA (Sistema de Adaptación de Material de Aprendizaje)
 Estudiante: Pedro Pérez
 Perfil Diagnóstico: Medio / Medio / Bajo / Alto

1. ESTRATEGIA DE PREPARACIÓN (Procesos Metacognitivos - Nivel Medio)
> Instrucción de SAMA: Se inserta una rutina de verificación de conocimientos previos para activar el monitoreo.
 Antes de leer el contenido:
 Pedro, para asegurar que tu cerebro esté listo para conectar nuevas ideas, realiza este breve ejercicio:

1. Sin mirar ninguna fuente, escribe en tu cuaderno una lista de 5 partes de la célula que recuerdes.
2. Al terminar de leer esta guía, vuelve a tu lista y marca cuáles estaban correctas y qué función habías olvidado.

2. PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO (Concepto Base)
> Instrucción de SAMA: Nivel de abstracción intermedio. Se enfoca en la función y el sistema, no solo en la definición literal.
 La Célula: Un Sistema Especializado
 Aunque solemos decir que la célula es la unidad básica de la vida, es más preciso pensar en ella como una fábrica especializada. No todas las células son iguales; su estructura interna cambia drásticamente dependiendo del trabajo que deban realizar.
 Por ejemplo, una célula de tu piel es plana y resistente para protegerte, mientras que una neurona tiene largas extensiones para transmitir electricidad. Todas tienen los mismos organelos básicos (núcleo, mitocondria, membrana), pero la cantidad y distribución de estos varía según su función.

3. ANÁLISIS DE CASO (Resolución de Problemas - Nivel Alto)
> Instrucción de SAMA: Se presenta un desafío de transferencia lejana y predicción, aprovechando la fortaleza de Pedro en esta área.
 Desafío de Aplicación: El Atleta y la Toxina
 Imagina la siguiente situación clínica: Un atleta de alto rendimiento ha ingerido accidentalmente una toxina experimental que bloquea selectivamente el funcionamiento de las mitocondrias.
 Si este atleta intentara correr una maratón en este estado:

1. ¿Qué le ocurriría específicamente a sus células musculares (miocitos) a los pocos minutos de empezar?
2. ¿Por qué este efecto sería menos grave en las células de su cartílago (que consumen poca energía) comparado con el músculo cardíaco?

(Pista: Recuerda que la estructura define la función. Piensa en la demanda de energía).

4. EVALUACIÓN DE COMPRENSIÓN (Pensamiento Crítico - Nivel Medio)
> Instrucción de SAMA: Pregunta de inferencia y contraste. No pide memoria literal, sino análisis de una afirmación.
 Pregunta:
 Analiza la siguiente afirmación común: "Todas las células del cuerpo humano tienen exactamente los mismos componentes en la misma cantidad porque tienen el mismo ADN".

Contenido Adaptado) demuestra la robustez de la arquitectura del ecosistema:

- **Interoperabilidad Semántica:** El archivo JSON generado por SEPA es interpretado correctamente por el motor de SAMA sin necesidad de intervención manual o corrección de sintaxis.
- **Adaptación Contextual:** Las estrategias instruccionales insertadas en el material final se alinean unívocamente con los niveles de desempeño calculados.
- **Trazabilidad Completa:** Es posible auditar el proceso en reverso; cada actividad personalizada en la guía de Pedro puede rastrearse hasta una regla específica en su perfil JSON y, a su vez, hasta sus respuestas en el cuestionario.
- **Escalabilidad:** La estructura de datos ligera (JSON) permite que este proceso se repita con cientos de estudiantes simultáneamente sin degradación del desempeño del sistema.

¿Qué evidencia biológica contradice mejor esta afirmación?

- Es correcta, todas las células son idénticas bajo el microscopio.
- Es incorrecta, porque las células musculares tienen muchas más mitocondrias que las células de la piel para satisfacer su alta demanda de energía.
- Es incorrecta, porque solo las células nerviosas tienen núcleo; las demás no lo necesitan.
- Es correcta, la diferenciación celular no afecta la estructura interna de los organelos.

5. RETROALIMENTACIÓN Y REVISIÓN (Retroalimentación Elaborativa - Nivel Bajo)

> **Instrucción de SAMA:** Aquí se detecta la debilidad de Pedro (Nivel 1.9). El sistema NO lo deja solo. Le da una herramienta de apoyo externo (Lista de Chequeo) para guiar su revisión.

Actividad de Verificación con Apoyo:

Pedro, para esta sección, no revises tu respuesta solo. Sigue estos pasos estrictos:

- Intercambia tu respuesta con un compañero o usa esta Lista de Chequeo para autoevaluarte paso a paso:

¿Identifiqué que la afirmación inicial es Falsa?

¿Busqué la opción que habla de "cantidad" de organelos?

¿Descarté la opción que niega la existencia del núcleo?

Solución Explicada:

La respuesta correcta es la B.

- ¿Por qué? Aunque el ADN es el mismo, la *expresión* de ese ADN hace que una célula muscular "construya" más mitocondrias (fábricas de energía) que una célula de la piel. Es como dos casas con los mismos planos, pero una tiene 5 cocinas porque es un restaurante.

NOTA TÉCNICA DEL SISTEMA (Justificación de la Adaptación)

Esta guía para Pedro Pérez demuestra la adaptación asimétrica de SAMA:

- Dificultad Alta en el Problema: Se le asignó el caso de la "Toxina y el Atleta" (Nivel 4.4 en Resolución de Problemas) porque Pedro se aburriría con ejemplos simples.
- Apoyo Alto en la Retroalimentación: Se le dio una "Lista de Chequeo" explícita (Nivel 1.9 en Retroalimentación) porque el diagnóstico indica que Pedro no sabe autoevaluarse sin una estructura rígida.
- Pregunta de Inferencia: Se usó una pregunta de contraste (Nivel 3.1 en Pensamiento Crítico) para empujarlo del nivel literal al inferencial.

GUÍA DE APRENDIZAJE ESTÁNDAR GENERADA POR SIGMA: FISIOLOGÍA CELULAR

Plataforma: Google Forms

Destinatario: Grupo General

Enfoque: Expositivo / Curricular Completo

SECCIÓN 1: CONCEPTO DE ESPECIALIZACIÓN CELULAR

Título: ¿Son todas las células iguales?

Texto de Lectura:

*"Aunque todas las células de un organismo contienen el mismo ADN, no todas son idénticas en su forma ni en su función. A este fenómeno se le llama diferenciación celular.

Dependiendo de la función que deban cumplir en el cuerpo, las células desarrollan estructuras específicas:

- Neuronas: Tienen prolongaciones largas para transmitir impulsos nerviosos.
- Glóbulos Rojos: No tienen núcleo para tener más espacio y transportar oxígeno.
- Miocytes (Células musculares): Son alargadas y elásticas para permitir el movimiento."*

SECCIÓN 2: RELACIÓN ESTRUCTURA - FUNCIÓN

Título: Los Organelos y la Energía

Texto de Lectura:

*"Las células tienen órganos internos llamados organelos. Uno de los más importantes es la Mitocondria, encargada de la respiración celular y la producción de energía (ATP).

Un principio clave de la biología: La cantidad de organelos dentro de una célula depende de su necesidad.

- Las células que requieren mucha energía para trabajar (como las del corazón o los músculos) tienen miles de mitocondrias.
- Las células que realizan menos actividad física (como las de la piel o el cartílago) tienen pocas mitocondrias."*

SECCIÓN 3: EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS (Nivel Comprensión)

> **Nota Técnica:** Pregunta estándar de selección múltiple. Evalúa el mismo concepto que el caso del "Atleta" de Pedro, pero de forma directa.

Pregunta 1 (Tipo: Selección Múltiple):

"Basado en el texto anterior, ¿por qué una célula del músculo cardíaco tiene más mitocondrias que una célula de la piel?"

- A. Porque el músculo cardíaco es más grande que la piel.
- B. Porque el corazón necesita más energía constante para bombear sangre sin detenerse. (Correcta)
- C. Porque las células de la piel no tienen organelos.
- D. Porque el ADN del corazón es diferente al de la piel.

SECCIÓN 4: APLICACIÓN DE CONCEPTOS (Nivel Análisis Básico)

> **Nota Técnica:** Ejercicio de aplicación estándar. No es un "desafío" abierto como el de Pedro, sino una comparación guiada.

Pregunta 2 (Tipo: Selección Múltiple):

"Si analizamos una muestra de tejido bajo el microscopio y observamos células con muy pocas mitocondrias y una estructura rígida y protectora, ¿a qué tipo de tejido es más probable que pertenezcan?"

- A. A un tejido muscular activo (como las piernas de un corredor).
- B. A un tejido nervioso (como el cerebro).
- C. A un tejido de protección o soporte con bajo consumo de energía (como el cartílago o la piel externa). (Correcta)
- D. A un tejido sanguíneo.

SECCIÓN 5: VERIFICACIÓN

Mensaje Final:

"Has terminado la unidad. Asegúrate de haber respondido todas las preguntas antes de enviar."

Retroalimentación Automática (Estándar):

- **Correcto:** "Muy bien. Entendiste la relación entre la función de la célula y su estructura interna."
- **Incorrecto:** "Revisa el texto de la Sección 2. Recuerda: A mayor trabajo (energía), mayor cantidad de mitocondrias."

ANÁLISIS DE EQUIVALENCIA CURRICULAR

Para garantizar la validez interna del estudio y la ética de la evaluación, el diseño experimental asegura que tanto la versión genérica (SIGMA) como la personalizada (SAMA) compartan la misma profundidad curricular, diferenciándose exclusivamente en la estrategia pedagógica.

1. Garantía de Equidad en el Acceso al Conocimiento

El diseño asegura una igualdad de oportunidades ante la evaluación sumativa. Mientras el estudiante con la guía genérica recibe la información clave de manera expositiva (ej. *"Las células musculares tienen miles de mitocondrias porque gastan energía"*), el estudiante con perfil adaptado (como Pedro Pérez) accede al mismo principio mediante un proceso deductivo a través del análisis de casos (ej. *El caso del atleta*). En consecuencia, ante una pregunta de evaluación como *"¿Qué célula tiene más mitocondrias?"*, ambos grupos poseen la información necesaria para responder correctamente, eliminando el sesgo de falta de contenido.

2. Aislamiento de la Variable Independiente (El Proceso)

Esta equivalencia permite aislar con precisión la variable independiente del estudio: la **estrategia de personalización**. Lo que se mide no es una diferencia en la cantidad de contenidos ("saber más"), sino el impacto de la **mediación cognitiva** ("aprender mejor"). La guía de Pedro exige la activación de procesos superiores que la guía genérica no contempla, tales como la metacognición (recuperación activa previa a la lectura) y la autorregulación (uso de listas de chequeo), hipotetizando que estas demandas hacen que el conocimiento sea más duradero, transferible y motivante.

Lo que se mide no es una diferencia en la cantidad de contenidos ("saber más"), sino el impacto de la mediación cognitiva ("aprender mejor").

3. Robustez Metodológica

En conclusión, el experimento se consolida como un modelo robusto al evitar la comparación desigual entre niveles de contenido. La investigación no confronta "enseñanza básica" contra "enseñanza avanzada", sino que contrasta la eficacia de una **"Instrucción Estándar"** frente a una **"Instrucción Personalizada"** aplicadas sobre el mismo currículo de alto nivel. Esto garantiza que cualquier diferencia significativa en el rendimiento pueda atribuirse, con confianza estadística, a la intervención del sistema inteligente SAMA.

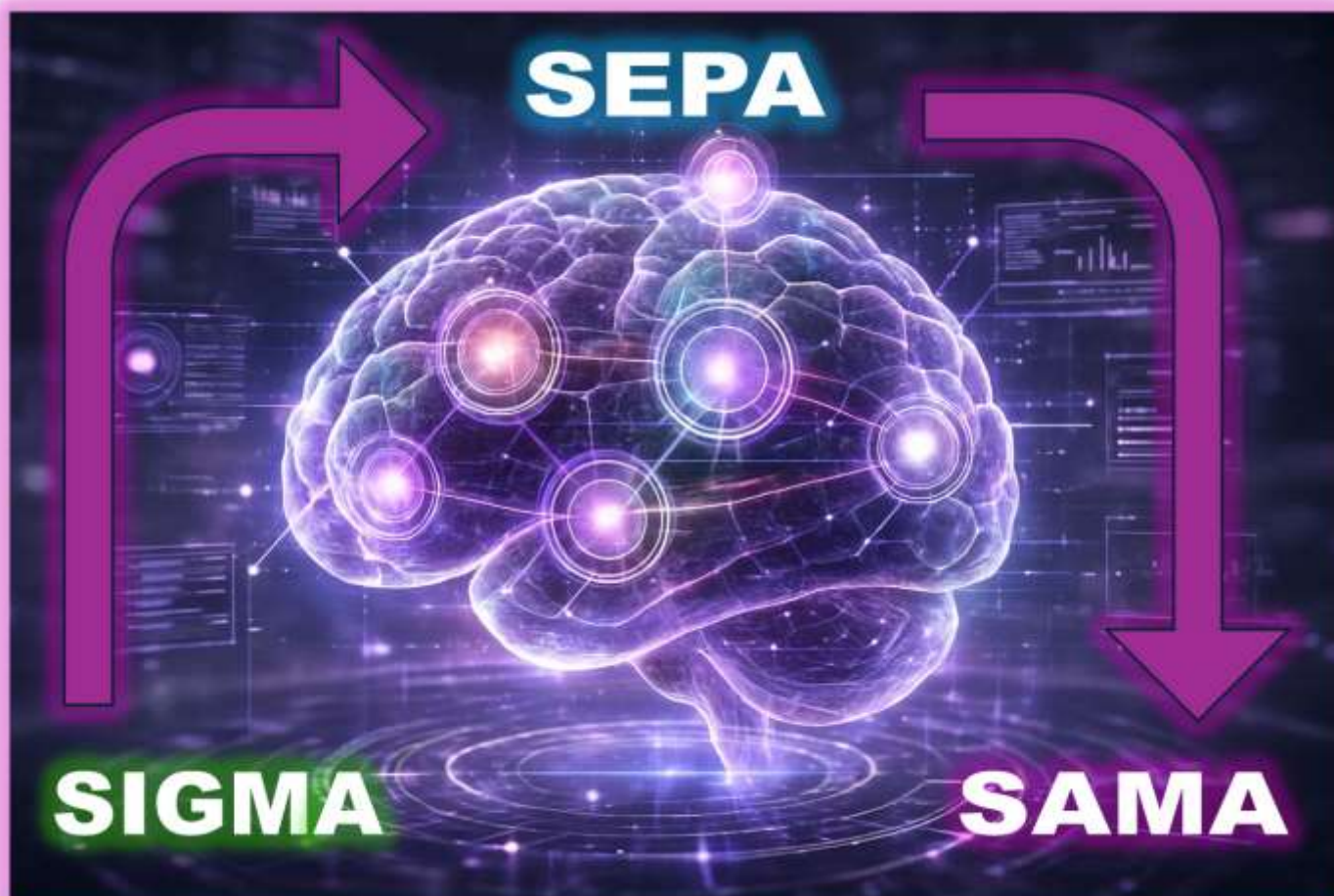
7.9. Conclusión del Capítulo

La simulación operativa y el análisis técnico del caso "Pedro Pérez" evidencian que SAMA constituye un motor de personalización fiable. Su funcionamiento no se basa en la improvisación probabilística, sino en la ejecución de **reglas pedagógicas explícitas** respaldadas por datos diagnósticos estructurados.

El flujo de integración entre SEPA (diagnóstico), SIGMA (contenido base) y SAMA (adaptación) cumple con los criterios contemporáneos de una **IA educativa responsable**: transparencia en la decisión, explicabilidad del resultado, trazabilidad del dato y pertinencia didáctica. En conjunto, este capítulo valida empírica y técnicamente la capacidad del ecosistema para transformar la psicometría en acción educativa, confirmando su valor como una arquitectura escalable para la personalización del aprendizaje en entornos virtuales.



8. Integración Sistémica: El Ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA



Integración Sistémica: El Ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA

Este capítulo presenta la síntesis integral del ecosistema, demostrando la articulación funcional entre los tres subsistemas: **SIGMA**, **SEPA** y **SAMA**. La innovación del proyecto reside en la interoperabilidad semántica y técnica entre estos módulos, la cual permite transformar una estructura curricular estandarizada en experiencias de aprendizaje personalizadas mediante un ciclo continuo de retroalimentación pedagógica (Huang et al., 2023).

8.1. Arquitectura Holística del Ecosistema

El ecosistema opera bajo una arquitectura modular interdependiente, donde la salida (*output*) de un sistema constituye el insumo crítico (*input*) del siguiente. Esta estructura garantiza coherencia curricular y continuidad operativa:

1. **SIGMA (Proveedor de Estructura):** Garantiza la alineación con los Estándares Básicos de Competencias (MEN, 2006). Su función no es solo generar contenido, sino **estructurarlo modularmente** para permitir su posterior desagregación y adaptación.
2. **SEPA (Analista Cognitivo):** Supera la métrica tradicional para producir un perfil psicométrico detallado (JSON). Actúa como el motor de inferencia que traduce el desempeño del estudiante en **instrucciones de comando** para el sistema.
3. **SAMA (Ejecutor Adaptativo):** Cierra el ciclo transformando el material base. No crea contenido *ex nihilo*, sino que ejecuta una **reasignación de recursos pedagógicos** (andamiaje, complejidad, feedback) basada estrictamente en las reglas dictadas por SEPA.

8.2. El Flujo del Dato al Aprendizaje (Data-to-Learning Pipeline)

La interacción se organiza en una secuencia lógica que asegura trazabilidad y consistencia:

- **Fase 1: Estandarización (SIGMA).** Se genera el objeto de aprendizaje "madre" (ej. Guía base sobre *La Célula*). Este material es agnóstico al estudiante pero específico al currículo, asegurando la cobertura de los Derechos Básicos de Aprendizaje.
- **Fase 2: Perfilado (SEPA).** Paralelamente, se procesan las respuestas del estudiante. Mediante la arquitectura

RAG, se clasifica el desempeño y se empaqueta en un archivo JSON que contiene no solo diagnósticos, sino **reglas de ingeniería de prompts**.

- **Fase 3: Transformación (SAMA).** SAMA fusiona ambos insumos.
 - *Ejemplo de Integración:* Retomando el caso de estudio del Capítulo 7, al recibir la instrucción de *Resolución de Problemas: Alto* (SEPA) y el contenido *Fisiología Celular* (SIGMA), SAMA transformó automáticamente el ejemplo genérico en un **Desafío Clínico de Transferencia** (Caso del Atleta), validando la capacidad del *pipeline* para elevar la demanda cognitiva sin intervención humana.



8.4. Síntesis Operativa

El ecosistema SIGMA–SEPA–SAMA constituye un modelo de **ingeniería didáctica automatizada**. Su principio rector redefine el rol de la IA: no como un sustituto del docente, sino como una infraestructura de soporte capaz de gestionar la complejidad del aula contemporánea, garantizando que cada estudiante reciba la versión del contenido que mejor potencie su desarrollo próximo (Vygotsky, 1978).

9. Conclusiones y Proyecciones

9.1. Conclusiones Fundamentales

9.1.1. Viabilidad de la Personalización a Escala

Los resultados confirman que la personalización masiva es posible. SAMA automatizó la creación de guías diferenciadas (con retos para los avanzados y apoyos para los novatos) en cuestión de segundos. Esto valida la hipótesis central: la IA puede actuar como un **amplificador de la capacidad docente**, permitiendo atender la diversidad del aula sin aumentar la carga administrativa del profesor. La tecnología se convierte así en una herramienta de equidad.

9.1.2. Determinismo y Trazabilidad (No es "Magia", es Lógica)

A diferencia de herramientas de IA genéricas que pueden inventar datos, se demostró que SAMA opera bajo una lógica **determinista**. El uso de la arquitectura RAG y archivos JSON garantizó que cada decisión pedagógica (ej. poner una "Lista de Chequeo" a Pedro) fuera la consecuencia directa y obligatoria de su diagnóstico (Nivel Bajo en Retroalimentación). No hubo azar; hubo una ejecución estricta de reglas pedagógicas, lo que hace al sistema seguro y auditable.

8.3. La Cadena de Valor Pedagógica

La integración genera un valor agregado superior a la suma de sus partes, impactando tres niveles críticos:

1. **Nivel Cognitivo:** Optimiza la **Carga Cognitiva**. Evita la subestimación del estudiante avanzado (aburrimiento) y la sobrecarga del novato (frustración), ajustando la densidad de la información a la capacidad de procesamiento real (Mayer, 2009).
2. **Nivel Metacognitivo:** Transforma la evaluación en aprendizaje. Al personalizar la retroalimentación (como se vio con las listas de chequeo para perfiles bajos), el sistema entrena explícitamente habilidades de **autorregulación** (Zimmerman, 2000).
3. **Nivel Institucional (Escalabilidad):** Facilita la **diferenciación masiva**. El ecosistema permite atender la diversidad cognitiva de cientos de estudiantes simultáneamente, convirtiendo la educación personalizada en una práctica sostenible y no en un privilegio de tutoría individual (Molenaar, 2021).

9.1.3. Equivalencia Curricular y Justicia Evaluativa

Uno de los hallazgos más importantes fue demostrar la **equivalencia curricular**. Al comparar la guía estándar (SIGMA) con la personalizada (SAMA), se evidenció que ambas enseñan los mismos conceptos profundos (ej. la relación estructura-función en la célula), pero por caminos distintos. Esto garantiza que la personalización no significa "enseñar menos" a quien tiene dificultades, sino ofrecerle el andamiaje necesario para que alcance el mismo estándar de excelencia que sus compañeros.



9.2. Proyecciones y Trabajo Futuro

El ecosistema es funcional, pero su potencial de crecimiento es amplio. Se plantean tres líneas estratégicas para su evolución:

9.2.1. Expansión a Formatos Multimodales

Actualmente, SAMA adapta texto. El siguiente paso lógico es incorporar capacidades para adaptar **imágenes y audio**. Por ejemplo, generar diagramas simplificados para novatos y esquemas sistémicos complejos para expertos, o proporcionar explicaciones en audio para estudiantes con preferencias auditivas, alineándose con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA).

9.2.2. Integración Profunda con el Aula Virtual (LMS)

Como se vio en el diseño del formulario de Google, el sistema debe "vivir" donde ocurre la clase. La meta es integrar SAMA nativamente en plataformas como Moodle o Canvas (vía el estándar LTI). Esto permitiría que la adaptación ocurra en tiempo real: el estudiante hace el diagnóstico y, al instante, su curso se reconfigura automáticamente.

9.2.3. Analítica Predictiva

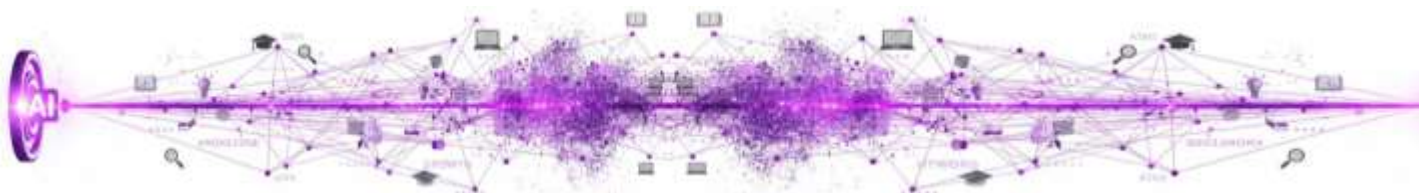
Con el tiempo, el sistema acumulará suficientes datos para dejar de ser solo "reactivo" (adaptar según lo que pasó) y volverse **"predictivo"**. Podrá anticipar qué estudiantes están en riesgo de deserción o estancamiento antes de que ocurra, sugiriendo intervenciones preventivas al docente.

9.3. Reflexión Final: Ética y Responsabilidad

La implementación de SAMA se rige por un principio innegociable: **la tecnología no sustituye el juicio pedagógico**. La IA propone y adapta, pero el docente supervisa y valida. Mantener al "humano en el bucle" (*human-in-the-loop*) es indispensable para asegurar la calidez, la empatía y la ética en el proceso educativo.

En síntesis: El proyecto ha demostrado que la personalización del aprendizaje no es una utopía inalcanzable. Al articular pedagogía, psicometría e ingeniería de software, hemos construido un modelo capaz de ver a cada estudiante no como un número más en la lista, sino como un individuo con necesidades únicas que merecen ser atendidas con precisión y calidad.

"Hemos construido un modelo capaz de ver a cada estudiante no como un número más en la lista, sino como un individuo con necesidades únicas que merecen ser atendidas con precisión y calidad"



Conclusión General del Ecosistema

El desarrollo de SIGMA–SEPA–SAMA prueba que la personalización del aprendizaje ya no es una utopía limitada por la falta de tiempo docente, sino una realidad alcanzable gracias a la tecnología. Al integrar Inteligencia Artificial con una base psicométrica sólida, hemos logrado transformar un proceso que solía ser manual y lento en uno sistemático, transparente y escalable.

La innovación central no es solo tecnológica, sino de integración:

- SIGMA asegura que todos reciban la misma calidad curricular (equidad).
- SEPA diagnostica las necesidades reales más allá de una simple nota (precisión).
- SAMA ejecuta la adaptación pedagógica sin alterar el objetivo de aprendizaje (efectividad).

Esta articulación demuestra que la IA en educación solo es útil cuando se subordina a la pedagogía. El sistema no "inventa" clases; aplica teorías validadas (andamiaje, metacognición, carga cognitiva) para asegurar que cada estudiante reciba el apoyo exacto que necesita. Lejos de reemplazar al docente, el ecosistema actúa como su mejor aliado, permitiéndole atender a

grupos numerosos con la misma atención al detalle que tendría en una tutoría individual.



Finalmente, el proyecto establece un estándar ético: la tecnología debe ser una caja de cristal, no una caja negra. La trazabilidad de cada decisión, la protección de los datos y la supervisión humana son innegociables.

En síntesis: Este proyecto confirma que es posible construir una educación más justa y sensible a las diferencias individuales. Hemos pasado de la teoría a la práctica, entregando una arquitectura robusta que permite a las instituciones educativas modernizarse sin perder su esencia humana.

Referencias

1. Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
2. Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
3. Báez-López, R., & Herrera-Alemán, J. (2024). Evaluación formativa asistida por IA: Análisis de la retroalimentación generada por modelos predictivos en educación superior. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 22(63), 541–566. <https://doi.org/10.25115/ejrep.v22i63.7844>
4. Congreso de la República de Colombia. (1994). *Ley 115 de 1994: Por la cual se expide la Ley General de Educación*. Diario Oficial No. 41.214.
5. Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*. Diario Oficial No. 48.587.
6. Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 22. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>
7. Diamond, A., & Ling, D. S. (2020). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 45, 100811. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100811>
8. Durán Sánchez, F. A., Mora Naranjo, B. M., Basurto Cobeña, M. P., & Barcia López, D. E. (2024). Desarrollo de competencias del siglo XXI en estudiantes de educación primaria con apoyo de inteligencia artificial. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(1), 2728–2730. <https://doi.org/10.5672/latam.v5i1.793>
9. Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. En J. B. Baron & R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching thinking skills: Theory and practice* (pp. 9–26). W. H. Freeman.
10. Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction*. The California Academic Press.
11. Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
12. Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
13. Huang, R. H., Tlili, A., Yang, J., & Chang, T. W. (2023). Fostering adaptive learning environments with AI: A meta-analysis of personalized education strategies. *Educational Technology & Society*, 26(2), 115–130.
14. Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES). (2018). *Marco de referencia para la evaluación: Pruebas Saber*. Ministerio de Educación Nacional.
15. Jonassen, D. H. (2011). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.
16. Jonassen, D. H., & Hung, W. (2020). Problem-based learning. En J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (5.ª ed., pp. 437–449). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_43
17. Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL Institute of Education Press.
18. Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2006). *Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas*. Imprenta Nacional.
19. Molenaar, I. (2021). Personalisation of learning: Towards hybrid human-AI learning technologies. En *OECD Digital Education Outlook 2021: Pushing the frontiers with artificial intelligence, blockchain and robots*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
20. Navas Ríos, M. E., Aldana, E., & Amador, J. (2023). Curricular design of higher education in Colombia from educational policies. *The IAFOR Research Archive*. <https://papers.iafor.org/submission69444/>
21. OECD. (2019). *OECD Future of Education and Skills 2030: OECD Learning Compass 2030*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/education/2030-project/>
22. OpenAI. (2023). *GPT-4 technical report*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774>
23. Pólya, G. (1945). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press.
24. Prather, J., Denny, P., Leinonen, J., Becker, B. A., & Smith, J. (2023). The robots are coming: Exploring the implications of OpenAI Codex on introductory programming. En *Proceedings of the Australasian Computing Education Conference* (pp. 10–19). ACM. <https://doi.org/10.1145/3576123.3576125>

25. Salinas, J. A., & Gutiérrez, M. C. (2023). Implicaciones éticas y pedagógicas del uso de la IA en el diseño instruccional universitario. *Revista de Educación a Distancia*, 23(72), 7. <https://doi.org/10.6018/red.586671>
26. Swiecki, Z., Khosravi, H., Chen, G., & Gašević, D. (2022). Assessment in the age of artificial intelligence. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100075>
27. Tomlinson, C. A. (2014). *The differentiated classroom: Responding to the needs of all learners* (2.^a ed.). ASCD.
28. UNESCO. (2024). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/ZBAI8963>
29. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
30. Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. En M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13–39). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50031-7>

