

*Práticas Educativas em Ciências, Engenharia e Matemática*

# Inteligência artificial generativa na educação científica: da teoria à prática pedagógica inovadora

Agostinho Serrano\*

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática,  
Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul - RS, Brasil

\*Autor correspondente: agostinho.serrano@gmail.com

Recebido: 24 de Novembro de 2025

Revisado: 27 de Novembro de 2025

ACEITO: 29 de Novembro de 2025

Publicado: 3 de Dezembro de 2025

**Resumo:** A Inteligência Artificial Generativa (IAGen) representa uma transformação profunda no cenário educacional contemporâneo. Este artigo investiga o impacto da IAGen na educação científica através da análise de estudos apresentados na conferência ESERA 2025 e da fundamentação teórica da Teoria da Mediação Cognitiva em Rede. O trabalho examina quatro categorias principais de inovação: IA como ferramenta de ensino e apoio ao aluno, IA como ferramenta de avaliação, IA como apoio ao desenvolvimento profissional docente, e IA como metodologia de investigação educacional. Os resultados indicam que a IAGen não apenas automatiza processos educacionais, mas cria novas possibilidades pedagógicas através da personalização em escala, feedback em tempo real e análise longitudinal da aprendizagem. O artigo conclui propondo a mediação sofotécnica como novo paradigma evolutivo da cognição coletiva.

**Palavras-chave:** Mediação cognitiva, transformers, personalização da aprendizagem, desenvolvimento profissional docente.

*Educational Practices in Science, Engineering and Mathematics*

# Generative artificial intelligence in science education: from theory to innovative pedagogical practice

**Abstract:** Generative Artificial Intelligence (GenAI) represents a profound transformation in the contemporary educational landscape. This article investigates the impact of GenAI on science education through the analysis of studies presented at the ESERA 2025 conference and the theoretical foundation of the Cognitive Mediation Networks Theory. The work examines four main categories of innovation: AI as a teaching and student support tool, AI as an assessment tool, AI as support for teacher professional development, and AI as an educational research methodology. Results indicate that GenAI not only automates educational processes but creates new pedagogical possibilities through personalization at scale, real-time feedback, and longitudinal learning analysis. The article concludes by proposing sophotechnic mediation as a new evolutionary paradigm of collective cognition

**Key-words:** Cognitive mediation, transformers, learning personalization, teacher professional development.

## Introdução

A emergência da Inteligência Artificial Generativa (IAGen) em 2022, com o lançamento público de modelos como ChatGPT, Gemini e Claude, inaugurou o que pode ser considerado um "tsunami digital" que está transformando todas as profissões, incluindo a docência [1]. Diferentemente

de ondas tecnológicas anteriores, a IAGen não apenas automatiza tarefas, mas demonstra capacidades criativas e cognitivas que desafiam nossa compreensão tradicional sobre o que máquinas podem realizar.

A IAGen moderna é construída sobre a arquitetura Transformer, introduzida no seminal artigo "Attention Is All

You Need" de 2017 [2]. Esta arquitetura revolucionou o campo ao processar informações através de uma "técnica de atenção" que analisa a relação entre todas as partes de uma informação, permitindo uma profunda compreensão do contexto. O resultado é a capacidade de gerar conteúdo novo e

© The author(s) 2025. This is an open access article published under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution International License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. The author(s) granted the publication rights to [Scientia cum Industria](#).

coerente em múltiplos formatos — texto, imagens, música, código, vídeos — de forma autônoma.

Atualmente, observamos a evolução de dois tipos principais de modelos: os LLMs (Large Language Models), que requerem grande investimento no treinamento inicial, e os LRM (Large Reasoning Models), que "refletem antes de responder", investindo processamento durante o uso [3]. Esta evolução tem implicações profundas para a educação científica (Figura 1).

A conferência ESERA 2025 (European Science Education Research Association) documentou uma série de usos inovadores da IAGen na educação científica, organizados em quatro categorias principais. Este artigo apresenta uma análise sistemática dessas inovações, fundamentada na Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (CNMT), propondo que a IAGen representa uma nova forma de mediação cognitiva: a mediação sofotécnica.



Figura 1. Impacto da IAGen na Educação.

## Fundamentação Teórica

A arquitetura Transformer processa informações convertendo-as em uma linguagem universal de dados (tokens). Sua principal inovação reside na capacidade de analisar simultaneamente todas as relações entre elementos de uma sequência, superando limitações de arquiteturas anteriores [2]. Este processamento paralelo e contextual permite que modelos como GPT-4, Claude Sonnet 4.5 e Gemini 2.5 demonstrem o que pesquisadores chamam de "propriedades emergentes" [4].

Propriedades emergentes são capacidades que "emergem" à medida que o modelo aumenta de tamanho e complexidade, sem serem explicitamente programadas. Um exemplo clássico é a capacidade de raciocínio analógico: quando questionado sobre qual filme certos emojis representam, modelos pequenos geram texto sem sentido, modelos médios fazem associações superficiais, mas modelos grandes como o GPT-4 conseguem realizar inferências complexas baseadas em conhecimento cultural implícito [4].

A Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (CNMT) postula que a grande vantagem evolutiva do cérebro humano é sua capacidade de criar e usar ferramentas externas para comple-

mentar sua própria cognição orgânica [5]. Segundo essa teoria, o uso de ferramentas é uma extensão natural do processo de resolução de problemas, permitindo que o cérebro supere limitações impostas pelo corpo e ambiente.

A teoria identifica quatro formas históricas de mediação cognitiva:

**1. Mediação Psicofísica:** Uso de propriedades de objetos ou do ambiente para complementar o processamento cognitivo (exemplo: pedrinhas para contar gado).

**2. Mediação Social:** Uso de outros indivíduos para processar informações e expandir capacidade cognitiva, incluindo o desenvolvimento da linguagem.

**3. Mediação Cultural:** Uso de objetos simbólicos e recursos externos como escrita, livros e mídia para transmitir conhecimento através de gerações.

**4. Mediação Hipercultural:** Uso de ferramentas tecnológicas avançadas como GPS, calculadoras e processadores de texto para delegar tarefas cognitivas específicas.

Propomos que a IAGen inaugura uma quinta forma de mediação cognitiva: a mediação sofotécnica [5]. Diferentemente das formas anteriores, a mediação sofotécnica envolve a delegação não apenas de tarefas cognitivas específicas, mas de processos cognitivos complexos como raciocínio, criatividade, síntese e avaliação crítica a sistemas artificiais capazes de linguagem natural.

Esta transição não representa substituição da cognição humana, mas sua amplificação através de parceria com sistemas artificiais. Estudos recentes mostram que, em debates online, participantes que discutem com o GPT-4 personalizado têm 81,7% mais chance de mudar de opinião do que quando debatem com humanos, em um ensaio clínico randomizado sobre persuasão conversacional [26]. Este dado sublinha tanto o potencial quanto os desafios éticos da mediação sofotécnica.

Pesquisas sobre competências necessárias no mercado de trabalho pós-IAGen, combinando análises globais de tendências [29] com a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede e a proposta de mediação sofotécnica [5], convergem em seis áreas cruciais: Criatividade e inovação; Comunicação e colaboração; Adaptabilidade e flexibilidade; Pensamento crítico e avaliação; Alfabetização digital avançada; Habilidades aprimoradas de resolução de problemas. Estas competências formam a base conceitual da "Escala de Medida Sofotécnica", onde maior proficiência correlaciona-se com melhor adaptação ao ambiente educacional e profissional mediado por IA.

## Metodologia

Este artigo utiliza metodologia de revisão qualitativa de tipo exploratório, analisando alguns estudos selecionados por conveniência apresentados na conferência ESERA 2025 sobre usos inovadores de IAGen na educação científica. Os estudos foram categorizados segundo quatro dimensões principais de inovação pedagógica identificadas através de análise temática.

Para cada estudo, foram extraídas as seguintes informa-

ções: (1) descrição da inovação pedagógica, (2) forma de implementação da IAGen, (3) resultados obtidos, e (4) potencial de transformação educacional. A análise foi fundamentada na Teoria da Mediação Cognitiva em Rede, buscando identificar como cada uso representa uma forma de mediação softócnica.

Adicionalmente, o artigo integra dados sobre a evolução técnica da IAGen, incluindo comparações entre modelos LLM e LRM, e exemplos de avanços em áreas como matemática, física e bioquímica que contextualizam o potencial transformador dessas tecnologias.

## Resultados e Discussão

### Categoria 1: IA como Ferramenta de Ensino e Apoio ao Aluno

A primeira categoria representa a transição do modelo educacional "um-para-muitos" para um ecossistema onde a IAGen capacita alunos a tornarem-se criadores ativos (Figura 2). Antes da IAGen, o apoio individualizado era limitado pela disponibilidade do professor e recursos financeiros para tutoria. Com a IAGen, observa-se personalização em escala, suporte 24/7 adaptado ao ritmo individual, e assistência em contextos diversos [6].



Figura 2. Exemplos de uso de IAGen para Categoria 1.

Assistente de Laboratório: Babayeva et al. [7] investigaram o uso de GPT-4 como assistente em laboratório de física. O sistema foi desenvolvido para apoiar estudantes durante experiências práticas, ajudando na verificação de respostas e fornecendo orientação contextual. Os resultados foram majoritariamente positivos, com a IA mostrando-se eficaz na maioria das situações, embora ocasionalmente fornecesse feedback confuso. A experiência geral dos alunos foi positiva, demonstrando o potencial da IA como assistente virtual de laboratório oferecendo suporte em tempo real durante atividades práticas.

Tutor para Análise de Dados: Henze et al. [8] compararam a eficácia de um chatbot (ChatGPT) com Excel no ensino de análise de dados a futuros professores. Um grupo utilizou o chatbot para análise de dados enquanto o grupo controle usou Excel. Ambos os métodos melhoraram o desempenho, mas o

grupo que usou IA relatou maior motivação e envolvimento emocional, sugerindo que a IA funciona como tutor interativo e motivacional para competências complexas, superando ferramentas tradicionais em engajamento.

Mediador Conceptual Interdisciplinar: Lademann et al. [9] desenvolveram chatbots de IA para mediar aprendizagem entre matemática e física. O chatbot personalizado gerou explicações sobre relações proporcionais em contextos de física e matemática para alunos do 6º ano. Os resultados mostraram que a IA melhorou emoções positivas, interesse e autoeficácia dos alunos, reduzindo carga cognitiva. Embora o impacto no desempenho final tenha sido incerto, o estudo demonstra o potencial da IA como mediador conceptual, criando pontes ativas entre disciplinas para compreensão integrada.

Assistente de Programação: Fredly et al. [10] investigaram como alunos usam chatbots de IA para tarefas de física computacional. Estudantes utilizaram chatbots para depurar e otimizar código em tarefas de programação em física. Os resultados foram mistos: a IA mostrou-se útil para melhorias específicas no código, mas alguns alunos desenvolveram dependência excessiva com abordagem improdutiva. Este estudo ilustra tanto o potencial quanto os riscos da IA como parceiro de programação no desenvolvimento do pensamento computacional.

Parceiro Dialógico: Putra et al. [11] criaram chatbot de IA personalizado para fomentar interação dialógica e argumentação em ciências. Alunos do ensino secundário interagiram com chatbot concebido para não dar respostas diretas, mas dialogar e questionar socraticamente. O chatbot personalizado promoveu interações mais ricas, incentivando raciocínio científico e argumentação, demonstrando o potencial da IA como parceiro de diálogo socrático que desafia o aluno a pensar criticamente.

Ferramenta de Aprendizagem Ativa: Lahlali et al. [12] analisaram a interação de estudantes universitários com IA generativa num curso de física. Alunos usaram IA para criar materiais de aprendizagem, como perguntas de múltipla escolha, refinando prompts iterativamente. O processo de refinar prompts para obter melhores resultados da IA melhorou a compreensão conceptual dos alunos, transformando-os de consumidores em criadores de conteúdo e promovendo aprendizagem ativa.

Agente Metacognitivo: Sheffield et al. [13] avaliaram chatbot integrado em LMS para apoiar aprendizagem autoregulada. O chatbot foi desenhado como agente metacognitivo e motivacional, fornecendo feedback empático "just-in-time". Embora o chatbot tenha respondido às necessidades dos alunos, fez isso inconsistentemente, apoiando metacognição mas com espaço para melhorias. Paralelamente, Wiedenmann et al. [14] investigam se IA consegue aliviar carga cognitiva em conteúdos complexos como fotossíntese, com análise ainda em progresso.

### Categoria 2: IA como Ferramenta de Avaliação e Análise da Aprendizagem

A segunda categoria representa mudança fundamental de avaliação retrospectiva para análise contínua do processo de

aprendizagem. Antes da IAGen, processos avaliativos eram predominantemente manuais e lentos, focando em resultados finais (Figura 3). Com IAGen, observa-se avaliação automatizada, profunda e em tempo real, análise da estrutura do conhecimento, identificação de padrões de raciocínio em respostas abertas, e detecção escalável de concepções alternativas [6].



Figura 3. Exemplos de uso de IAGen para Categoria 2.

**Geração Automatizada de Testes:** Rodemer et al. [15] estudaram o uso de IA generativa para criar testes de múltipla escolha em eletroquímica, avaliados psicométricamente. A IA gerou itens de qualidade aceitável, mas teve dificuldades em simplificar terminologia e alinhar com níveis de competência apropriados. O estudo demonstra potencial de automação do processo de criação de avaliações, poupando tempo aos professores, embora ainda necessite supervisão humana.

**Análise Longitudinal:** Martin et al. [16] utilizaram Machine Learning para acompanhar desenvolvimento do raciocínio mecanicista de alunos em química orgânica. O modelo de ML avaliou automaticamente o raciocínio dos alunos ao longo do semestre, mapeando trajetórias de aprendizagem. O raciocínio melhorou com apoio adaptativo, mas lacunas persistiram. Crucialmente, a IA permitiu análise em larga escala impossível anteriormente, visualizando evolução do conhecimento em vez de medir apenas momentos pontuais.

**Avaliação de Explicações:** Czinczel et al. [17] desenvolveram ferramenta "EvoGrader" que analisou respostas de alunos sobre evolução biológica, identificando automaticamente conceitos corretos e concepções alternativas. A ferramenta mostrou grande potencial para ajudar educadores a identificar rapidamente equívocos e fornecer feedback direcionado, representando diagnóstico conceptual automatizado que permite avaliação formativa em larga escala e tempo real.

**Análise do Conhecimento Profissional:** Mientus et al. [18] investigaram potencial de análise baseada em IA para avaliar Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de futuros professores. LLMs foram usados para analisar reflexões escritas e identificar componentes do PCK. A IA conseguiu identificar e ligar componentes do PCK às reflexões, oferecendo insights sobre alinhamento conhecimento-raciocínio pedagógico, abrindo novas vias para investigação e feedback personalizado sobre conhecimento profissional docente.

### Categoria 3: IA como Apoio ao Desenvolvimento Profissional Docente

A terceira categoria representa integração do desenvolvimento profissional no fluxo de trabalho diário dos professores (Figura 4). Antes da IAGen, formação continuada era frequentemente genérica, com workshops pontuais desvinculados da prática. Com IAGen, observa-se desenvolvimento profissional personalizado e "on-demand", coaching de reflexão com feedback objetivo, assistente de planeamento que gera ideias, e parceria para formação em novas áreas [8].

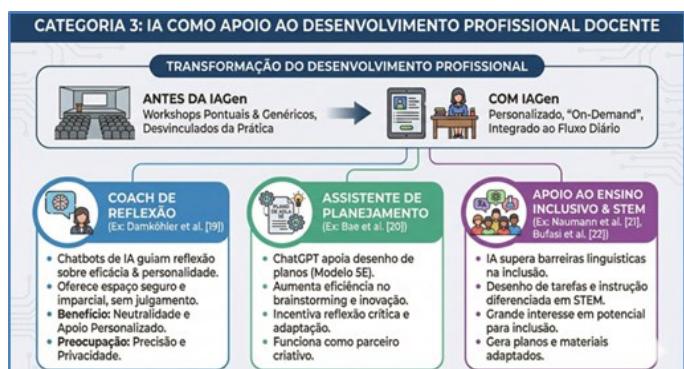


Figura 4. Exemplos de uso de IAGen para Categoria 3.

**Coach de Reflexão:** Damköhler et al. [19] integraram chatbots de IA como "coaches" de reflexão para apoiar futuros professores em laboratório de ensino. Dois chatbots guiaram reflexões dos estudantes sobre eficácia do ensino e personalidade docente. Alunos apreciaram neutralidade e apoio personalizado da IA, mas levantaram preocupações éticas sobre precisão e privacidade. O estudo demonstra potencial da IA como coach de reflexão imparcial, oferecendo espaço seguro para reflexão sem julgamento humano.

**Assistente de Planeamento:** Bae et al. [20] analisaram reflexões de futuros professores sobre uso de ChatGPT para planeamento de aulas. Futuros professores usaram ChatGPT para desenhar planos de aula seguindo o modelo 5E. A IA aumentou eficiência no brainstorming e apoiou inovação, incentivando reflexão crítica e adaptação ao contexto, funcionando como parceiro criativo no planeamento pedagógico.

**Apoio ao Ensino Inclusivo:** Naumann et al. [21] desenharam seminário sobre como IA pode apoiar ensino inclusivo. IA foi tema central, com participantes refletindo sobre potencial para superar barreiras linguísticas.

Resultados mostraram grande interesse em aprender sobre IA e reconhecimento do potencial para inclusão. Paralelamente, Bufasi et al. [22] investigaram potencial do ChatGPT para melhorar desenvolvimento profissional em STEM, com professores usando ChatGPT para desenhar tarefas, gerar planos e fornecer instrução diferenciada.

#### Categoria 4: IA como Ferramenta para Investigação em Educação

A quarta categoria representa como IAGen não só acelera investigação existente, mas permite novos tipos de perguntas e metodologias impossíveis antes (Figura 5). Antes da IAGen, investigação era limitada pela escala e complexidade, com revisões de literatura manuais e análise de grandes volumes de dados qualitativos laboriosa. Com IAGen, observa-se automação de revisões, análise de redes de conceitos em milhares de textos, geração de estímulos de investigação personalizados, e modelos de "especialista" para comparação [24, 25].

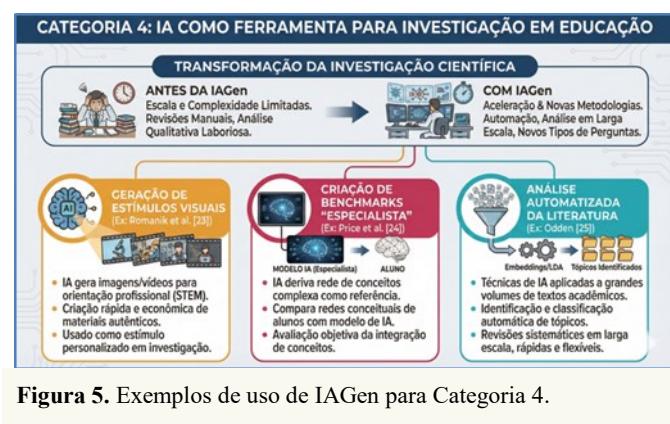


Figura 5. Exemplos de uso de IAGen para Categoria 4.

Geração de Estímulos Visuais: Romanik et al. [23] exploraram potencial de IA geradora de imagens para orientação profissional em STEM. Criaram vídeos com imagens geradas por IA mostrando diferentes facetas de profissões STEM, usados como estímulo em investigação. Embora impacto direto não tenha sido estatisticamente significativo, observaram-se sinais de efeito positivo, demonstrando potencial para geração rápida e econômica de materiais autênticos de investigação.

Criação de Benchmarks: Price et al. [24] investigaram como alunos do ensino secundário conceptualizam interconexão em biologia. Rede de conceitos sobre biologia derivada por IA serviu como modelo "especialista" de referência para comparar redes conceituais dos alunos. A comparação com modelo de IA permitiu avaliação objetiva da integração de conceitos, mostrando melhoria após intervenção pedagógica.

Análise Automatizada da Literatura: Odden [25] comparou duas técnicas de IA (LDA e *embeddings*) para análise automática de grandes volumes de textos acadêmicos. Técnicas foram aplicadas aos anais de conferência de educação em física para identificar e classificar tópicos de investigação. Resultados mostraram forte concordância entre modelos, validando uso de *embeddings* para revisões de literatura com vantagens em flexibilidade, permitindo revisões sistemáticas em larga escala de forma rápida.

A IAGen está demonstrando capacidades impressionantes na própria ciência, com implicações diretas para a formação científica. Terence Tao, medalhista Fields, argumenta que um dos usos mais promissores da IAGen na matemática é como

ferramenta de leitura e revisão massiva da literatura, para mapear problemas já resolvidos, resultados parciais e possíveis conexões entre áreas [27]. Na biologia e na bioquímica, o modelo C2S-Scale, baseado na família Gemma, vem sendo usado para analisar dados de célula única em larga escala e sugerir combinações de fármacos que podem tornar tumores mais visíveis ao sistema imune, hipóteses posteriormente testadas experimentalmente [28]. Esses avanços exemplificam como a IAGen já começa a atuar como parceira na descoberta científica, reforçando a necessidade de formar estudantes não apenas para usar esses sistemas como ferramentas, mas para trabalhar colaborativamente com eles ao longo de todo o ciclo de investigação.

#### Considerações Finais

A análise dos estudos da conferência ESERA 2025, fundamentada na Teoria da Mediação Cognitiva em Rede, revela que a IAGen representa transformação profunda e multidimensional da educação científica. Esta transformação não se limita à automação de processos existentes, mas inaugura novas possibilidades pedagógicas através de quatro dimensões principais de inovação.

Primeiro, como ferramenta de ensino e apoio ao aluno, a IAGen permite personalização em escala verdadeiramente sem precedentes, transformando estudantes de consumidores passivos em criadores ativos de conhecimento. Segundo, como ferramenta de avaliação, permite transição fundamental de avaliação retrospectiva para análise contínua e longitudinal do processo de aprendizagem. Terceiro, como apoio ao desenvolvimento profissional docente, integra formação continuada no fluxo de trabalho diário, tornando-a personalizada e contextualizada. Quarto, como metodologia de investigação, acelera e expande possibilidades de pesquisa educacional de formas antes impossíveis.

Propomos que estas quatro dimensões constituem manifestações da mediação sofotécnica, quinta forma evolutiva de mediação cognitiva que sucede as mediações psicofísica, social, cultural e hipercultural. A mediação sofotécnica não representa substituição da cognição humana, mas sua amplificação através de parceria com sistemas artificiais capazes de linguagem natural e raciocínio complexo.

Os resultados apresentados indicam que competências como criatividade, pensamento crítico, adaptabilidade e colaboração tornam-se ainda mais cruciais na era sofotécnica. Estudantes e professores precisam desenvolver capacidade não apenas de usar IAGen como ferramenta, mas de trabalhar colaborativamente com ela na construção e avaliação de conhecimento.

Desafios importantes emergem desta análise. Questões éticas sobre privacidade, viés algorítmico, autenticidade do trabalho estudantil e dependência tecnológica requerem atenção cuidadosa. Preocupações sobre substituição do papel docente devem ser endereçadas através de pesquisa sobre como IAGen pode amplificar, não substituir, expertise pedagógica

humana. Questões sobre equidade de acesso à tecnologia avançada necessitam políticas educacionais que garantam democratização dos benefícios da mediação sofotécnica.

A revolução silenciosa da IAGen na educação científica não está apenas mudando como ensinamos ciências — está redefinindo o que significa aprender, avaliar, ensinar e investigar na educação do século XXI. O futuro da educação científica será caracterizado não pela competição entre humanos e máquinas, mas pela colaboração sofotécnica que amplifica capacidades cognitivas humanas através de parceria inteligente com sistemas artificiais.

## Agradecimentos

O autor agradece os organizadores do XIII SECIMSEG pelo espaço de discussão e reflexão voltados ao Ensino e à Educação e aos revisores pelas sugestões e recomendações para o aprimoramento na redação do artigo. O autor também agradece à Universidade de Caxias do Sul (UCS), à FAPERGS e à CAPES pelo auxílio recebido.

## Referências

- [1] A. Serrano, Inteligência artificial generativa (IAGen) como recurso para o Ensino. Apresentação UCS, Universidade de Caxias do Sul, 2025.
- [2] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin, “Attention Is All You Need.” *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 30, 2017.
- [3] OpenAI, GPT-4 Technical Report. arXiv preprint arXiv:2303.08774, 2023.
- [4] J. Wei, Y. Tay, R. Bommasani, C. Raffel, B. Zoph, S. Borgeaud, D. Yogatama, M. Bosma, D. Zhou, D. Metzler, et al., “Emergent Abilities of Large Language Models.” *Transactions on Machine Learning Research*, 2022.
- [5] B. C. de Souza, A. S. de Andrade Neto, A. Roazzi, ChatGPT, the Cognitive Mediation Networks Theory and the Emergence of Sophotechnic Thinking: How Natural Language AIs Will Bring a New Step in Collective Cognitive Evolution. SSRN preprint 4405254, 2023.
- [6] ESERA 2025, Programme and Book of Abstracts. 16th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA 2025), University of Helsinki, 2025.
- [7] M. Babayeva, et al., “Use Of Large Language Model Assistant In Hands-On Physics Lab.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 243, 2025.
- [8] J. Henze, et al., “The Impact Of AI-Based Data Analysis On Learning And Motivation In Science Education.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 173, 2025.
- [9] J. Lademann, et al., “Building Bridges: AI Custom Chatbots As Mediators Between Mathematics And Physics.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 240, 2025.
- [10] K. H. Fredly, et al., “How Students Use AI For Computational Thinking In Physics.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 242, 2025.
- [11] B. Putra, et al., “Fostering Dialogic Interaction And Argumentation In Science With Customized Generative AI.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 437, 2025.
- [12] S. Lahlali, et al., “Interaction Between Students And AI In A Physics Course: Towards Modeling A Learning Practice.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 165, 2025.
- [13] R. Sheffield, et al., “Empowering Learning Autonomy: Exploring Self-Regulated Learning Through AI-Driven Chat.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 1033, 2025.
- [14] J. Wiedenmann, et al., “Investigation Of The Influence Of AI As A Personalized Assistance System.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 1034, 2025.
- [15] M. Rodemer, et al., “Generating Multiple-Choice Tests Using AI: Insights into Quality and Psychometric Evaluations.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 179, 2025.
- [16] P. Martin, et al., “Tracing Trajectories: Using Machine Learning To Explore Chemistry Students’ Mechanistic Reasoning.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 238, 2025.
- [17] B. K. Czinczel, et al., “Development Of Explanatory Patterns In Evolutionary Biology: An AI-Supported Mixed-Methods Study.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 59, 2025.
- [18] L. Mientus, et al., “AI-Based Analysis Of Context-Specific Professional Content Knowledge (PCK) In Written Self-Reflections.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 995, 2025.
- [19] J. Damköhler, et al., “Beyond Human Mentors: Exploring AI-Driven Reflection In Teacher Training.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 990, 2025.
- [20] Y. Bae, et al., “A New Paradigm For Science Lesson Planning: Adaptive Expertise And Generative AI Integration.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 270, 2025.
- [21] L. Naumann, et al., “The Intersection Of AI And Inclusion: How A Pre-Service Teacher Seminar Addresses AI In Inclusive Teaching.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 970, 2025.
- [22] E. Bufasi, et al., “Empowering STEM Teacher Professional Development Through AI Integration.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 1123, 2025.
- [23] M. Romanik, et al., “Image-Generating AI As A Tool For Authentic Career Guidance In Science And STEM Edu-

cation.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 217, 2025.

[24] S. Price, et al., “Mapping Student Concept Integration And Interconnectedness In Biology Using An AI-Derived Model.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 20, 2025.

[25] T. Odden, “Comparing LDA And Embeddings For Automated Reviews Of Physics Education Research.” ESERA 2025 Programme and Book of Abstracts, p. 235, 2025.

[26] F. Salvi, M. Horta Ribeiro, R. Gallotti, R. West, “On the Conversational Persuasiveness of Large Language Models: A Randomized Controlled Trial.” *Nature Human Behaviour* (no prelo) / arXiv:2403.14380, 2024.

[27] T. Tao, Embracing Change and Resetting Expectations. Post de blog, 2023.

[28] M. van Dijk, et al., “Scaling Large Language Models for Next-Generation Single-Cell Analysis.” bioRxiv 2025.04.14.648850, 2025; e Google, “Google’s Gemma AI Model Helps Discover New Potential Cancer Therapy Pathways.” Blog oficial, 2025.

[29] World Economic Forum, The Future of Jobs Report 2023. Genebra: WEF, 2023.