

DOI 10.36074/logos-05.09.2025.028

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ НАСТІЛЬНИХ ІГОР НА ОСНОВІ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Халаміренко Олександр Ігорович¹**Науковий керівник: Блажко Олександр Анатолійович²**

1. аспірант*Національний університет «Одеська політехніка», УКРАЇНА***ORCID ID: 0009-0007-1205-2915****2.** канд. техн. наук, доцент*Національний університет «Одеська політехніка», УКРАЇНА***ORCID ID: 0000-0001-7413-275X**

Вступ. Інтеграція настільних ігор із технологіями змішаної та доповненої реальності (MR/AR) демонструє послідовне зростання навчальної ефективності завдяки підвищенню залученості, мотивації та якості взаємодії здобувачів освіти [1–3] [4]. Водночас практичне впровадження MR/AR у навчання обмежують вартість обладнання, доступність платформ і методичні бар'єри, зокрема потреба у спеціальній підготовці викладачів [5–7]. Поза технічними аспектами залишається недостатньо вирішеним питання системного зв'язку між педагогічними цілями, ігровими механіками та автоматизованими конвеєрами проєктування, тестування й балансування освітніх ігор. Хоча наявні формальні моделі (Ludii), генеративні алгоритми (у т.ч. еволюційні та quality-diversity) і LLM уже підтримують створення та аналіз ігор, а інструменти на кшталт Machinations прискорюють оцінювання дизайну, інтегрованої рамки «від цілей до валідації» наразі бракує [8–11]. Ludii – формальна мова та платформа опису ігор (general game system), яка дозволяє специфікувати правила настільних ігор і виконувати над ними аналіз/симуляції. Machinations – інструментальна платформа моделювання й симуляції ігрових систем для оцінювання балансу та складності.

Мета огляду – систематизувати підходи до автоматизованого створення освітніх настільних ігор із MR/AR, узагальнивши (i) класифікаційні та дизайн-

SECTION 14.

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

рамки для ігор [12], (ii) апаратно-програмні основи AR/MR (маркерні та безмаркерні рішення; мобільні й гарнітурні платформи) [5–7], (iii) методи автоматизації: семантичний аналіз і LLM, формальні моделі ігор, симулятивне тестування та балансування, генеративне програмування (зокрема GAVEL) [8–11,13]. Огляд окреслює наукові прогалини – перевірку педагогічної результативності, узгодження цілей навчання з механіками, надійність і контроль LLM, а також питання доступності та масштабованості освітніх рішень.

Обсяг і межі: проаналізовано рецензовані публікації 2014–2025 рр. (Scopus, WoS, IEEE Xplore, ACM DL, ScienceDirect, відкриті репозитарії) з фокусом на вищу освіту; виключено вузькі апаратні деталі, що не впливають безпосередньо на педагогічну доцільність MR/AR-ігор.

Методологія огляду. Огляд побудовано у форматі наративного з елементами систематичного, оскільки він має на меті не лише зібрати й узагальнити результати попередніх досліджень, але й систематизувати методи, що застосовуються для автоматизованого створення освітніх настільних ігор із використанням технологій змішаної реальності. Первинний пошук забезпечив понад 150 публікацій, із яких було систематизовано близько 80 найбільш релевантних. Із них у статті використано понад 20 ключових робіт, що відображають сучасний стан розвитку галузі.

Огляд літератури

Історичний розвиток. Настільні ігри в освіті мають стале підґрунтя; еволюція від дидактичних прототипів до системних рішень з AR/MR засвідчує поступ від локальних експериментів до інтеграції з формальними моделями та вимірною педагогічною ефективністю [1–3], а також до узгоджених рамок класифікації та дизайну ігор [12].

Сучасний стан досліджень. Поточні роботи фокусуються на поєднанні аналогових механік з AR/MR через маркерні/безмаркерні підходи та мобільні/гарнітурні платформи [4–7]. Емпіричні результати демонструють зростання залученості, колаборації та навчальних досягнень у курсах ІТ та суміжних дисциплін [14,15], водночас залишаючи відкритими питання вартості, масштабованості й методичної підтримки викладачів [4,7].

Методологічні підходи. У дизайні домінують педагогічні та інженерні рамки (зокрема класифікації та MDA), що поєднуються з формальними моделями ігор для опису станів, правил і простору стратегій [12]. Великі мовні моделі застосовують для семантичного аналізу предметних текстів, генерації компонентів ігрового контенту та автоматизованого тестування сценаріїв [8–10,16,17]. Балансування та валідація спираються на симуляції, перебір стратегій і метрики результативності [9], а генеративне програмування (включно з

еволюційними та quality-diversity підходами) інтегрується з формальними мовами опису ігор і LLM [10,11].

Основні результати. AR/MR у настільних іграх підвищують мотивацію, взаємодію та занурення в навчання [3,4]; ігри для ІТ-дисциплін демонструють приріст предметних і метапредметних результатів (зокрема командної роботи та критичного мислення) [14,15]. Формальні моделі з інструментами симуляції стали опорою автоматизації проєктування й оцінювання ігор [9,11]. LLM та генеративні алгоритми показують високий потенціал, але потребують більш суворої валідації педагогічної ефективності та адаптації до цільових аудиторій [8,10].

Таким чином, сучасна література підтверджує потенціал поєднання освітніх настільних ігор, AR/MR та автоматизації через ШІ, проте виявляє також низку наукових і практичних прогалин, що потребують подальшого дослідження.

Класифікація та порівняльний аналіз

Систематизація досліджень за критеріями

Аналіз літератури дозволяє класифікувати роботи за кількома ключовими вимірами:

1. За типом ігор: (i) розважальні настільні ігри, що застосовуються для дослідження механік та жанрових класифікацій [12]; (ii) освітні ігри, спеціально створені для дисциплін ІТ (програмна інженерія, SEO, алгоритмічне мислення) [14,15,18]; (iii) змішані (edutainment), що поєднують елементи навчання і розваги.

2. За технологічною основою: (i) ігри, що використовують AR/MR-технології з маркерним або безмаркерним відстеженням [1–7]; (ii) класичні настільні ігри без цифрової складової, але адаптовані до освітніх завдань [14,15].

3. За методологією автоматизації:

- підходи на основі *семантичного аналізу та LLM*, що дозволяють автоматично генерувати освітній контент [8,16,17];

- *формальні моделі ігор* (Ludii, MDA), орієнтовані на структурування та аналіз ігрових правил [9];

- методи *балансування та комп'ютеризованого тестування*, зокрема симуляції на базі ШІ та інструменти для оцінки економіки гри [9–11];

- *генеративне програмування*, зокрема еволюційні алгоритми та інтеграція з LLM (GAVEL) [10,13].

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін

AR/MR-технології: перевагою є занурюваність та підвищена мотивація студентів. Водночас вони потребують значних технічних ресурсів і мають обмеження доступності (висока вартість гарнітур, потреба у сучасних мобільних пристроях). Додатковою проблемою є складність інтеграції AR у



SECTION 14.
INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

традиційний освітній процес, де викладачі часто не мають достатньої підготовки для використання таких інструментів.

Освітні настільні ігри без цифрової складової простіші у впровадженні й мають доведену педагогічну ефективність (приклад *Hard Choices* [14]). Проте їх обмеженням є складність масштабування: створення нового ігрового сценарію вимагає значних зусиль викладача-дизайнера.

Формальні моделі ігор та симуляційні інструменти: сильна сторона полягає у можливості швидкого тестування нових правил і балансування. Однак такі підходи потребують глибокої експертизи та формалізації, що робить їх малодоступними для практиків освіти без технічної підготовки.

Великі мовні моделі та генеративні алгоритми: перевага полягає у швидкості та різноманітності створюваного контенту. Проте існує ризик неточностей і відсутності педагогічної валідності. Без валідації з боку експертів використання LLM у навчанні може призвести до некоректних результатів.

Виявлення наукових прогалин

Порівняння показує, що незважаючи на значні досягнення у кожному з напрямів, залишаються нерозв'язані проблеми:

- *Відсутність інтегрованої рамкової системи:* наразі не існує єдиного підходу, який би забезпечував повний цикл автоматизованого створення освітніх настільних ігор – від постановки педагогічних цілей до валідації результатів.

- *Педагогічна оцінка ефективності:* більшість автоматизованих методів орієнтовані на ігрову збалансованість, тоді як питання навчальної результативності залишаються недостатньо дослідженими.

- *Людські фактори в AR/MR-іграх:* тривале використання таких інструментів у класах вивчене поверхово, бракує масштабних емпіричних досліджень.

- *Надійність генеративних методів:* LLM та еволюційні алгоритми генерують ігри, але не завжди гарантують їх придатність для освітніх цілей.

Таким чином, класифікація існуючих підходів демонструє різноманітність досліджень та інструментів, але також підкреслює розрив між теоретичними напрацюваннями та практичною реалізацією в освітньому середовищі. Ці прогалини формують базис для подальшої дискусії та визначення напрямів майбутніх досліджень.

Дискусія. Критичний аналіз наявних досліджень свідчить, що, попри значний прогрес у застосуванні AR/MR та автоматизованих методів до створення освітніх настільних ігор, галузь перебуває на етапі становлення й характеризується рядом обмежень.

Суперечності в результатах досліджень. По-перше, результати емпіричних робіт щодо ефективності AR у навчанні демонструють

неоднозначність. Одні дослідження підтверджують підвищення мотивації та поліпшення навчальних результатів завдяки AR-іграм [1–4], тоді як інші вказують на проблеми з перевантаженням когнітивних процесів або технічними збоями, що знижують якість освітнього досвіду [19]. Це свідчить про необхідність уточнення педагогічних моделей інтеграції AR у навчальний процес.

По-друге, у літературі існують розбіжності щодо класифікації настільних ігор. Частина авторів обмежується жанровими категоріями (стратегія, головоломка тощо), тоді як інші пропонують багатокритеріальний підхід, що враховує механіки, тематику та соціальну взаємодію [12]. Відсутність єдиної системи ускладнює створення універсальних алгоритмів для автоматизованого дизайну.

По-третє, використання LLM для генерації освітнього контенту має високий потенціал, проте дослідники визнають їхню обмежену надійність. Моделі здатні створювати змістовні сценарії, однак часто генерують фактично неточну інформацію [8,17]. Це обмежує їх практичне застосування у високостандартизованому освітньому середовищі.

Практична значущість існуючих рішень. З практичної точки зору, настільні ігри з AR/MR-компонентами підтвердили свою здатність робити навчальний процес більш інтерактивним і залучаючим. Їх перевага – у поєднанні соціальної взаємодії традиційної гри з додатковим цифровим контентом. Наприклад, використання AR для візуалізації складних структур (молекулярних моделей чи алгоритмічних процесів) дозволяє студентам краще зрозуміти абстрактні концепції [7,18].

Водночас автоматизовані методи дизайну (формальні моделі, генеративне програмування, інструменти балансування) поступово змінюють роль викладача-дизайнера. Традиційний ручний підхід до створення навчальних ігор вимагає значних ресурсів [15]. Автоматизація ж потенційно здатна масштабувати розробку ігор та адаптувати їх до конкретних навчальних цілей.

Разом із тим, наявні системи не забезпечують повного циклу створення гри. Більшість прототипів фокусуються або на генерації контенту, або на моделюванні правил, тоді як інтегровані рішення, що охоплюють увесь процес – від постановки педагогічних цілей до оцінки результатів у реальному класі – залишаються відсутніми.

Загальна оцінка стану досліджень. Сучасний стан літератури демонструє: високий рівень інноваційності окремих підходів (AR-інструменти, LLM, генеративні алгоритми); відсутність узгодженості між теоретичними моделями та практичними реалізаціями; недостатню кількість масштабних

SECTION 14.
INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

емпіричних досліджень, що підтверджують педагогічну ефективність автоматизованих ігор у змішаній реальності.

У результаті актуальним завданням наукової спільноти є інтеграція технічних і педагогічних аспектів у єдині рамкові системи, які можуть бути апробовані у широкому колі освітніх середовищ.

Напрями подальших досліджень. Потрібна стандартизація метрик навчальної ефективності для MR/AR-ігор: уніфіковані індикатори, попереднє узгодження дизайнів, рандомізовані контрольовані дослідження та довготривалі вимірювання для перевірки стійкості ефектів і зовнішньої валідності [2–4,18,20–22].

Варто розбудувати інтегрований «конвеєр» від педагогічних цілей до валідації: формальна специфікація правил і цілей (напр., мовами на кшталт Ludii), зв'язування з моделями дизайну (MDA/класифікації), симулятивні стенди (на кшталт Machinations) та прозорі протоколи оцінювання балансу й складності [9–12].

Автоматизація з LLM/генеративними методами має супроводжуватися людиною-в-циклі, керуванням підказками, верифікацією контенту, моніторингом упереджень/галюцинацій і можливістю відслідкувати рішення; слід порівнювати витрати/ефективність різних стратегій інтеграції LLM у навчальний процес [8,10,11,13].

Перспективними є quality-diversity підходи для породження різноманітних, але збалансованих варіантів ігор із персоналізацією складності під модель студента; потрібні формальні критерії ігрового балансу та методи автоматичного підбору рівнів [9–11].

Також відомо, що технологічний процес описується чотирма потоками: вхід – сировина для обробки; вихід – результат роботи; керування – опис правил керування; механізм – людина, інструменти. Якщо на вхід подаються дані, технологічний процес перетворюється у інформаційну технологію. Враховуючи наданий опис елементів технології, рекомендується створити інформаційну технологію автоматизованого створення навчальних настільних ігор на основі змішаної реальності, деталізовану схему якої представлено на рисунку 1.

Масштабування потребує доволі складної організації на рівні групи/курсу: багатокористувацька синхронізація, аналітика навчання, приватність і безпека даних (у т.ч. офлайн-first сценарії), а також інтеграція з інституційними LMS (Learning Management System) [4–7,9].

Необхідні відкриті бенчмарки та інструментарій: корпуси правил/сценаріїв для настільних MR-ігор, телеметрія симуляцій, реперні реалізації й контейнери для відтворюваності, що спростять порівняння методів і міжлабораторні реплікації [9–11].

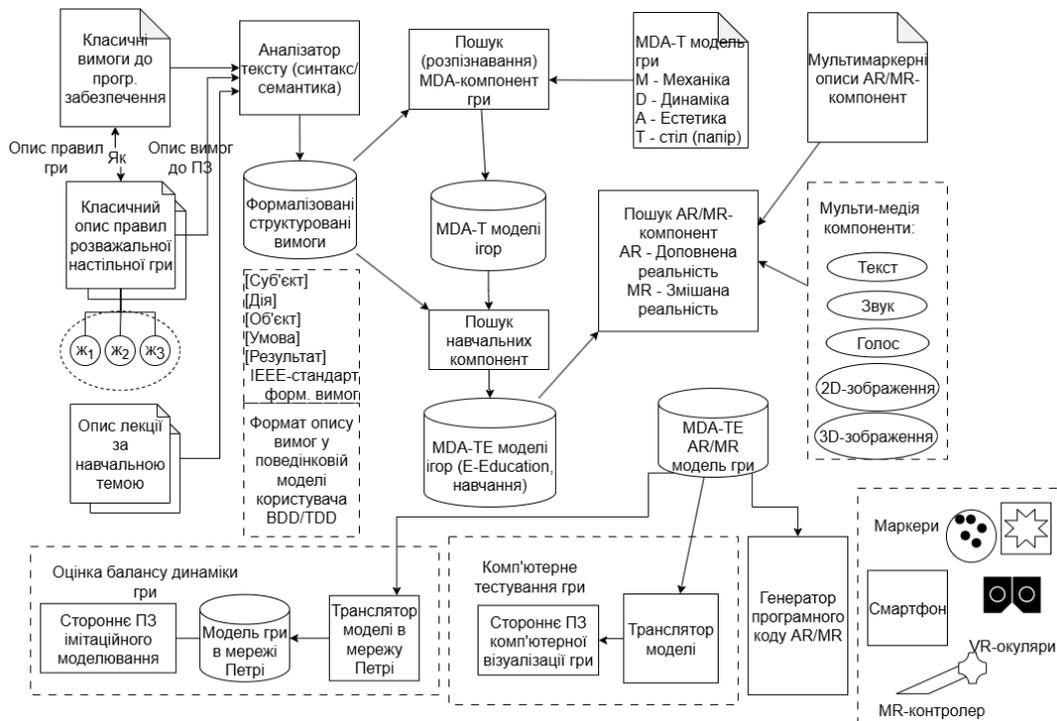


Рис. 1. Деталізована схема взаємодії компонент інформаційної технології

Поза ІТ-дисциплінами доцільно дослідити переносимість підходів у гуманітарні та прикладні галузі, багатомовність і культурну адаптацію сценаріїв, щоб оцінити межі генералізації результатів [2–4,12].

Висновки. Огляд сучасних досліджень засвідчив, що інформаційні технології відіграють ключову роль у трансформації процесу створення освітніх настільних ігор, особливо в поєднанні з технологіями доповненої та змішаної реальності. Застосування AR/MR забезпечує підвищений рівень інтерактивності, занурення та мотивації, поєднуючи переваги фізичного ігрового процесу з цифровим зворотним зв'язком. Приклади використання AR у навчальних іграх підтвердили їхню здатність покращувати засвоєння складних понять та сприяти розвитку критичного мислення.

Паралельно активно розвиваються методи автоматизації розробки ігор. До них належать семантичний аналіз і генерація контенту за допомогою великих мовних моделей, використання формальних моделей ігрових правил, симуляційні підходи до балансування та тестування, а також генеративне програмування з еволюційними алгоритмами. Попри успішні результати окремих експериментів (зокрема системи GAVEL), повністю інтегрованої рамкової системи, яка б забезпечувала повний цикл від постановки педагогічних цілей до готової освітньої гри, наразі не існує.

SECTION 14.

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

Внеском цього огляду є систематизація наукових підходів та інструментів у галузі автоматизованого створення освітніх настільних ігор із AR/MR, а також виявлення наукових прогалин: відсутність інтегрованих рамок, недостатня увага до оцінювання навчальної ефективності та потреба у масштабованих рішеннях.

Подальші дослідження повинні зосередитися на міждисциплінарній інтеграції технічних і педагогічних аспектів, а також розробці практично застосовних платформ для освітніх установ. Реалізація цих завдань сприятиме переходу від прототипів і експериментів до широкого впровадження автоматизованих AR-настільних ігор у навчальний процес, відкриваючи нові можливості для якісного та гнучкого засвоєння знань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Blazhko, O., & Shtefan, N. (2023). Development of Marker-Based Web Augmented Reality Educational Board Games for Learning Process Support in Computer Science. *2023 6th Experiment@ International Conference (Exp.at'23)*, 146–151. <https://doi.org/10.1109/exp.at2358782.2023.10545689>
- [2] Hou, H.-T., Fang, Y.-S., & Tang, J. T. (2023). Designing an alternate reality board game with augmented reality and multi-dimensional scaffolding for promoting spatial and logical ability. *Interactive Learning Environments*, *31*(7), 4346–4366. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1961810>
- [3] Lin, Y.-C., & Hou, H.-T. (2024). The evaluation of a scaffolding-based augmented reality educational board game with competition-oriented and collaboration-oriented mechanisms: Differences analysis of learning effectiveness, motivation, flow, and anxiety. *Interactive Learning Environments*, *32*(2), 502–521. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2091606>
- [4] Lin, H.-C. K., Lin, Y.-H., Wang, T.-H., Su, L.-K., & Huang, Y.-M. (2020). Effects of Incorporating AR into a Board Game on Learning Outcomes and Emotions in Health Education. *Electronics*, *9*(11), 1752. <https://doi.org/10.3390/electronics9111752>
- [5] Onime, C., Uhomoi bhi, J., Wang, H., & Santachiara, M. (2020). A reclassification of markers for mixed reality environments. *The International Journal of Information and Learning Technology*, *38*(1), 161–173. <https://doi.org/10.1108/IJILT-06-2020-0108>
- [6] Vidal-Balea, A., Blanco-Novoa, Ó., Fraga-Lamas, P., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Developing the Next Generation of Augmented Reality Games for Pediatric Healthcare: An Open-Source Collaborative Framework Based on ARCore for Implementing Teaching, Training and Monitoring Applications. *Sensors*, *21*(5), 1865. <https://doi.org/10.3390/s21051865>
- [7] Arab American University, Abualrob, M., Awaad, T., & Arab American University. (2024). Developing an Augmented Reality-based Board Game for Teaching Atomic Models. *Science Education International*, *35*(3), 198–206. <https://doi.org/10.33828/sei.v35.i3.3>
- [8] Gallotta, R., Todd, G., Zammit, M., Earle, S., Liapis, A., Togelius, J., & Yannakakis, G. N. (2024). Large Language Models and Games: A Survey and Roadmap. *IEEE Transactions on Games*, 1–18. <https://doi.org/10.1109/TG.2024.3461510>
- [9] Browne, C., Piette, É., Stephenson, M., & Soemers, D. J. N. J. (2023). Ludii General Game System for Modeling, Analyzing, and Designing Board Games. In N. Lee (Ed.),

Encyclopedia of Computer Graphics and Games (pp. 1–15). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_486-1

- [10] Todd, G., Padula, A., Stephenson, M., Piette, É., Soemers, D. J. N. J., & Togelius, J. (2024). *GAVEL: Generating Games Via Evolution and Language Models* (Version 2). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2407.09388>
- [11] Kessing, D., & Löwer, M. (2022). *Evaluation of Systematically Developed Gamification Strategies with Game-Balance Simulation Tools*. 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022). <https://doi.org/10.54941/ahfe1001517>
- [12] Starosta, J., Kiszka, P., Szyszka, P. D., Starzec, S., & Strojny, P. (2024). The tangled ways to classify games: A systematic review of how games are classified in psychological research. *PLOS ONE*, 19(6), e0299819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299819>
- [13] Browne, C. (2011). The Ludi System. In C. Browne, *Evolutionary Game Design* (pp. 11–21). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2179-4_3
- [14] Ganesh, L. (2014). Board Game as a Tool to Teach Software Engineering Concept— Technical Debt. *2014 IEEE Sixth International Conference on Technology for Education*, 44–47. <https://doi.org/10.1109/T4E.2014.28>
- [15] Zheng, S., Fischer, V., Luckner, N., & Purgathofer, P. (2024). Learning from Designing a Board Game for Policy Thinking in Computer Science. *European Conference on Games Based Learning*, 18(1), 885–892. <https://doi.org/10.34190/ecgbl.18.1.2709>
- [16] Amresh, A. (2023). Integrating Reinforcement AI into the Design of Educational Games. *European Conference on Games Based Learning*, 17(1), 13–18. <https://doi.org/10.34190/ecgbl.17.1.1709>
- [17] Xiao, C., & Yang, B. Z. (2024). *LLMs May Not Be Human-Level Players, But They Can Be Testers: Measuring Game Difficulty with LLM Agents* (Version 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2410.02829>
- [18] Huang, S.-Y., Tarnq, W., & Ou, K.-L. (2023). Effectiveness of AR Board Game on Computational Thinking and Programming Skills for Elementary School Students. *Systems*, 11(1), 25. <https://doi.org/10.3390/systems11010025>
- [19] Takrouri, K., Causton, E., & Simpson, B. (2022). AR Technologies in Engineering Education: Applications, Potential, and Limitations. *Digital*, 2(2), 171–190. <https://doi.org/10.3390/digital2020011>
- [20] Hou, H.-T. (2022). Augmented reality board game with multidimensional scaffolding mechanism: A potential new trend for effective organizational strategic planning training. *Frontiers in Psychology*, 13, 932328. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.932328>
- [21] Chen, Y.-F., & Janicki, S. (2020). A Cognitive-Based Board Game With Augmented Reality for Older Adults: Development and Usability Study. *JMIR Serious Games*, 8(4), e22007. <https://doi.org/10.2196/22007>
- [22] Tobar-Muñoz, H., Baldiris, S., & Fabregat, R. (2023). Co-Design of Augmented Reality Games for Learning with Teachers: A Methodological Approach. *Technology, Knowledge and Learning*, 28(2), 901–923. <https://doi.org/10.1007/s10758-023-09643-z>

