

L'expérimentation au secondaire : comment former les compétences scientifiques d'ordre supérieur ?

La experimentación en secundaria: ¿cómo formar habilidades científicas de orden superior?



Omar Escalona Vivas*

Instituto de Estudios Superiores de Investigación y Postgrado, Venezuela.



Víctor Bless Gutiérrez**

Universidad de Ciencias Médicas de la Habana. Facultad de Tecnología de la Salud. La Habana. Cuba.

Résumé

Cet article analyse comment l'expérimentation dans l'enseignement secondaire contribue au développement des compétences scientifiques d'ordre supérieur (CSOS) : pensée critique, résolution de problèmes, argumentation et formulation d'hypothèses. À travers une revue systématique utilisant la méthodologie PRISMA (2016-2026) sur des bases de données telles que Scopus, WoS, ERIC, SciELO et Redalyc, sept catégories thématiques ont été identifiées : l'étayage, l'enseignement basé sur des études internationales, la résolution collaborative de problèmes, la conception-construction-test (culture maker), la formation STEM/STEAM, la contextualisation de l'apprentissage, et les espaces d'échange réflexif. Les résultats révèlent que l'expérimentation seule ne développe pas automatiquement les CSOS ; un étayage explicite de la part des enseignants, une guidance pédagogique, une contextualisation significative et des opportunités d'argumentation sont nécessaires. Le manque de formation des enseignants et d'infrastructure en Amérique latine limite ce potentiel.

Mots-clés : expérimentation, compétences scientifiques d'ordre supérieur, enseignement secondaire, étayage, revue systématique.

Resumen

Este artículo analiza cómo la experimentación en educación secundaria contribuye a la formación de habilidades científicas de orden superior (HCOS): pensamiento crítico, resolución de problemas, argumentación y formulación de hipótesis. Mediante una revisión sistemática con metodología PRISMA (2016-2026) en bases como Scopus, WoS, ERIC, SciELO y Redalyc y, se identificaron siete categorías temáticas: andamiaje, enseñanza basada en estudios internacionales, resolución de problemas colaborativa, diseño-construcción-prueba (cultura maker), formación STEM/STEAM, contextualización del aprendizaje, y espacios de intercambio reflexivo. Los hallazgos revelan que la experimentación por sí sola no desarrolla automáticamente HCOS; se requiere un andamiaje docente explícito, orientación pedagógica, contextualización significativa y oportunidades de argumentación. La falta de formación docente y de infraestructura en América Latina limita este potencial.

Palabras claves: experimentación, habilidades científicas de orden superior, educación secundaria, andamiaje, revisión sistemática.

Comment citer cet article (APA) : Escalona, V. O. et Bless, G. V. (2026). L'expérimentation au secondaire : comment former les compétences scientifiques d'ordre supérieur ? *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, 7 (14), 101-125. <https://doi.org/10.59654/mbdvex58>



Introduction

Lorsqu'on enseigne les sciences dans l'enseignement secondaire, on vise à former des citoyens capables de comprendre le monde selon une perspective scientifique, en développant une pensée critique et des compétences en résolution de problèmes (Jiang et al. 2023). Cette considération implique indubitablement que l'éducation doit correspondre aux exigences du monde actuel, comme l'affirme l'Unesco (2017), parallèlement aux défis et aux aspirations du XXI^e siècle, avec des objectifs et des contenus d'apprentissage pertinents. Dans cette perspective, comment ne pas laisser ce que Furman (2016, p. 32) appelle « la possibilité de vivre personnellement le processus même d'investigation du monde » ? La réponse n'est autre que par l'expérimentation. Les pratiques de laboratoire en sciences naturelles ont été considérées depuis longtemps comme un axe vertébrateur reliant les connaissances théoriques à la réalité empirique. Mais quel rôle revient à l'enseignant dans ce tournant épistémique en classe ? García et Moreno (2019, p. 157) répondent :

L'enseignant peut favoriser le processus d'apprentissage à travers des travaux expérimentaux dont les adjacents sont l'observation active, les questions et hypothèses, l'artificialisation des phénomènes naturels et la recherche de solutions à des situations quotidiennes, et, en même temps, le développement des compétences scientifiques de description, d'argumentation, d'analyse, d'appropriation et d'application du savoir scientifique pour interpeller la réalité et la transformer ; enfin, comprendre la science comme une connaissance qui se construit à partir de situations quotidiennes sans réponses apparentes, où les élèves sont les protagonistes de la construction de leurs nouvelles explications.

Un parcours de la littérature scientifique publiée permet de constater que les pratiques de laboratoire contribuent à la formation de compétences expérimentales chez les élèves du secondaire. Osorio (2022) et Jiang et al. (2023) mentionnent qu'à cet âge, les jeunes apprennent à manipuler des réactifs chimiques, des équipements et instruments de laboratoire, à formuler des hypothèses, à réaliser des expériences pour les confirmer et à mesurer des variables liées aux phénomènes étudiés.

De même, les voix de la communauté scientifique argumentent sur les bénéfices qu'apporte l'expérimentation dans l'enseignement secondaire et sur la manière dont des apprentissages se génèrent dans de multiples dimensions. Dans cet ordre d'idées, Bretz et al. (2013) et Hakim et al. (2013, 2016) ont constaté que la réalisation d'expériences scientifiques permet la compréhension des concepts et contribue à corriger les idées erronées. De plus, ils affirment que les pratiques de laboratoire aident à atteindre un apprentissage significatif en générant un environnement motivateur qui éveille l'intérêt et la curiosité des élèves pour apprendre, et favorisent en même temps la compréhension profonde de concepts complexes comme espace médiateur (Escobar, 2016 et Pillajo et al., 2025).

Cependant, si on les considère sur le plan procédural, il convient de mentionner que les laboratoires contribuent au développement de compétences spécifiques. Ainsi, l'étude de Hernández et al. (2018) soutient que les expériences dans l'enseignement secondaire sont une source de connaissance et un moyen de confirmer des hypothèses, contribuant au développement de compétences et d'habitudes expérimentales.

De même, l'Université de San Pedro Sula (2017) expose que dans les laboratoires se trouvent des instruments de mesure, des réactifs et d'autres éléments qui facilitent l'atteinte des objectifs dans la re-

cherche d'une concrétisation du savoir scientifique par l'apprentissage par découverte. De son côté, [Palacios \(2016\)](#) affirme que ces pratiques augmentent les compétences en expérimentation et favorisent le respect de l'environnement.

Dans une perspective réflexive sur le plan attitudinal et épistémique, on peut poser, comme l'indiquent [González et al. \(2004\)](#), que l'expérimentation dans l'enseignement des sciences va au-delà de la simple vérification d'hypothèses. En ce sens, les expériences sont, en réalité, un moyen clé pour promouvoir l'apprentissage des contenus, résoudre des problèmes et parvenir à des conclusions solides, imprimant ainsi une plus grande rigueur scientifique à l'enseignement dans le secondaire. Cela correspond à ce qu'affirme le National Research Council (2013, cité dans [Murphy et al., 2018, p. 1239](#)) : « cela nécessite un changement fondamental dans la pédagogie scientifique pour favoriser des connaissances et des pratiques telles que la connaissance profonde et conceptuelle, le raisonnement basé sur des modèles et l'argumentation orale et écrite où l'on évalue la preuve scientifique ».

Dans cette perspective de pensée, [López et Tamayo \(2012\)](#) insistent sur la considération que les laboratoires renforcent à la fois la connaissance conceptuelle et procédurale, permettant d'approfondir des aspects essentiels de la méthodologie scientifique et de favoriser des compétences de raisonnement telles que la pensée critique et créative, ainsi que des attitudes comme l'ouverture d'esprit, l'objectivité et une saine méfiance envers les jugements non fondés sur des preuves suffisantes.

Dès lors, il convient de se demander : quelles sont les conditions pour que l'expérimentation ait lieu ? Il existe aujourd'hui des laboratoires aussi bien physiques que virtuels, qui s'avèrent essentiels. [De Jong et al. \(2013\)](#) ont exprimé qu'au niveau préuniversitaire et universitaire, on propose souvent des expériences scientifiques attrayantes et stimulantes. Dans cette même perspective, [Satterthwait \(2010\)](#) affirme que les expériences pratiques dans les laboratoires de sciences jouent un rôle fondamental en permettant aux élèves d'apprendre. [Ambusaidi et al. \(2018\)](#) ajoutent qu'en intégrant la technologie dans ces espaces, la manière dont les élèves apprennent la science change notablement. [Bazán et Díaz \(2021, p. 18\)](#) synthétisent cette idée en affirmant que les laboratoires rendent possible « la résolution de problèmes, à partir de leurs expériences réelles, et permettent le perfectionnement des compétences scientifiques scolaires ».

Cependant, bien qu'il existe un consensus théorique parmi les chercheurs, il est indéniable qu'au Venezuela et dans certains pays, de nombreuses institutions rencontrent des obstacles significatifs à leur mise en œuvre. Ainsi, par exemple, il existe des établissements scolaires où il n'est pas possible de réaliser des expériences faute de disposer de laboratoires équipés. Des études comme celles de [Torres et Ayuso \(2025, p. 22\)](#), réalisées en République dominicaine, indiquent que :

50 % des élèves des établissements publics et 52 % des élèves des établissements sous contrat affirment avoir des niveaux de maîtrise faibles ou très faibles en ce qui concerne l'évaluation et la conception d'expériences. De même, 73 % des élèves des établissements publics et 70 % des élèves des établissements sous contrat indiquent que les expériences ne sont réalisées en classe que parfois ou jamais. Ainsi également, 53 % des élèves des établissements publics et 44 % des élèves des établissements sous contrat indiquent que la méthode scientifique n'est utilisée que parfois ou jamais en cours.

La même situation a été constatée en Colombie où, malgré des investissements, il persiste encore un manque de directives claires. [Ortiz et Cervantes \(2015, p. 16\)](#) tiennent l'État pour responsable : « on ne voit pas de politiques qui définissent, régulent, soutiennent et assurent le développement général des compétences scientifiques chez la population infantile dès son entrée dans le système formel d'éducation ». Ce fait n'a pas permis une généralisation des programmes et propositions qui ont été présentés, bien que des investissements en ressources aient été réalisés.

Dans le cas de l'Équateur, on soulève également « la nécessité de programmes de formation permettant de promouvoir la participation de l'enseignant de Sciences naturelles comme guide dans la préparation de l'élève vers un être plus indépendant dans la recherche et l'assimilation des connaissances scientifiques à travers l'expérimentation » ([Ramírez, 2023, p. 637](#)).

Paradoxalement, c'est l'inverse qui se produit : des installations existent, mais les enseignants ne développent pas de pratiques de laboratoire, privant ainsi les élèves de l'opportunité de valider leurs hypothèses, d'affiner leurs capacités d'observation et d'analyse, et d'apprendre de leurs propres erreurs ; autant d'aspects pertinents pour le développement des compétences scientifiques ([Osorio, 2022](#)).

Malgré cela, le problème ne réside pas seulement dans l'infrastructure et l'équipement des laboratoires. Certains enseignants adoptent des pratiques pédagogiques qui nuisent à un apprentissage significatif, accordant plus d'importance à la lecture de livres ou de matériels didactiques qu'à des situations où l'élève s'approprie les connaissances par la voie de l'expérimentation. En ce sens, [Ramírez \(2023, p. 634\)](#) affirme que chez ces enseignants « il y a une prédominance du développement des contenus, des connaissances et des termes par-dessus les activités expérientielles ». En accord avec cela, d'autres chercheurs ont mentionné que les enseignants mettent en œuvre peu d'activités en classe où les élèves participent à une argumentation authentique dans la classe de sciences ([Sampson & Blanchard, 2012](#) ; [Knight-Bardsley & McNeill, 2016](#)).

Ce comportement repose sur un rôle traditionnel et un apprentissage par mémorisation centré sur la répétition, sans possibilité de reconstruction du savoir et sans favoriser l'apprentissage des sciences naturelles ([Muñoz et Charro, 2023](#)). En conséquence, les cours tombent souvent dans l'ennui, un rôle passif de l'élève sans éveiller son intérêt ni favoriser l'utilité dans la vie quotidienne de ce qui est appris ([Sanmartí et Márquez, 2017](#)).

Ces comportements des enseignants laissent de côté les raisonnements scientifiques d'ordre supérieur comme le transfert, l'heuristique et l'argumentation, dimensions cognitives de l'apprentissage selon la taxonomie proposée par [Bloom et al. \(1956\)](#) et révisée par [Anderson et Krathwohl \(2001\)](#) et [Gallardo et al. \(2010\)](#).

Il arrive aussi que certains enseignants posent des questions aux élèves au lieu de les laisser poser leurs questions au professeur. Cette situation est contraire à ce que suggèrent les experts ([Martin-Hansen, 2002](#)). Mais cette investigation en classe est généralement de faible niveau ([Fay et al., 2007](#) ; [Tamir et García, 1992](#)). De plus, l'enseignant lui-même finit par répondre en se basant sur des contenus, ce qui fait que la question n'est pas investigable car il s'agit d'une investigation structurée et non d'une véritable investigation ([Ferrés, 2017](#)). Même lorsque les curriculums constructivistes sug-

gèrent que les contenus soient des instruments permettant de formuler une hypothèse qui oriente le processus de recherche (Domènech, 2014). Cela n'est pas facile à réaliser pour l'enseignant. Lombard et Schneider (2013) affirment que l'élaboration de questions est un processus interactif entre l'élève et l'enseignant, itératif, qui conduit de la vague à la complexité et à l'adéquation, et qui nécessite du temps.

Selon ce qui précède, l'expérimentation est une composante incontournable dans la formation scientifique de l'élève du secondaire. Cependant, en observant plus profondément la nature des apprentissages qui découlent généralement du développement d'activités expérimentales dans les pratiques de laboratoire, une distinction fondamentale émerge. Alors que l'acquisition de compétences de base — comme suivre un protocole ou un ensemble d'étapes pour réaliser une expérience en biologie, physique ou chimie, mesurer une variable ou manipuler un réactif — pendant la pratique de laboratoire apparaît de manière automatique, le développement des compétences scientifiques d'ordre supérieur (CSOS) présente un panorama moins clair d'un point de vue épistémologique.

Alors que certaines études centrent leur attention sur les compétences de base, d'autres aspects d'ordre supérieur sont négligés. À cet égard, il convient de mentionner que Coronado (2024) et Hernández et al. (2018) décrivent les expériences comme des espaces où les élèves confirment des hypothèses et développent des habitudes. Cependant, une telle caractérisation pourrait omettre le processus cognitif profond.

Lorsque les élèves réalisent des expériences dans le laboratoire de sciences naturelles, ils suivent attentivement les étapes correspondant à cette démarche analytique de l'expérience, ce qui implique la planification préalable de l'expérience, la conception, la sélection des matériaux et équipements nécessaires, ainsi que les normes de sécurité à respecter ; cela met en évidence la capacité de l'élève à résoudre des problèmes et à apprendre des concepts scientifiques validés dans son contexte (Coronado, 2024).

Malgré ce qui précède, réaliser une expérience de laboratoire est, comme le soutiennent Silva et Cáceres (2024), une manière de s'approcher du savoir scientifique, mais il convient de se demander : la confirmation d'une hypothèse est-elle un acte mécanique de vérification ou implique-t-elle un véritable exercice de confrontation et de réflexion ? De même, la conception d'une expérience émerge-t-elle de l'initiative et du raisonnement de l'élève ou est-elle guidée pas à pas par l'enseignant uniquement pour confirmer ce que l'on sait déjà au lieu de proposer de nouvelles perspectives et hypothèses scientifiques selon l'intérêt de l'élève ?

Indubitablement, ces questionnements ont d'autant plus d'importance si l'on considère ce que l'on entend par compétences scientifiques complexes. Des chercheurs comme Faicán et Manzano (2024, p. 100) estiment que « la pensée critique, la résolution de problèmes, les compétences cognitives et de communication, la capacité à formuler des hypothèses, l'expérimentation et l'interprétation » correspondent au cœur d'une compétence scientifique authentique et que celle-ci ne se développe généralement pas automatiquement par la seule réalisation d'activités expérimentales.

De plus, on pourrait considérer que, dans de nombreuses classes du secondaire, les expériences réalisées dans les laboratoires de sciences naturelles sont plutôt des activités purement procédurales

sans intention formative, au lieu d'être motivantes et utiles pour illustrer des concepts qui défient les élèves à penser comme des scientifiques. Comme l'a exposé [Ramírez \(2023\)](#), lorsqu'une approche traditionnelle centrée sur la répétition et le contenu prévaut, même les pratiques de laboratoire peuvent être utilisées pour suivre une logique de mémorisation ou de simple vérification, gaspillant ainsi leur potentiel épistémique.

Bien qu'il existe une grande quantité de littérature publiée concernant le rôle de l'expérimentation dans la formation des compétences de base chez les élèves, il subsiste encore un vide significatif dans la compréhension des mécanismes propres qui établissent un lien entre les activités expérimentales ou pratiques de laboratoire et le développement des CSOS chez les élèves du secondaire. Sans exagérer, certaines études visent à discerner ce qui est appris en laboratoire, mais ne dirigent pas leur attention sur la manière dont cet apprentissage complexe se produit chez les élèves. Il convient de mentionner qu'une telle distinction est de la plus haute importance lors de l'élaboration des conceptions curriculaires, du développement de plans de formation et de perfectionnement des enseignants en sciences naturelles, et de la proposition de stratégies didactiques pouvant être employées dans l'enseignement des sciences naturelles aux jeunes dans les établissements éducatifs.

En ce sens, le présent article a pour point central la question scientifique suivante : De quelle manière l'expérimentation, lorsqu'elle est réalisée dans le contexte de l'enseignement secondaire, contribue-t-elle réellement à la formation de compétences scientifiques d'ordre supérieur ? Le fil conducteur à suivre a pour centre d'opérations une revue systématique de la littérature publiée entre 2016 et 2026 ; il s'agit d'analyser les facteurs pédagogiques, contextuels et épistémologiques qui déterminent si une pratique de laboratoire devient un simple exercice procédural ou une authentique expérience d'investigation qui développe la pensée scientifique des élèves.

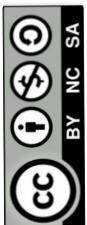
106

Méthodologie

Dans la recherche, une revue systématique de la littérature a été réalisée suivant les lignes directrices de la déclaration PRISMA 2020 ([Page et al., 2021](#)). La question de recherche qui a guidé la revue était : De quelle manière l'expérimentation dans l'enseignement secondaire contribue-t-elle à la formation de compétences scientifiques d'ordre supérieur (CSOS) ?

Stratégie de recherche. Des équations de recherche en anglais et en espagnol ont été élaborées en combinant des termes clés avec des opérateurs booléens (AND, OR) et des caractères génériques (*). Les concepts principaux étaient : **(a) population/contexte** : enseignement secondaire ; **(b) intervention/phénomène** : expérimentation ou pratiques de laboratoire ; **(c) résultat** : compétences scientifiques d'ordre supérieur (pensée critique, résolution de problèmes, formulation d'hypothèses, argumentation, investigation). Les équations ont été appliquées dans les bases de données *Scopus*, *Web of Science*, *ERIC*, *SciELO* et *Redalyc*, couvrant la période 2016-2026.

Critères d'inclusion et d'exclusion. Ont été inclus les articles empiriques (qualitatifs, quantitatifs ou mixtes), les revues systématiques et les essais contrôlés, publiés en anglais ou en espagnol, qui abordaient l'expérimentation au secondaire et sa relation avec les CSOS. Ont été exclus les éditoriaux, les comptes rendus d'ouvrages, les études centrées exclusivement sur l'enseignement primaire ou universitaire sans transférabilité explicite, et celles qui ne présentaient pas de données originales ou de

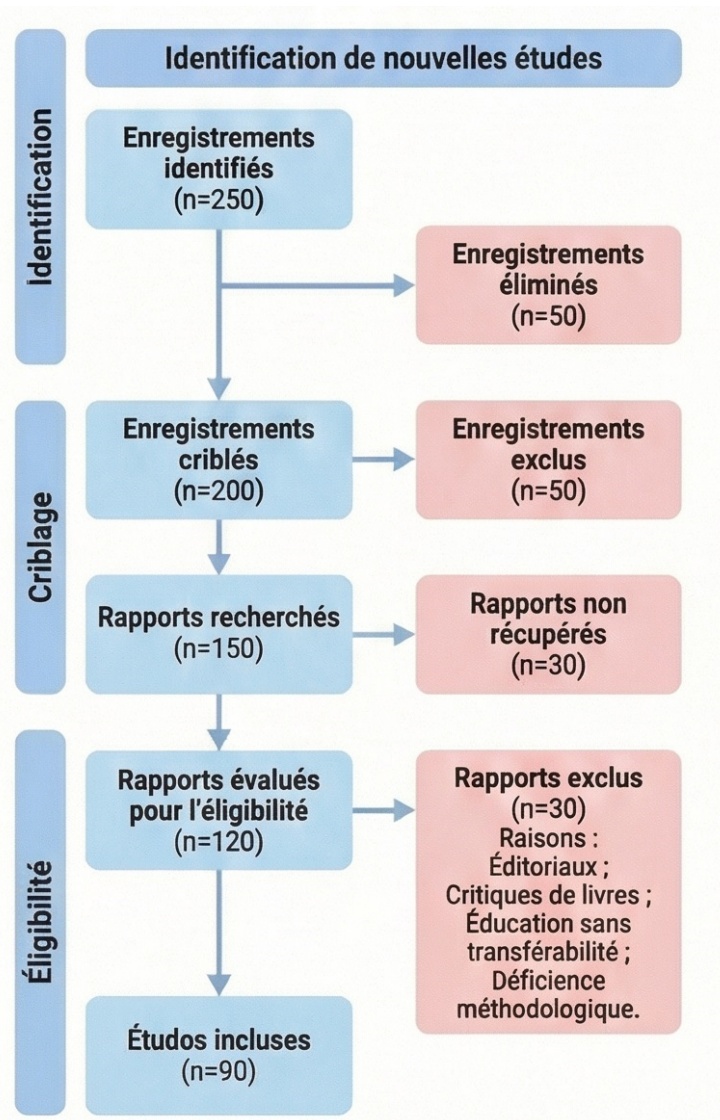


synthèse méthodologiquement explicite.

Processus de sélection et d'extraction des données. Deux réviseurs ont examiné indépendamment les titres et résumés (phase 1), puis les textes intégraux (phase 2). Les désaccords ont été résolus par consensus. De chaque étude incluse ont été extraits : auteur(s), année, pays, niveau éducatif, conception de recherche, type d'expérimentation (physique, virtuelle, mixte), CSOS évaluées, principaux résultats et limites. La qualité méthodologique a été évaluée à l'aide de l'outil MMAT (*Mixed Methods Appraisal Tool*) version 2018.

Synthèse des résultats. Pour la synthèse des résultats, une analyse thématique a été réalisée suivant les phases de Braun et Clarke (2006). Au total, 250 études ont satisfait aux critères d'inclusion et ont été soumises à l'analyse thématique. Les thèmes émergents sont présentés dans la section des résultats.

Diagramme PRISMA : Processus de sélection des études



Note : Escalona et Bless (2026). Élaboration personnelle.

Résultats et discussion

Catégorie 1 : Andamiaje (ou étayage) dans l'apprentissage de la recherche

Dans la communauté des chercheurs, l'étayage (*scaffolding*) est un construit d'une importance singulière lorsqu'il s'agit de soulever des questions scientifiques. Il ne s'agit pas d'offrir des réponses immédiates, mais de fournir les moyens pour la construction autonome du savoir. De notre perspective, nous proposons un exemple illustratif : dans une expérience de biologie sur la photosynthèse, l'enseignant peut modéliser la pensée et agir comme un miroir de raisonnement en provoquant le doute :

J'observe que des bulles sortent de la branche d'Elodea à travers le tube à essai qui se trouve dans la cuve avec de l'eau. Que se passera-t-il si je rapproche la lampe de la cuve en verre ? L'enseignant peut aussi amener l'élève à connecter des variables : Si l'oxygène est un produit de la photosynthèse, alors la vitesse à laquelle ces bulles sont produites indique-t-elle la vitesse de production de la plante ?

De même, l'enseignant peut suggérer la mesure : Les enfants, comment pensez-vous que c'est la lumière et non la chaleur de la lampe qui contrôle le résultat ? Que pensez-vous que nous pouvons garder fixe ?

L'enseignant peut également employer une autre variante courante comme « faire puis réfléchir sur ce qui s'est passé » (Strat et al., 2023). Dans ce type d'expérience, l'élève travaille de manière collaborative et active. On a constaté que, sous cette méthodologie, les élèves acquièrent des connaissances ainsi que des compétences clés. Cependant, l'essentiel est le soutien motivationnel que l'enseignant apporte à l'élève pour réussir l'expérience. Les études indiquent qu'il existe une corrélation positive entre le soutien motivationnel de l'enseignant et les expressions de motivation des élèves (Adler et al., 2018). Bien que, également, Zhang et Cobern (2020) aient mentionné qu'il est important de mettre le contenu scientifique à la disposition des élèves. La raison est qu'il n'est pas toujours facile pour les élèves de développer des activités basées sur la recherche sans qu'elles soient liées à des concepts scientifiques (Rönnebeck et al., 2016).

Catégorie 2. Enseignement scientifique à partir des résultats d'études internationales

Diverses publications mentionnent que, dans de nombreux systèmes éducatifs, on défend un enseignement scientifique mettant l'accent sur la recherche, mais les études basées sur des évaluations internationales à grande échelle montrent souvent que la recherche est associée négativement aux résultats. Aditomo et Klieme (2020) montrent une association positive de la recherche entre les résultats et l'orientation enseignante. L'étude menée auprès de 151 721 élèves indique que les analyses factorielles confirmatoires multigroupes confirment en outre qu'on ne peut pas établir l'invariance de mesure, ce qui suggère une variation régionale substantielle dans le modèle d'enseignement basé sur la recherche.

De même, Aditomo et Klieme (2020) soulignent qu'au niveau conceptuel, de nombreuses régions présentent un schéma contrastable entre « recherche guidée » et « recherche indépendante ». La recherche est associée positivement aux résultats lorsqu'elle intègre l'orientation enseignante et négativement

tivement lorsqu'elle ne l'intègre pas. Cependant, la force des associations positives est plus forte dans les régions où la recherche guidée est mesurée avec moins d'items se référant à des activités centrées sur les élèves. Ces résultats correspondent à ce que proposent les théories actuelles sur le rôle de l'étayage dans l'apprentissage de la recherche.

D'autres recherches internationales révèlent que, dans l'enseignement des sciences expérimentales, un aspect fondamental à considérer est la formation didactique des enseignants. Dans cette perspective, [Ríos \(2021\)](#) soulève la nécessité de prendre en compte la réalité onto-épistémologique et gnoséologique de la science à enseigner sans négliger l'articulation avec la philosophie des sciences et la méthodologie à partir du réalisme éthique ([Quijano et al., 2022](#)). Depuis les deux dernières décennies du XXe siècle, un tournant épistémologique s'est produit dans la didactique des sciences : on est passé d'un positivisme à une conception où l'enseignant doit adopter des positions face aux phénomènes de la réalité, c'est-à-dire envisager les répercussions de l'incidence de la recherche scientifique sur ceux-ci et prendre des décisions « socio-scientifiques » à cet égard ([Adúriz et Ariza, 2012](#)). Les propositions formulées représentent le passage de procédures logico-positivistes à un humanisme civique ([De Hoyos, 2020](#)).

La situation ainsi posée ouvre la voie à la nécessité (et en même temps à la difficulté) pour la philosophie des sciences et les métasciences, conjointement avec les sciences expérimentales, de laisser de côté cette méfiance réciproque car on perd quelque chose de fondamental lorsque l'on ignore l'autre. En ce sens, la collaboration entre scientifiques des métasciences et des sciences objets d'actions disciplinaires est nécessaire. Néanmoins, un tel rapprochement n'est pas facile à réaliser. D'une part, certains philosophes méprisent le travail de laboratoire. Pour eux, savoir ce qu'étudient les scientifiques ou la manière dont ils le font n'est pas important. Dès lors, cette praxis scientifique n'est pas pertinente. C'est peut-être pour cette raison que leur processus eidétique est uniquement mental, avec un degré d'abstraction dont la base sont les idées, et les théories construites sont déconnectées de la réalité empirique.

De l'autre côté, se trouvent les scientifiques des sciences expérimentales qui minimisent les bénéfices que représente la philosophie dans un contexte dominé par l'hyper-spécialisation. Or, de notre point de vue, le problème que cela pose pour les professeurs de sciences expérimentales est de se ranger d'un côté ou de l'autre de ces extrêmes décrits. Par conséquent, le défi pour les enseignants du secondaire en sciences naturelles n'est pas seulement de choisir entre des méthodes de recherche guidées ou indépendantes, mais aussi de surmonter la fausse dichotomie entre philosophie et pratique scientifique.

Logiquement, il est nécessaire de penser à la formation de compétences scientifiques d'ordre supérieur telles que la pensée critique, la modélisation ou l'argumentation. Pour cela, il faut partir d'une approche intégratrice qui combine la rigueur expérimentale avec la réflexion épistémologique. Autrement dit, les enseignants doivent être capables de concevoir des expériences d'apprentissage où les élèves non seulement manipulent des variables, mais aussi interrogent la nature du savoir scientifique, ses méthodes et ses implications sociales. Ce n'est qu'ainsi que l'on pourra progresser vers une éducation scientifique qui forme des citoyens capables de participer à des débats socio-scientifiques avec une compréhension profonde et contextualisée de la science.

Catégorie 3. Résolution de problèmes à partir d'expériences individuelles collaboratives

Il existe différentes recherches qui soutiennent que la compétence à résoudre des problèmes revêt une grande importance tant sur le plan académique que professionnel. En fait, une question récurrente dans les cours de sciences naturelles, d'après notre expérience avec les jeunes du secondaire et même à l'université, est celle-ci : « À quoi ce contenu nous sert-il dans la vie réelle ? » « Quelle utilité a-t-il dans les choses que nous faisons dans notre vie ? » Ces deux questions déséquilibrent toujours la planification des unités didactiques des enseignants et génèrent, dans certains cas, des réponses peu satisfaisantes pour les jeunes ; pour les enseignants, elles suscitent un regard critique sur le curriculum proposé par les ministères de l'éducation.

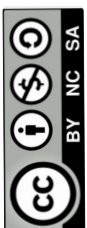
Les jeunes établissent toujours des liens entre ces connaissances et leur monde vécu. Cependant, les contenus sont fragmentés et expliqués depuis le point de vue des disciplines. Les enseignants contextualisent rarement et accordent peu d'importance au questionnement et aux implications des contenus. Bien que les fondements épistémologiques des conceptions curriculaires contiennent des aspects sur l'apprentissage significatif et le constructivisme en classe, ces aspects restent dans le document officiel et les enseignants assument le rôle de transmission et de reproduction du savoir comme axe central, laissant de côté le regard critique et la participation des élèves, les transformant en entités passives de leur processus d'apprentissage.

110

Ce scénario décrit suggère la nécessité d'un changement. Aux États-Unis, on a soutenu qu'un programme d'excellence nécessite « un enseignement efficace qui implique les élèves dans leur apprentissage significatif à travers des expériences individuelles et collaboratives » (National Council of Teachers of Mathematics, 2014 cité par [Koskinen & Pitkäniemi, 2022, p. 2](#)). Le fait d'isoler la connaissance au seul domaine de la science fait que l'élève ne comprend pas la relation que celle-ci entretient avec son monde vécu et encore moins qu'il développe la compétence de raisonnement. [Cruz \(2021, p. 55\)](#) expose que « les enseignants doivent être capables de créer des pratiques innovantes dans l'enseignement ». De même, [Cruz et Cabero \(2020\)](#) suggèrent qu'une des voies pour parvenir à cet apprentissage significatif est la résolution de problèmes. Grâce à celle-ci, la créativité est mise en œuvre dans l'apprentissage de manière active, personnalisée et dynamique. Mais pas seulement cela, les élèves deviennent également des agents actifs de l'apprentissage, prennent des décisions et cessent d'être des entités reproductrices de connaissances.

Dès lors, que faut-il faire pour mettre en œuvre un enseignement fondé sur la résolution de problèmes de manière efficace en sciences naturelles ? De notre point de vue, nous croyons qu'une façon serait de prêter attention à ce que suggèrent certains documents comme le Programme International pour le Suivi des Acquis des Élèves (PISA). Un examen de ce document nous permet de faire quelques considérations importantes concernant l'enseignement des sciences.

Au niveau 2, c'est-à-dire celui où les élèves sont capables de reconnaître l'explication correcte de phénomènes scientifiques familiers et peuvent utiliser cette connaissance pour identifier, dans des cas simples, si une conclusion est valide en fonction des données fournies, nous constatons que la situation

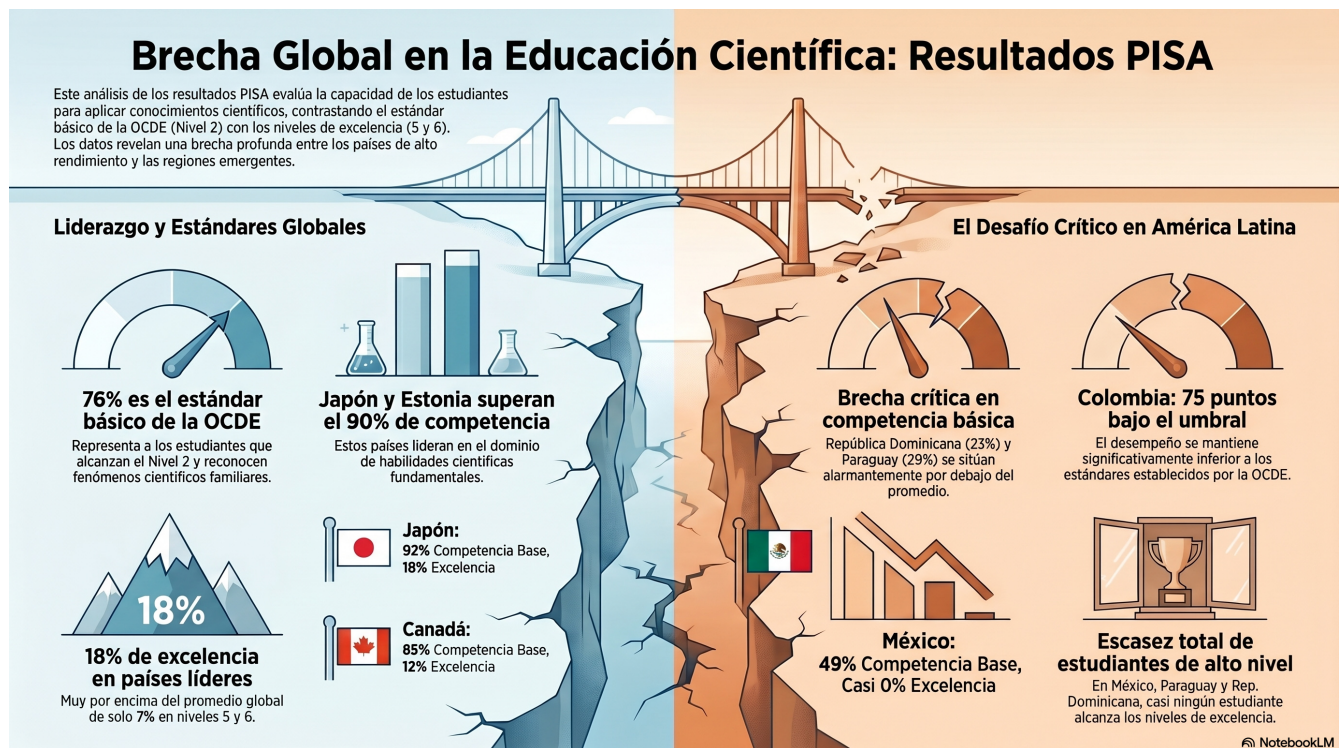


est très préoccupante dans des pays comme la Colombie, qui se situe parmi les moins performants, environ 75 points en dessous du seuil établi par l'OCDE (2019) ; l'Argentine n'atteint que 46 % de ses élèves, le Brésil 45 %, la République dominicaine 23 %, le Mexique 49 %, le Pérou 47 %, le Panama 38 %, le Paraguay 29 %, par rapport aux 76 % en moyenne de l'OCDE. Cependant, la Turquie atteint 75 %, les États-Unis 78 %, le Vietnam 79 %, le Canada 85 %, la Corée 86 %, l'Estonie 90 % et le Japon 92 %.

En ce qui concerne les niveaux 5 ou 6, où les élèves peuvent appliquer de manière créative et autonome leurs connaissances de et sur la science à une grande variété de situations, y compris inconnues, la moyenne de l'OCDE est de 7 % ; le Brésil, le Panama et le Pérou n'atteignent que 1 % ; la Colombie n'apparaît pas ; le Chili 2 % ; la République dominicaine, le Mexique, le Paraguay n'ont pratiquement aucun élève ayant obtenu les meilleurs résultats en sciences. L'infographie suivante nous permet d'illustrer ce que nous avançons.

Figure 1

Résultats de PISA



Note : Élaboré sur NotebookLM à partir des données de Lerma et al. (2023), OCDE (2018, 2023) et PISA 2022. Infographie basée sur les résultats PISA 2022. Les données sont universelles et l'infographie est en espagnol, mais leur compréhension est immédiate : 76 % des élèves globaux atteignent le niveau 2 (compétence de base) ; seulement 7 % atteignent les niveaux 5 ou 6 (excellence). Japon : 92 % (niveau 2+) et 18 % (excellence) ; Canada : 85 % et 12 % ; Mexique : 49 % et 0 % ; Colombie : 75 points sous le seuil de l'OCDE ; République dominicaine : 23 % ; Paraguay : 29 %.

Catégorie 4. Concevoir, faire et tester comme un tournant vers l'apprentissage actif et la matérialisation du savoir

L'un des aspects importants qui se produisent dans l'enseignement des sciences naturelles est de favoriser l'opportunité de concevoir, faire et tester. Cela implique de dépasser l'observation ou la vérification d'hypothèses et de parcourir le processus de construction du savoir. Ce principe plonge ses racines dans la culture maker et dans les méthodologies actives STEM. Lidueña et [Alcocer \(2025, p. 311\)](#) soutiennent que la culture maker est centrée sur la créativité, « la collaboration et la résolution de problèmes réels, non seulement améliorent les performances académiques, mais promeuvent également l'équité éducative et le développement de compétences essentielles pour le XXI^e siècle ».

Logiquement, ces compétences scientifiques sont d'ordre supérieur et l'on peut y mentionner la créativité, la résolution de problèmes complexes et la pensée critique parce que les élèves sont architectes de leur propre expérience ou conception. Laisser la pratique enseignante se dérouler de cette manière signifie passer d'une pratique de laboratoire structurée qui se développe souvent en suivant une démarche analytique et en enregistrant chaque expérience dans un manuel ou un guide de laboratoire, c'est-à-dire en suivant simplement un script prédéfini. Cependant, « concevoir, faire et tester » implique un cycle itératif d'idéation, de construction, d'erreur, de réflexion et de reconception.

[Domínguez \(2023\)](#) affirme que la culture maker part de l'idée qui se formalise par « fais-le toi-même » et « fais-le avec d'autres ». Épistémologiquement, le savoir est alors vu comme une construction, ce qui le relie au constructionnisme, une théorie de l'apprentissage proposée par Seymour Papert. Or, dans ce processus de construction collective, interviennent les réseaux sociaux, réels ou virtuels, pour partager le savoir créé. La plupart des gens accèdent souvent à ces réseaux où ils trouvent du soutien ou de l'orientation. Ce qui est intéressant, c'est que le savoir créé est ensuite laissé ouvert pour être accessible à d'autres personnes et que de meilleures solutions puissent être trouvées ([Domínguez, 2021](#)). [Morales et Dutrénit \(2017\)](#) synthétisent en disant que le mouvement Maker est impliqué dans les processus de génération, de transfert et d'utilisation du savoir.

Précisément, une étude qui matérialise cette philosophie de la culture maker a été réalisée par [Zulfa et Adam \(2025\)](#) en Indonésie auprès d'élèves du secondaire ; ils ont mis en œuvre l'apprentissage par projet intégré aux STEM (PjBL-STEM) à travers l'enseignement de la chimie, dans les contenus d'électrochimie. Ces chercheurs ont amélioré les résultats d'apprentissage et développé des compétences de pensée d'ordre supérieur (analyse, synthèse et évaluation, étapes cognitives clés qui les ont conduits à une compréhension holistique). Au-delà des expériences, ils ont conçu et réalisé des projets authentiques, où le « faire » était guidé par une question ou un problème réel qui a permis l'intégration de l'ingénierie et de la technologie dans la conception expérimentale comme un véhicule puissant pour la pensée complexe. Avec ce projet, il est devenu clair qu'on n'a pas besoin d'un laboratoire coûteux et spécialisé, mais que lorsqu'on conçoit, on peut reconfigurer des objets familiers à des fins scientifiques. Ce fait permet aux élèves de comprendre des concepts et des principes physiques avec plus de profondeur qu'un appareil ou un équipement de laboratoire ne le permettrait.

Dans la même perspective, récemment à l'Université de Malaya, on a intégré la conception à l'action, mais depuis l'innovation sociale et l'accessibilité dans le projet « *Toying with Science* ». À travers l'expérience, les élèves ont participé à la co-création de modules d'apprentissage. Finalement, la stratégie employée a permis d'éveiller l'intérêt pour les disciplines STEM et a facilité l'assimilation de compé-

tences transférables essentielles telles que la persévérance, la pensée critique, la créativité et le travail d'équipe (Universiti Malaya, 2025).

Dans la ligne de discussion ainsi tracée, la dimension technologique offre également de nouvelles possibilités dans le cycle « concevoir, faire et tester », surtout si les ressources physiques sont limitées. Des recherches menées au Nigeria mentionnent l'impact des laboratoires virtuels en biologie, chimie et physique chez des élèves du secondaire. Les résultats confirment des différences significatives dans les compétences de résolution de problèmes entre les élèves ayant utilisé des simulations virtuelles par rapport à ceux ayant reçu un enseignement traditionnel (St. Clair et al., 2024). De même, les élèves sont capables de modifier des variables, de concevoir de nouveaux paramètres et de tester des hypothèses dans des environnements simulés de manière itérative, développant ainsi la capacité de raisonnement scientifique sans la barrière de la disponibilité des intrants physiques. Cependant, l'expérience tactile ne doit pas être complètement substituée, mais plutôt être complémentaire. De même, un étayage est nécessaire pour guider la pensée des élèves.

Catégorie 5. La formation en STEM ou STEAM

Dans cette catégorie, selon les recherches trouvées, nous nous concentrons sur les stratégies didactiques et les environnements technologiques pour le développement des CSOS. Ces stratégies relèvent de l'étayage et de la médiation technologique et permettent de parvenir à une expérimentation réflexive d'ordre supérieur, c'est-à-dire qu'on va au-delà de l'expérimentation procédurale ou de la manipulation d'instruments basée sur des recettes (St. Clair et al., 2024).

Dans le cas des pays où l'infrastructure physique est limitée, comme déjà mentionné dans les paragraphes précédents, ainsi que dans les cas où il existe des lacunes dans la formation des enseignants (comme en Colombie et en Équateur), un tournant épistémologique dans l'enseignement des sciences naturelles est nécessaire. Ou encore dans des situations comme celle vécue pendant la pandémie de COVID-19, où les élèves ne pouvaient pas assister à leurs cours et où des laboratoires virtuels ont été mis en place (Gamage et al., 2020), il ne faut pas les considérer comme un substitut mais plutôt comme un environnement précieux pour la modélisation scientifique et le raisonnement basé sur des preuves (Solbes et al., 2025).

De leur côté, Meronda et al. (2025, p. 2020) soutiennent que : « Les laboratoires virtuels sont apparus comme une innovation significative dans l'éducation scientifique, enrichissant les expériences d'apprentissage, approfondissant la compréhension conceptuelle et fournissant un accès plus flexible et plus sûr aux expériences ». Il est important de mentionner que ces outils technologiques permettent à l'élève de se concentrer sur l'argumentation scientifique et sur la prise de décisions critiques dans le cas de données inattendues, des compétences qui définissent le citoyen alphabétisé scientifiquement au XXI^e siècle.

Raman et al. (2022) et Zhang et al. (2024) mentionnent que ces laboratoires sont des solutions efficaces pour les défis de l'apprentissage moderne. Tandis que Chen et Wang (2023) soutiennent qu'ils favorisent la motivation, l'enthousiasme et la créativité chez les élèves. Bazie et al. (2024), en se référant aux laboratoires virtuels, affirment que dans les cours pratiques de chimie, ils offrent des simulations électroniques qui reproduisent des expériences de laboratoire réelles.

Des études récentes confirment qu'à l'heure actuelle, il existe une transition des modes traditionnels vers les modes en ligne, facilitée par des simulations interactives (Vo & Simmie, 2025). Ainsi, le défi



pour les enseignants consiste à transformer le laboratoire en un espace d'investigation explicite, où l'erreur et la résistance des matériaux deviennent le moteur de la pensée critique et non un obstacle à l'apprentissage.

De notre perspective, nous considérons qu'il est nécessaire de former les élèves à évaluer la validité des affirmations. Le laboratoire du secondaire est l'endroit idéal pour pratiquer cette alphabétisation scientifique médiatique. En concevant leurs propres expériences, les élèves apprennent à identifier les biais, à contrôler des variables et à comprendre que la science n'offre pas de vérités absolues mais des conclusions étayées par des preuves. Ce processus élève l'activité d'une compétence de bas niveau (mémorisation d'étapes) à une compétence d'ordre supérieur (évaluation et synthèse). Le principal obstacle épistémologique qui se présente souvent dans l'enseignement secondaire est que certains enseignants sont très à l'aise avec les laboratoires de confirmation (dont le résultat est déjà connu), mais éprouvent de la peur face à l'incertitude d'un laboratoire ouvert basé sur des problèmes.

Catégorie 6. La contextualisation de l'apprentissage

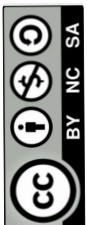
Il y a quelques années à Hong Kong, bien que ce soit un pionnier dans les résultats PISA, plusieurs réformes curriculaires ont eu lieu parce que, comme l'a exprimé Kwok (2018, p. 533) : « Nos élèves réussissent aux examens, mais ne savent pas à quel point la science et les mathématiques sont pertinentes pour leur vie ». Cette expression conduit à une réflexion de grande valeur : comment envisager le développement d'un apprentissage significatif et accessible à tous les élèves, surtout dans l'enseignement secondaire ? La voie n'est autre que la contextualisation de l'apprentissage.

114 À cet égard, Hüfner et al. (2025, p. 1) soutiennent que « l'enseignement scientifique basé sur le contexte (CBSE) a joué un rôle central dans la réorientation de la culture scientifique pour tous les élèves ». Or, l'idée d'utiliser le contexte comme point d'appui pour la finalité pédagogique considère que les contenus sont connectés aux phénomènes quotidiens, aux problèmes sociaux et aux expériences antérieures des élèves.

Dans cet ordre d'idées, Fayzullina et al. (2023, p. 2) affirment que « l'apprentissage basé sur le contexte est devenu une stratégie éducative de pointe qui cherche à combler le fossé entre les concepts scientifiques théoriques et leurs applications dans le monde réel ». De plus, l'apprentissage basé sur le contexte est largement valorisé pour l'éducation dans la communauté scientifique (Sevian et al., 2018). De même, les études indiquent que le contexte, en tant qu'environnement d'apprentissage et de construction sociale, est soutenu par des interactions continues (AlabdulRazzak et al., 2018).

Dans l'enseignement des sciences, l'apprentissage basé sur le contexte est reconnu comme une méthode prometteuse (Nagarajan & Overton, 2019). Mais, au-delà de cela, on parle de curriculums scientifiques basés sur le contexte (Fensham, 2009). En ce sens, la contextualisation rend possible que les contenus cessent d'être complexes et deviennent un pont entre l'apprentissage scolaire et la vie réelle ; logiquement, cela éveille l'intérêt des élèves et facilite la compréhension de la science (Aydin-Ceran, 2021).

Dans ce système, on commence par un contexte socioculturel familier à l'élève, chaque concept est enseigné à partir de là, mais l'efficacité du processus se reflète lorsque l'élève est capable d'associer les concepts enseignés à d'autres contextes plus complexes (Aydin-Ceran, 2018 ; DeGirolamo et al., 2024). Cette situation fait surgir un « besoin de savoir » pour expliquer les phénomènes scientifiques



étudiés. Pour cette raison, il est nécessaire de connaître les concepts et les principes sous-jacents pour clarifier les questions déclenchées par le contexte. Cela amène les élèves à s'engager dans leur propre processus d'apprentissage (Vogelzang & Admiraal, 2017). Les études montrent que les élèves connectent les connaissances académiques à la vie quotidienne à travers des applications pratiques (Demelash et al., 2024).

Dans le cas des élèves du secondaire, de notre point de vue disciplinaire, la biologie, la physique et la chimie se présentent comme des domaines fertiles pour l'apprentissage basé sur les contextes car il existe de nombreux phénomènes du monde réel en lien avec les contenus des conceptions curriculaires. Par exemple, en biologie, on peut contextualiser la réalisation d'expériences de laboratoire avec des problématiques comme la résistance aux antibiotiques, la biodiversité de l'environnement proche où vivent les élèves. On peut également considérer les changements qui se produisent dans les écosystèmes locaux ; cela servirait à ce que les élèves formulent des hypothèses basées sur des observations authentiques, conçoivent de petits échantillonnages et argumentent en utilisant des preuves écologiques et physiologiques. En ce qui concerne la physique, on peut travailler avec des contextes comme l'efficacité énergétique dans le foyer, la sécurité routière. De même, on peut réaliser des conceptions de dispositifs technologiques simples qui transforment la mesure de variables et l'application de lois physiques en un exercice de modélisation et de prise de décisions fondées.

De manière similaire, en chimie, il est possible de contextualiser à travers l'analyse de la qualité de l'eau, la composition des aliments ou les processus de recyclage ; cela pousse les élèves à connecter des concepts abstraits à des pratiques d'investigation qui exigent une pensée critique et de la créativité. Dans tous les cas, la contextualisation ne s'épuise pas dans une anecdote initiale ; son potentiel formatif se déploie lorsqu'elle devient l'axe structurant de toute la séquence didactique, en promouvant des processus d'investigation qui exigent non seulement l'application de procédures, mais aussi la formulation de questions pertinentes, l'évaluation des preuves et la construction d'arguments à base scientifique.

Ce sont précisément ces derniers qui constituent le cœur des CSOS. Par conséquent, la contextualisation n'est pas un ornement pédagogique ; elle est plutôt un étayage épistémique qui donne du sens à la pratique expérimentale et mobilise des processus cognitifs complexes, indispensables pour former des citoyens capables d'intervenir critiqueusement dans leur réalité. Ainsi, d'un point de vue théorique, l'apprentissage situé constitue l'un des cadres qui fondent la contextualisation. Ojo (2025), en recherchant l'enseignement de concepts de génétique dans l'enseignement secondaire au Nigeria, a employé cette théorie pour démontrer que lorsque les contenus scientifiques sont abordés dans des contextes authentiques et liés à des controverses socioscientifiques (comme le clonage reproductif ou la modification génétique), les élèves développent des attitudes plus positives envers des concepts traditionnellement abstraits ou distants.

Catégorie 7. La nécessité d'offrir des espaces d'échange et de réflexion pour rendre visible la pensée

La nécessité d'offrir des espaces d'échange et de réflexion pour rendre visible la pensée constitue une catégorie fondamentale dans la formation des CSOS dans l'enseignement secondaire. Comme le soulignent García et Moreno (2019, p. 149), il est prioritaire de « mettre en œuvre des pratiques expérimentales en classe, surtout au niveau de l'éducation de base, où les compétences de curiosité et d'observation se configurent comme un élément clé dans l'articulation du biologique et du social ».



Ces pratiques à développer, selon le Projet Zéro de l'Université de Harvard, ont leur fondement dans « une routine de pensée appelée je pense-je demande-j'explore, qui amène les élèves à partager ce qu'ils pensent d'un sujet, à identifier des questions qui les intriguent et à indiquer des directions à explorer » (Ritchhart et Perkins, 2008, p. 57).

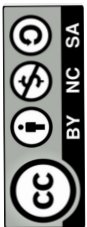
Bien que cette pensée se développe dans l'esprit de la personne et soit invisible pour elle-même et pour les autres, elle s'externalise lorsque le penseur manifeste ses idées par la parole, l'écriture, le dessin ou d'autres moyens, permettant ainsi de diriger et d'améliorer ses propres processus cognitifs. Cependant, cette externalisation n'est pas un simple exercice de communication, mais une condition épistémique pour le développement de la pensée critique et de la métacognition.

Des travaux de recherche récents ont confirmé que la création délibérée d'espaces dialogiques dans la classe de sciences renforce significativement les compétences d'ordre supérieur. Wijesekera & Ha-meed (2025), dans une étude d'intervention dans des classes de sciences et d'instruction en anglais moyen au Sri Lanka, où prédomine traditionnellement l'apprentissage par mémorisation orienté vers les examens qui limite la pensée critique et l'engagement cognitif significatif, ont mis en œuvre deux stratégies spécifiques : l'interrogation « Que se passerait-il si... ? » (*What If*) et l'observation avec des questions « Je remarque et je me demande... » (*Notice and Wonder*) au sein de groupes collaboratifs. Les résultats ont montré une amélioration substantielle de la pensée d'ordre supérieur : la pensée critique, la capacité de résolution de problèmes et l'engagement cognitif profond des élèves. De plus, on a observé une plus grande curiosité et disposition à aborder des concepts scientifiques complexes, même dans des contextes où la langue d'instruction (l'anglais) représentait une barrière supplémentaire.

116

Dans cette catégorie analytique, un élément important qui a émergé de la bibliographie examinée est que l'étayage discursif est fondamental pour que ces espaces d'échange soient efficaces. Une étude sur les effets de l'approche d'enseignement basée sur l'argumentation sur la disposition à la pensée critique et les compétences argumentatives des élèves, ainsi que sur la relation entre les compétences argumentatives et la disposition à la pensée critique chez des élèves du secondaire en Turquie (Meral et al., 2021).

Le travail cité a démontré que : (a) *L'enseignement basé sur l'argumentation améliore la disposition à la pensée critique.* Ce fait est fondamental de notre perspective car il ne suffit pas que les élèves aient des compétences, il faut aussi qu'ils aient la disposition à les utiliser. La disposition à la pensée critique est une condition préalable pour que les CSOS s'activent. « L'approche d'enseignement basée sur l'argumentation a eu un effet positif sur la disposition à la pensée critique des élèves » (Meral et al., 2021, p. 17). (b) *L'argumentation n'est pas spontanée* : elle nécessite une pratique explicite et soutenue. Nous avons déjà indiqué dans cet article que de nombreux enseignants supposent que l'expérimentation développe automatiquement les CSOS. Cette étude démontre que, sans un étayage délibéré (comme les routines d'argumentation), les élèves restent à des niveaux bas. (c) *L'argumentation prédit la pensée critique.* Nous considérons que, si l'expérimentation est accompagnée d'activités argumentatives comme concevoir, faire, tester, STEM, on peut renforcer les CSOS. De plus, comme il a été mis en évidence : « Les compétences argumentatives expliquaient 34 % de la variation de la disposition à la pensée critique » (Meral et al., 2021, p. 17). Cela signifie que travailler l'argumentation a un impact direct et mesurable sur la pensée critique.



Conclusions

Tout au long de cette revue systématique, il a été possible de mettre en évidence que l'expérimentation dans l'enseignement secondaire, bien qu'elle constitue une composante incontournable de la formation scientifique des élèves, ne suffit pas à elle seule à développer les compétences scientifiques d'ordre supérieur (CSOS). Les pratiques de laboratoire traditionnelles, souvent centrées sur la vérification d'hypothèses et le suivi strict de protocoles, tendent à favoriser des compétences de base comme la manipulation d'instruments ou la mesure de variables, mais laissent au second plan des processus cognitifs complexes tels que la pensée critique, l'argumentation fondée ou la résolution créative de problèmes. Ce constat invite à dépasser l'idée que le simple fait de réaliser des expériences garantit automatiquement un apprentissage profond et significatif.

On conclut également que le rôle de l'enseignant dans ce contexte est un facteur déterminant pour que l'expérimentation atteigne son véritable potentiel épistémique. Il ne suffit pas que les élèves suivent des instructions ou confirment des résultats attendus ; un étayage explicite de la part de l'enseignant est nécessaire, incluant la modélisation de la pensée scientifique, la formulation de questions investigables, la connexion entre variables et un soutien motivationnel soutenu. Les résultats examinés s'accordent sur le fait que l'orientation pédagogique délibérée transforme une activité purement procédurale en une authentique expérience d'investigation, où l'erreur se transforme en opportunité d'apprentissage et la curiosité en moteur de la connaissance.

De même, on a identifié que la contextualisation de l'apprentissage et l'adoption d'approches telles que la culture maker ou les méthodologies STEM et STEAM renforcent significativement le développement des CSOS. Lorsque les expériences sont liées à des problèmes réels de l'environnement des élèves, à des situations quotidiennes ou à des défis sociaux authentiques, la science cesse d'être un ensemble de concepts abstraits pour devenir un outil vivant d'interprétation et de transformation de la réalité. Le cycle concevoir, construire et tester, caractéristique du mouvement maker, favorise une pensée itérative, créative et collaborative qui est difficilement atteinte avec les pratiques de laboratoire conventionnelles.

On conclut également qu'il existe une relation étroite entre l'argumentation et la pensée critique. Les études analysées démontrent que l'enseignement explicite de l'argumentation scientifique non seulement améliore la capacité des élèves à étayer leurs affirmations par des preuves, mais explique une partie substantielle de la variation de la disposition à la pensée critique. Cela signifie que favoriser des espaces d'échange dialogique, des routines de questions comme « que se passerait-il si... ? » ou des stratégies d'observation réflexive ne sont pas des activités complémentaires, mais des composantes centrales de toute proposition didactique qui aspire à former des citoyens scientifiquement alphabétisés.

Enfin, il devient évident que, malgré le consensus théorique sur les bénéfices de l'expérimentation, persistent d'importantes lacunes structurelles et formatives en Amérique latine qui limitent son impact. Le manque de laboratoires équipés, les difficultés de connectivité et, surtout, la faible formation des enseignants aux approches d'investigation et d'argumentation maintiennent de nombreuses classes ancrées dans des pratiques traditionnelles centrées sur la répétition et le contenu. Surmonter ces limitations nécessite non seulement un investissement dans l'infrastructure, mais aussi un changement profond dans la formation initiale et continue des enseignants de sciences naturelles, afin que l'expérimentation devienne réellement un vecteur de développement des compétences scientifiques d'ordre supérieur et non un simple exercice de vérification.

Confidentialité : Non applicable.

Financiamiento : Ce travail n'a reçu aucun type de financement.

Conflit d'intérêts : Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Déclaration sur l'utilisation de l'intelligence artificielle : Les auteurs du présent article déclarent qu'ils n'ont pas employé d'intelligence artificielle dans son élaboration, sauf pour la figure 1 de l'article.

Déclaration de contribution des auteurs (CRediT)

Auteur	Rôle joué
OEV	Rédaction, révision et édition. rédaction, brouillon original, supervision et conceptualisation.
VBG	Ressources, gestion de projet, recherche, curation des données.

Références

Aditomo, A. & Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: evidence from high and low-performing education systems. *Journal of Science Education*, 42(4), 504-525. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1716093>

Adler, I., Schwartz, L., Madjar, N. & Zion, M. (2018). Reading between the lines: The effect of contextual factors on student motivation throughout an open inquiry process. *Science Education*, 102(4), 820-855. <https://doi.org/10.1002/sce.21445>

118

Adúriz, B. A. et Ariza, Y. (2012). Importancia de la Filosofía y de la Historia de la Ciencia en la enseñanza y en el aprendizaje de las Ciencias. In: Monroy, Z., León, S. R., Álvarez, D. de L. (org.). *Enseñanza de la ciencia*. Universidad Nacional Autónoma de México p. 79 – 92.

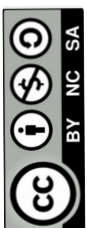
Alabdul Razzak, M., Al-Kwif, O. S. & Ahmed, Z. U. (2018). Rapid alignment of resources and capabilities in time-bound networks: A theoretical proposition. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 19(4), 273-287.

Ambusaidi, A., Al Musawi, A., Al-Balushi, S. & Al-Balushi, K. (2018). The Impact of virtual lab learning experiences on 9th grade students' achievement and their attitudes towards science and learning by virtual lab. *Journal of Turkish Science Education*, 15(2), 13-29. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1313744#:~:text=The%20results%20indicate%20that%20the,develop%20effective%20learning%20of%20science.>

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. MA (Pearson Education Group).

Aydin Ceran, S. (2018). *The effects of 5e models supported life-based contexts on the conceptual understanding level and scientific process skills* (Doctoral dissertation, Doctoral dissertation). Gazi University, Ankara. Retrieved From <https://tez.yok.gov.tr>

Bazán, A. y Diaz, L. (2021). *Consecuencias de la falta de elementos de laboratorio en el aprendizaje de Ciencias Naturales, en el ciclo orientado del turno tarde del Colegio Provincial N° 12 "Victoria Romero" en el año 2019*. Tesina para alcanzar el título de Licenciatura en Tecnología Educativa. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Rioja. https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5594/_Tesina%20-%20Bazan%20y%20Diaz%20-%20Final%20octub2021.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y



- Bazie, H., Lemma, B., Workneh, A. & Estifanos, A. (2024). The Effect of Virtual Laboratories on the Academic Achievement of Undergraduate Chemistry Students: Quasi-Experimental Study. *JMIR Form Res*, 15(8), e64476. <https://doi.org/10.2196/64476>.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. *Handbook I: Cognitive domain*. Longmans.
- Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Bretz, S. L., Fay, M., Bruck, L. B. & Towns, M. H. (2013). What faculty interviews reveal about meaningful learning in the undergraduate chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 90(3), 281–288. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed300384r>
- Ceran, S. A. (2021). Contextual learning and teaching approach in 21st century science education. In A. Csiszárík-Kocsir & P. Rosenberger (Eds.), *Current Studies in Social Sciences*, (pp. 160–173). ISRES Publishing. https://www.isres.org/books/chapters/CSSS2021-Ch_11_03-01-2022.pdf
- Chen, Y. & Wang, L. (2023). The impact of virtual simulation experiments on students' learning enthusiasm and innovation ability. *Science & Technology Vision*, 1(1), 7–12. <https://doi.org/10.53789/STV.2023.01.002>
- Coronado, P. J. J. (2024). Percepción del profesorado sobre la imagen, enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales: un estudio exploratorio. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 6: 18–33. <https://doi.org/10.47499/revistaccb.v1i36.300>
- De Hoyos, B. S. M. (2020). El método científico y la filosofía como herramientas para generar conocimiento. *Revista de filosofía UIS*, 19(1), 229 – 245. <https://doi.org/10.18273/revfil.v19n1-2020010>
- De Jong T, Linn MC, et Zacharia Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308. doi: 10.1126/science.1230579.
- DeGirolamo, S., Pedersen, C. R., Corneliussen, J., Anders Kjærgaard, & Pattyn, N. (2024). *Learning Environment*. Routledge EBooks, 201–225. <https://doi.org/10.4324/9781003378969-13>
- Demelash, M., Andargie, D. & Belachew, W. (2024). Enhancing Secondary School Students' Engagement in Chemistry through 7E Context-Based Instructional Strategy Supported with Simulation. *Pedagogical Research*, 9(2), em0189. <https://doi.org/10.29333/pr/14146>
- Domènech, C. J. (2014). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 76, 17–27. https://www.researchgate.net/publication/280881257_Indagacion_en_el_aula_mediante_actividades_manipulativas_y_mediadas_por_ordenador
- Domínguez, G. M. C. (2023). *Aprendizaje conectado apoyado en la Cultura Maker para la enseñanza de Ciencia y Tecnología*. Conference: Seminario Enseñanza de las Ciencias Exactas. DOI: 10.13140/RG.2.2.14727.78244
- Domínguez, G. M. S. (2021). *Mediación tecnológica apoyada en la Cultura Maker para la enseñanza de Ciencia y Tecnología en Educación Secundaria*. Tesis doctoral. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. DOI: 10.13140/RG.2.2.24794.11206



- Escobar, P. C. V. (2016). El laboratorio de Ciencias Naturales como recurso didáctico para el proceso de Enseñanza Aprendizaje del bloque 3 en los estudiantes de sexto año de educación general básica de la Unidad Educativa Municipal Antonio José de Sucre. [Trabajo teórico de titulación previo a la obtención del grado de Licenciatura en Ciencias de la Educación Mención: Ciencias Naturales y del Ambiente, Biología y Química. Carrera de Ciencias Naturales y del Ambiente, Biología y Química]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/f30b94c2-0c16-4274-88b7-a2ac6f41f032>
- Faicán, J. F. et Manzano, V. R. (2024). Investigación abierta en la práctica de laboratorio y el aprendizaje de la Química en los estudiantes de bachillerato. *Revista Cátedra*, 7(1), 97-111. <https://doi.org/10.29166/catedra.v7i1.4474>
- Fay, M. E., Grove, N. P., Towns, M. H. & Bretz, S. L. (2007). A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 212–219. <https://doi.org/10.1039/B6RP90031C>
- Fayzullina, A. R., Zakirova, C. S., Dobrokhoto, D. A., Erkiada, G., Muratova, O. A. & Grishnova, E. E. (2023). Bibliometric review of articles related to context-based learning in science education. *EU-RASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(9), Article em2330. em2330. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13534>
- Fensham, P. J. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(8), 884-896. <https://doi.org/10.1002/tea.20334>
- Ferrés-Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 410-426. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3395/3114>
- Furman, M. (2016). *Educación mentes curiosas: la formación del pensamiento científico y tecnológico en la infancia Documento Básico*. XI Foro Latinoamericano de Educación). Santillana. <https://expedicionciencia.org.ar/wp-content/uploads/2016/08/Educacion-Mentes-Curiosas-Melina-Furman.pdf>
- Gallardo, G. M., Fernández, N. M., Sepúlveda, R. M. P., Serván, M.-J., Yus, R. y Barquín, J. (2010). PISA y la Competencia Científica: un análisis de las pruebas de PISA en el área de ciencias. *Relieve. Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 16(2), 1-17. <http://www.redalyc.org/pdf/916/91617139006.pdf>
- Gamage, K. A. A., Wijesuriya, D. I., Ekanayake, S. Y., Rennie, A. E. W., Lambert, C. G. & Gunawardhana, N. (2020). Online Delivery of Teaching and Laboratory Practices: Continuity of University Programmes during COVID-19 Pandemic. *Education Sciences*, 10(10), 291. <https://doi.org/10.3390/educsci10100291>
- García, V. A. X. et Moreno, S. Y. A. (2019). La experimentación en las ciencias naturales y su importancia en la formación de los estudiantes de básica primaria. *Biografía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 138249, 149-158. <https://scispace.com/pdf/la-experimentacion-en-las-ciencias-naturales-y-su-12hzw0a9yp.pdf>
- González, V. A. R., Salazar, G. C. et López, S. A. (2004). *La experimentación en la enseñanza de las ciencias naturales en el nivel primaria*. [Tesis de licenciatura, Universidad Pedagógica Nacional, Mazatlan, México]. <http://200.23.113.51/pdf/23445.pdf>

- Hakim, A., Kadarohman, L. A. & Syah, Y. M. (2016). Effects of the natural product mini project laboratory on the students' conceptual understanding. *Journal of Turkish Science Education (TUSED)*, 13(2), 27-36. <https://www.tused.org/index.php/tused/article/view/640/982>
- Hakim, A., Liliasari, L., Kadarohman, A., Syah, Y. M. & Musthupal, I. (2013). *Learning through innovative natural products chemistry laboratory*. Proceeding of the science education seminar future directions: Between hope and reality. University of Mataram.
- Hernández, J. L., Machado, B. E., Martínez, S. E., Andreu, G. N. et Flint, A. (2018). La práctica de laboratorio en la asignatura Química General y su enfoque investigativo. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 314-327. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000200012
- Hong, Q. N., Pluye, P., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M. & Vedel, I. (2018). *Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT)*. Version 2018. Registration of Copyright (#1148552), Canadian Intellectual Property Office, Industry Canada.
- Hüfner, S., Weirauch, K., List, F., Menthe, J., & Abels, S. (2025). Context-based science education to promote diversity-equity-inclusion – a systematic literature review on the understanding of context in science education. *Studies in Science Education*, 1–41. <https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2563946>
- Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based chemistry education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2), 251–313. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2248436>
- Jiang, S., Huang, X., Sung, S. H., & Xie, C. (2023). Learning analytics for assessing hands-on laboratory skills in science classrooms using bayesian network analysis. *Research in Science Education*, 53(2), 425–444. doi:10.1007/s11165-022-10061-x.
- Knight-Bardsley, A. & McNeill, K. L. (2016). Teachers' pedagogical design capacity for scientific argumentation. *Science Education*, 100(4), 645–672. <https://doi.org/10.1002/sce.21222>
- Koskinen, R. & Pitkäniemi, H. (2022). Meaningful Learning in Mathematics: A Research Synthesis of Teaching Approaches. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(2), em0679. <https://doi.org/10.29333/iejme/11715>
- Kwok, S. (2018). Science education in the 21st century. *Nature Astronomy*, 2(7), 530- 533. [https://doi.org/10.1021/ed084p1439](https://doi.org/10.1038/s41550-018-0510-4Nentwig, P. M., Demuth, R., Parchmann, I., Ralle, B., & Gräsel, C. (2007). Chemie im Kontext: Situating learning in relevant contexts while systematically developing basic chemical concepts. <i>Journal of Chemical Education</i>, 84(9), 1439. <a href=)
- Lerma, G., K. Barrios, R. N. Y. y García, G. N. L. (2023). Habilidades científicas: identificar variables y asociar preguntas a un experimento o situación problema. *Bio-grafía*, 17(32), 162–172. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.17.num32-20427>
- Lidueña, G. D. J. et Alcocer, A, P. M. (2025). Cultura Maker y Educación STEAM como Estrategias Didácticas Transformadoras en Contextos Rurales. *Revista Latinoamericana de Calidad Educativa*, 310-316. <https://alumnieditora.com/index.php/ojs/es/article/view/189/332>
- Lombard, F. & Schneider, D. (2013) Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47(3), 166–174. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1024051>

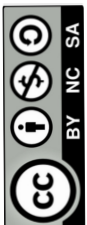


- López, R. A. M. et Tamayo, A. O. E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 8(1), 145-166. <https://www.redalyc.org/pdf/1341/134129256008.pdf>
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining Inquiry. Exploring the many types of inquiry in the science classroom. *The Science Teacher*, pp. 34-37. https://people.uncw.edu/kubaskod/SEC_406_506/documents/DefiningInquiry.pdf
- Meral, E., Şahin, İ. F. & Akbaş, Y. (2021). The effects of argumentation-based teaching approach on students' critical thinking disposition and argumentation skills: "Population in our country unit". *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 8(1), 51-74. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1286507.pdf>
- Meronda, D. A., Widarti, H. R. & Yahmin. (2025). Virtual laboratories in science education: A systematic review of effectiveness on conceptual understanding and learning outcomes. *Journal Pendidikan MIPA*, 26(3), 2020–2042. <https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp2020-2042>
- Morales, M. Y. M. et Dutrénit, B. G. (2017). El movimiento Maker y los procesos de generación, transferencia y uso del conocimiento. *Ciencias Sociales, Humanidades y Artes*, 5(15), 1-29. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2017.15.62588>
- Muñoz, M. J. I. et Charro, H. E. (2023). El desarrollo de Competencias Científicas a través de una línea de saberes. Un análisis experimental en el aula. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*. 20(2), 210101-210120. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/8220/10529>
- Murphy, P. K., Greene, J. A., Allen, E., Baszczewski, S., Swearingen, A., Wei, L. & Butler, A. M. (2018). Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through Quality Talk discussions. *Science Education*, 102(6), 1239–1264. <https://doi.org/10.1002/sce.21471>
- Nagarajan, S. & Overton, T. (2019). Promoting systems thinking using project-and problem-based learning. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2901-2909. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00358>
- OECD. (2018). Resultado de pisa 2018. <https://www.oecd.org/pisa/publications>. PISA2018_CN_COL_ESP. Pdf
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I and II) - Country Notes: Argentina*.
- Ojo, O. O. (2025). Situated learning and biology education: Enhancing students' attitudes towards genetics concepts through socio scientific issues. *Brazilian Journal of Education, Technology and Society (BRAJETS)*, 18(3), 747-763. <https://doi.org/10.1080/00219266.2024.2311342>
- Ortiz, R. G. et Cervantes, M. L. (2015). La formación científica en los primeros años de escolaridad. *Panorama*, 9(17), 10-23. <https://www.redalyc.org/pdf/3439/343976486002.pdf>
- Osorio, H. L. N. (2022). Simulaciones como herramientas de aprendizaje y experimentación en la enseñanza de las ciencias naturales en educación secundaria. *Revista Aquin@s 'Scriptum Scientiam'*, 1(2), 6-14. <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/aquinas/article/view/8224>
- Palacio, S, G. A. C. (2016). *Las prácticas de laboratorio en el proceso de enseñanza - aprendizaje de la asignatura de Ciencias Naturales, bloque 4 correspondiente al 10mo año EGB "A" y "B" del Instituto Educativo Shyris – Valdivia, año lectivo 2015 – 2016, Quito – Ecuador*. [Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/688ff7e1-224f-455f-ab3d-52bfe6226410>

- Pillajo, E. C. E., Jácome, P. D. A., Jácome, P. E. J., Medina, N. G. B. et Gamboy, T. G. É. (2025). El laboratorio como mediador del aprendizaje significativo en cinemática: Un estudio en Educación. *Revistas de Ciencias de la Educación y el Deporte*, 3(2), 18-32. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjy8qDz7o2TAxUCmWoFHU4jOR8QFnoECBkQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistaced.com%2Findex.php%2Fhome%2Farticle%2Fdownload%2F108%2F421&usg=AOvVaw0lirjpMbVDtEZwrywEcMHj&opi=89978449>
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Brazil*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/brazil_61690648-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Canada*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/canada_901942bb-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Chile*.
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Dominican Republic*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/dominican-republic_18177a60-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Estonia*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/estonia_dafed886-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Japan*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/japan_f7d7daad-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Korea*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/korea_4e0cc43a-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Mexico*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/mexico_519eaf88-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Panama*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/panama_85fcce46-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Paraguay*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/paraguay_1abb8775-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Peru*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/peru_3e71791c-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Türkiye*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/turkiye_d67e6c05-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: United States*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/united-states_a78ba65a-en.html
- PISA 2022. *Results (Volume I and II) - Country Notes: Viet Nam*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/viet-nam_a727c3a8-en.html
- Quijano L. R. et Gavin, C. O. (2022). La interdisciplinariedad en la enseñanza de las Ciencias experimentales: estado actual de la cuestión. *Roteiro, Joaçaba*, 47, 1-25. <https://doi.org/10.18593/r.v47.30105>



- Raman, R., Shanker, R. & Singh, A. K. (2022). Virtual laboratories in science education: A historical review and future prospects. *Journal of Educational Technology Systems*, 51(1), 60–84. Doi: 10.1177/00472395221087856
- Ramírez, G. E. R. (2023). El Papel de la Experimentación en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3). 632-652. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6222
- Ritchhart, R. & Perkins, D. (2008). Educational leadership. *Teachin Student to Think*, 65(5), 67-61. <https://pz.harvard.edu/sites/default/files/makingthinkingvisibleEL.pdf>
- Rönnebeck, S. Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground: A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Sampson, V. & Blanchard, M. (2012). Science teachers and scientific argumentation: Trends in views and practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1122-1148. <https://doi.org/10.1002/tea.21037>
- Sanmartí, N. et Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice*, 3-16. doi:<https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Satterthwait, D. (2010). Why Are "Hands-On" Science activities so effective for student learning? *Teaching Science*, 56(2), 7-10. <https://eric.ed.gov/?id=EJ907322>
- Sevian, H., Dori, Y. J., & Parchmann, I. (2018). How does STEM context-based learning work: What we know and what we still do not know. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1095–1107. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1470346>
- Silva, N- L. D. y Cáceres, M. M. L. (2024). El experimento como estrategia para el acercamiento al saber científico-co. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 7(1), 79-87. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/669/662>
- Solbes, J., Palomar, R., Petit, M. F. & Tuzón, P. (2025). Modeling with embodiment for inquiry-based science education. *Education Sciences*, 15(7), 796. <https://doi.org/10.3390/educsci15070796>
- St. Clair, N., Stephens, A. L. & Lee, H. S. (2024). 'But, is it supposed to be a straight line?' Scaffolding students' experiences with pressure sensors and material resistance in a high school biology classroom. *International Journal of Science Education*, 46(8), 815–838. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2260064>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K. & Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2), 191–249. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- Tamir, P. et García, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de Las Ciencias*, 10(1), 3–12. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/39881>.
- Torres, V. J. R. et Ayuso, F. G. E. (2025). Evaluación de las competencias científicas de los estudiantes de secundaria de República Dominicana. *Revista Caribeña de Investigación Educativa RECIE*, 9, 1-28. <https://doi.org/10.32541/recie.v9.719>
- Unesco. (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje. Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (Unesco). <https://rissu.edu.do/Kf>
- Universidad de San Pedro Sula. (2017). Laboratorio de Biología y Química. Obtenido de Universidad de San



- Pedro Sula: <http://www.usap.edu/campus-universitario/laboratorios/laboratoriode-biologia-y-quimica/>
- Universiti Malaya. (2025). *Toying with Science: Sparking STEM Interest Through Play*. (2025). Universiti Malaya. <https://myumcares.um.edu.my/toying-with-science-student-outreach-with-stem-inspired-social-innovation>
- Vo, D. V. & Simmie, G. M. (2025). *Assessing Scientific Inquiry: A Systematic Literature Review of Tasks, Tools and Techniques*. *Int J of Sci and Math Educ*, 23, 871–906. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10498-8>
- Vogelzang, J. & Admiraal, W. F. (2017). *Classroom action research on formative assessment in a context-based chemistry course*. *Educational Action Research*, 25(1), 155-166. <https://doi.org/10.1080/09650792.2016.1177564>
- Wijesekera, H. D. & Hameed, R. (2025). "What if?" and "Notice and wonder": Fostering higher order thinking in science classrooms. *Thinking Skills and Creativity*, 60, 102093. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.102093>
- Zhang, L. & Cobern, W. W. (2020). Confusions on "guidance" in inquiry-based science teaching: A response to Aditomo and Klieme 2020. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 21(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00116-4>
- Zhang, Y., Yang, Y., Chu, Y., Sun, D., Xu, J. & Zheng, Y. (2024). *Virtual laboratories in science education: Unveiling trajectories, themes, and emerging paradigms (2013–2023)*. *Journal of Baltic Science Education*, 23(5), 990–1009. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.990>
- Zulfa & Adam Malik. (2025). *The development of 21st century skills through PSL Practicum and HOT Lab in Science Education*. *Journal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 11(2):309-315. <https://dx.doi.org/10.29303/jpft.v11i2.8933>

Date de réception de l'article : 3 février 2026

Date d'acceptation de l'article : 24 février 2026

Date d'approbation pour la mise en page : 3 avril 2026

Date de publication : 30 juin 2026

Notes sur les auteurs

* Omar Escalona Vivas est docteur en sciences de l'éducation (Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez), postdoctorant en processus syntagmatiques de la science (International Lifelong Learning University, ILLU ; Centre international d'études avancées, CIEA-SYPAL), titulaire d'une licence en sciences biologiques (Universidad Católica del Táchira). Courriel de contact : omar.escalona@iesip.edu.ve

** Víctor Bless Gutiérrez est docteur en sciences pédagogiques (Université des sciences pédagogiques) et docteur en sciences mathématiques (Universidad de Oriente). Il est rattaché au département de troisième cycle et de recherche de la Faculté de technologie de la santé (FATESA), relevant de l'Université des sciences médicales de La Havane (UCMH), La Havane – Cuba. Courriel de contact : vblessgutierrez@gmail.com

