

# AI 賦能下的跨領域化學教育創新： 以國小永續議題 PBL 課程為例

謝相如

屏東縣潮和國民小學

Email: shiangrus@gmail.com

**摘要：**本文旨在探討國小如何透過 AI 賦能與數位融入，推動以綠色化學為核心的 SDGs 永續教育，並發展 PBL 跨領域課程。學校行政透過全校性活動為紐帶，將覺察、探究、行動三個環節串聯，其中特別強調學生對日常生活中物質結構及材料科學的理解。我們導入生成式 AI 工具作為教師的教學副駕駛 (Co-Pilot)，優化課程設計，使其能更精準地融入化學反應、高分子材料等概念。研究結果顯示，AI 不僅能提升教師的 TPACK 能力，更重要的是，它打通了跨領域 PBL (Project-Based Learning) 課程中自然科學，特別是基礎化學素養扎根的最後一哩路，有效提升學生對於週期表元素、酸鹼中和及廢棄物化學分解等議題的探究深度。本文將深入分析課程協作歷程，並提供未來國小階段推動化學教育普及化與數位轉型的建議。

## ■ 跨領域化學教育的新趨勢

近年來，永續發展目標 (SDGs) 已成為全球教育的重點，其跨領域的特性為傳統學科教學帶來新的挑戰與機遇。如何在國小階段有效進行跨領域教學，同時確保學科基礎知識的扎根，是教育者必須面對的課題。本研究特別聚焦於化學教育，探討如何利用人工智慧 (AI) 與數位工具，將抽象的化學原理融入生活化的永續議題中。

傳統的國小自然課程雖涵蓋部分物質變化與能量轉換的內容，但缺乏系統性的化學視角。例如，當討論到 SDG 12「負責任的消費與生產」時，學生需要理解不同塑膠的單體結構 (如聚乙烯 PE、聚對苯二甲酸乙二酯 PET 的高分子化學) 及其回收難易度；當探討 SDG 7「可負擔的潔淨能源」時，則需觸及氫氧燃料電池的電化學反應或鋰離子電池的儲能原理。這些化學知識正是讓永續行動得以科學化、系統化的關鍵。

本校透過 PBL (Project-Based Learning) 專案學習模式，將 AI 作為課程協作與知識轉化的核心工具，目的在於：(1) 探討 AI 如何賦能教師設計出整合化學與永續議題的 PBL 課程；(2) 分析數位融入對學生化學素養及永續行動力的影響；(3) 總結將基礎化學概念融入國小跨領域課程的實踐路徑。

## ■ AI 賦能下的化學教育創新、PBL 與永續素養的整合

當前化學教育的創新正由人工智慧 ( AI ) 與全球永續發展目標 ( SDGs ) 雙重驅動。AI 在教育中的應用優勢顯著，特別體現在化學知識的轉譯與模擬層面，AI 驅動的虛擬平臺能夠提供即時、個別化的化學反應模擬與數據分析回饋 ( MacDowell et al., 2024 )，有效提升學生對抽象概念的理解，進而改善學習成就 ( Choi et al., 2025 )。此外，生成式 AI 作為「教師副駕駛」 ( Teacher Copilot )，能快速生成分子結構視覺化圖像、跨學科教案與差異化考題，大幅提高備課效率，使教師能將更多精力投入於高層次思維引導 ( Seufert & Sonderegger, 2024 )。然而，技術準確性與教師自我效能感的不足，仍是將科技學科教學知識 ( Technological Pedagogical & Content Knowledge, TPACK ) 轉化為實際教學行為的主要挑戰 ( Ismaniati et al., 2025; Kotoka & Kriek, 2023 )。為實現永續教育目標，PBL 被確立為理想的教學框架，其以真實問題為導向的特質，鼓勵學生透過跨學科專題( 如綠色化學設計 ) 解決全球性議題( 如 SDGs Goal 12, 13 ) ( Yusupova et al., 2025 )。在此整合路徑中，AI 與資訊素養扮演能力放大器的角色：AI 工具協助學生進行實驗數據建模與模擬 ( 如污染物濃度預測 )，而資訊素養則確保學生能批判性地評估化學安全資料與科學資訊的真偽 ( Achimugu et al., 2023 )。總體而言，未來化學教育的發展，在於透過系統性培訓和 AI 輔助系統，強化教師的化學教學內容科技知識 ( TPACK-C )，並將 PBL 與 SDGs 深度融合，促使學生將化學知識轉化為永續行動的能力。

## ■ 從理想到實踐：AI 與潮和國小的課程協作歷程

潮和國小所發展的「全球公民」校本課程，運用 PBL 模式進行教學設計，但在推動初期，教師普遍面臨缺乏靈感、跨領域協作困難，以及教育理論與教學實務脫節的挑戰。AI 工具的引入，成功地彌合了理想與現實的鴻溝。以下詳細說明潮和國小在推動 AI 融入課程與教學的發展歷程，並特別強調在化學教育中的應用與深化。

### 一、以 PCK 為基石：AI 導入前的教學策略培訓

為應對師資斷層與教學經驗不足的問題，潮和國小首先以 Marzano 等人 ( 2001 ) 提出的九大有效教學策略為基礎，進行教師專業培訓。我們主張教師必須先站穩「學科與教學知識」 ( PCK ) 的基礎，再進一步發展為能夠整合科技與 AI 的「TPACK / AIPACK」型教師。

在化學教育的脈絡下，這意味著：教師必須先具備將抽象化學概念 ( 如酸鹼值、分子結構、物質的化學變化 ) 轉化為適合國小學生的教學內容知識 ( PCK )。例如，在利用 AI 生成水質檢測專題的教學活動前，教師須先能掌握 pH 值和酸鹼中和的教學方法，確保教學的有效性，而非僅依賴 AI 提供的科技工具。缺乏扎實 PCK 基礎，AI 的運用將難以發揮潛力，甚至可能導致對化學知識的誤傳。

### 二、教學典範轉移：AI 賦能下的化學探究實例

有一次潮和國小辦理自主學習節公開授課，一位新進教師承接了永續主題 PBL 課程，其主題是「綠色清潔劑的化學設計與實踐」。初始教案僅止於使用 Kahoot 遊戲，未能體現深度探究與化學實踐。校長引導他運用 ORID 四層次提問法，將教學設計融入化學推理(見表 1)：

表 1 運用 ORID 提問法將教學設計融入化學推理

層次 (Level)	提問內容 (Focus)	化學教育應用實例 (Chemistry Example)
客觀事實 (Objective)	詢問文章/影片中的客觀事實。	請問環保清潔劑的主要化學成分是什麼？(如：界面活性劑的結構)
感受反思 (Reflective)	詢問學習後的個人感受。	讀到傳統清潔劑對水生生物的化學毒性，你有什麼感受？
詮釋觀點 (Interpretive)	引導學生進行深度思考與詮釋。	如果你是綠色化學設計師，會如何利用天然化學反應(如皂化)來解決清潔需求？
決定行動 (Decisive)	鼓勵學生思考個人貢獻與行動。	針對校園水質的微量化學污染，你願意從哪個生活習慣開始改變？

課後觀課教師的回饋指出，這種以 ORID 結構化引導的教學，使學生對化學反應與永續行動的連結有更熱烈的討論和更深刻的理解。這位新進教師也感受到教學有了明確依據，不再覺得課程設計空泛或缺乏方向。

### 三、從 PACK 到 AIPACK 的教學深化

在掌握 ORID 提問技巧後，這位教師進一步運用 AI 工具深化教學：

- (一) AI 輔助提問與探究深化：教師運用 AI 快速生成第一、二層次的基礎問題。對於第三層次的詮釋性問題，他引導學生使用因材網的「E 度」功能，探究不同清潔劑的化學安全資料 (Safety Data Sheet, SDS)，逐步深化其化學知識與觀點表達。
- (二) AI 協作與綠色化學評分標準生成：教學設計融入「分組合作學習」策略。學生將小組討論的「綠色清潔劑配方」上傳至 LoiloNote。教師運用 AI 工具，快速生成一份結構完整、指標清晰的評分標準，該標準明確包含「綠色化學十二原則」中的「使用安全溶劑」及「減少衍生物」等化學評估指標。這有效減輕了教師在設計複雜跨領域評分標準時的負擔。

這整個實踐過程清楚展示了 AIPACK 的價值：它必須建立在教師具備扎實化學內容知識 (Content Knowledge, CK) 和有效教學技巧 (Pedagogical Knowledge, PK) 的基礎之上，才能

使 AI 成為強化教學設計的工具，而非主導者。

#### 四、為教學而生的科技：社群共創與 AI 加持

潮和國小導入 iPad 的起點，是為了解決資深教師在化學實驗與科學發表中，難以完整保留學生實驗數據、觀察紀錄與化學反應過程的學習歷程。

近年來，多款教學軟體（如 LoiloNote、Padlet、Quizizz）陸續加入 AI 輔助功能，使教師能更有效率地進行備課。教育部開發的「因材施教」與「Cool English」平臺，其「E 度小老師」功能透過反問方式引導學生思考，這在指導學生進行化學計算或預測化學反應產物時特別有用，避免直接給出答案而失去探究機會。

透過定期研習與專業社群交流，教師們集結智慧，共同找出最有效的解決方案。例如，科學領域社群經常分享如何利用 Padlet AI 生成適合國小程度的「分子結構圖」或「簡單化學反應動畫」的提示詞，解決了抽象概念視覺化的痛點。

#### 五、科技輔助下的基礎學力扎根

潮和國小的「平衡基礎與創新」理念，基礎在於學力的紮根。除了國語和英語，我們更將此理念延伸至基礎科學素養的扎根，特別是化學命名與符號的流暢性。

過往教師難以精確、高效地檢測學生對化學元素符號、簡單化合物名稱（如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ）的辨識與朗讀能力。現在透過因材施教、酷英網或「學習吧」平臺的 AI 語音辨識功能，教師可以：

- （一）檢測化學命名流暢度：指派學生朗讀一份包含週期表前 20 個元素或生活常見化學品名稱的清單。系統自動評估發音的流暢性與正確性。
- （二）符號與名稱配對：老師輸入自訂的化學式，要求學生口頭說出其中文或英文名稱。

這項技術不僅提升了教師評量的效率，更因激發學生的挑戰意識，促使他們反覆練習化學術語的正確發音與符號對應，無形中強化了學習動機與化學基礎。

#### 六、跨領域整合的校本課程

潮和國小的校本課程以 PBL 模式深化學習，目標是培養「全球公民」，致力於四大素養：探究區辨、資訊運用、溝通互動、統合規劃。這些素養鑲嵌在以「食、衣、住、行」為主題的 SDGs 探究中。

- （一）永續之食：課程探究食品加工中的化學。學生利用 AI 查詢常見食品添加劑（如

抗氧化劑的化學結構式、色素的共軛體系)，理解它們在分子層級如何影響食物的穩定性與風味。同時，探討食物保存與微生物的化學反應。

- (二) 環保之衣：聚焦於紡織品的材料化學。學生比較天然纖維（如纖維素）與合成纖維（如聚酯纖維）的高分子結構差異。並探究染整過程中的化學藥劑使用，如偶氮染料的環境毒性，從而學習綠色化學中原子經濟性的概念。
- (三) 節能之住：課程涵蓋建築材料的化學性質。例如，水泥從漿體固化為混凝土的水合反應 ( $2\text{C}_3\text{S}+6\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3+3\text{Ca}(\text{OH})_2$ )，及其在生命週期中的二氧化碳排放問題。學生利用 AI 查詢新型低碳建材如木質素基複合材料的化學組成。
- (四) 潔淨之行：深入探究儲能與動力化學。學生透過模擬了解鋰離子電池 (Li-ion battery) 的工作原理，即鋰原子在電極間的嵌入與脫嵌過程，以及傳統燃油車排放物中的碳氫化合物和氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 對空氣品質的化學污染。

這整套作為緊密對應「臺美生態學校」與「智慧永續校園」計劃的核心理念，具體展現了親師生從規劃到執行的完整素養歷程，成功將教育理念轉化為具有影響力的真實行動（參見表 2）。

表 2 潮和國小校本課程核心素養、學生習得、教師行動、與各項競爭型計畫關係一覽表

核心素養	內容說明	學生習得	教師行動	行政作為	對應計劃
探究圖辨	由全球議題驅動知識概念～全球暖化、能源危機（從食衣住行四個面向進行探究）	大概念 次概念 重要知識 生活連結	產出「食衣住行」資訊圖表、結構+引導式探究	規劃週三進修、備課日、核心小組、教師社群等 課程設計原則：範疇、順序、連續、統整	校本課程跨校策略聯盟計劃
溝通互動	口語表達 文字表達 人際關係	應用語文及其他領域 所學撰寫文案 社交技巧	F4/ORID提問 導入四學 異質、同質分組	辦理校內外專案成果發表 泰國RBRU皇家師範學院到校參訪 加州州立大學學生視訊	部分領域雙語計劃 分組合作學習深耕計畫
資訊運用	媒體識讀 資料檢索 創新轉化	Keynote Canva Numbers 無邊記等	iPad生態系統 LoiloNote Padlet Quizziz 因材網、酷英	辦理各校數位研習工作坊、數位融入教學觀摩（媒體採訪、自主學習節、台南數辦、屏東數辦、及外縣市學校來訪等）	教育部5G智慧標竿學校 蘋果傑出學校 THSD
統合規劃	團隊協作 公民責任	以終為始： 參與全校性活動 製作簡報、戲劇、創作 發表：為議題發聲	PBL跨領域素養導向 校本課程結合全校性活動	規劃全校性活動 1.南北棟省水大對抗 2.四度行動 3.減碳不嘆氣 4.跳蚤市場	臺美生態學校 智慧永續校園 裝設智慧電表 水表、定時器、溫濕度與二氧化碳濃度計、監控APP等

## 七、備課新視野：AI 驅動下的協作、創生與深化

自從 ChatGPT 出現之後 AI 即廣泛被運用在各種教學軟體，潮和老師的備課也將 AI 工

具應用得越加純熟，他們不僅擁抱了科技，更讓教學設計煥發出新的活力與深度。

### (一)AI 作為教學設計的神隊友：化學實驗規劃

教師運用 ICRT 框架 ( Instruction 任務目的, Context 情境, Role 角色, Term 格式 ) 設計提示詞，讓 AI 快速生成教案初稿。例如，針對「校園水質微型檢測」專題，教師利用 ICRT 框架要求 AI 產生：

- Instruction：設計一份國小五年級學生能執行的 pH 值簡易檢測實驗流程。
- Context：實驗場景為戶外池塘，藥品僅限使用天然指示劑 ( 如蝶豆花液 ) 以確保綠色化學與絕對安全。
- Role：教師需要一份完整的實驗安全守則與數據記錄表。
- Term：格式為步驟式教案，包含化學廢棄物處理指引。

這種流暢的流程 ( 從 AI 生成教案初稿到 Padlet TA 產出化學實驗清單、評分標準 )，將教師從繁重的文書工作中釋放出來，使他們能將精力專注於實驗指導與化學概念的深度引導。

### (二)多模態學習與抽象概念視覺化

在「節能之住」主題中，教師運用 Padlet Sandbox 設計多格學習單，讓學生：

AI 視覺化：運用 AI 繪圖設計心中的環保屋，並要求 AI 模擬顯示所選建材的微觀化學結構 ( 如多孔性結構、高分子鏈 )。

錄影說明：錄下對水泥水合反應 ( $2C_3S+6H_2O \rightarrow \dots$ ) 或電池充放電的化學原理的口語解釋。

### (三)AI 化身班級輔導助理：情感教育中的科學衝突

在班級經營中，有導師利用 AI 生成貼近學生生活的案例來模擬同儕衝突。例如，案例情境是：小組在設計「廢棄物化學分解」方案時，兩名成員因對「酵素降解」的科學可行性有爭議，在社群媒體上互相攻擊。AI 生成的案例讓學生討論「如何在科學探究中進行理性化學爭論」，並以數據圖表 ( 由學生「投票」選出的科學倫理公約 ) 作為未來處理科學探究中意見分歧的契約，將教育中的人性光輝與理性思辨放大。

### (四)AI 於特教課程：化學抽象概念的具體化

特教老師運用 AI 工具 ( 如 Canva AI 的程式碼功能 ) 來自製教學工具，以解決特教生對

抽象概念的理解困難。例如：

1. 化學概念視覺化：在教授物質的三態變化時，利用 Canva AI 生成水分子在固態(冰)、液態(水)和氣態(水蒸氣)三種狀態下排列方式的 3D 視覺化圖像，將抽象的分子熱運動概念具體化。
2. 科學化個案報告：召開個案會議時，透過 AI 整理學生的學習數據，例如將資源班學生在化學符號辨識測驗中「金屬」與「非金屬」兩大類別的錯誤率，轉化為清晰易懂的圖表，使團隊能快速掌握其化學學習難點與後續的化學教學介入策略。

## ■ 從理念到課堂的躍升：AI 打通跨領域 PBL 的「化學」最後一哩路

潮和國小在推動「全球公民」校本課程的歷程中，AI 的導入不僅是工具的替換，更是解決基礎科學素養（特別是化學）扎根難題的關鍵。過去，跨領域課程在整合化學抽象概念、實驗安全實踐和概念縱向連貫時，常因教師非專業背景和資源限制而卡關。AI 如同一位高效的「化學教學副駕駛」，打通了從永續理念到課堂深度探究的最後一哩路。

### 一、突破化學概念的抽象性：AI 視覺化與模型建構

國小學生難以理解肉眼看不見的分​​子與原子結構，這是化學教學中的主要痛點。AI 的視覺化能力成為解決此問題的利器：

(一)即時分子結構生成：教師利用 AI 提示詞（如：生成水分子在不同溫度下的排列方式）在 Canva AI 或其他生成工具中，快速製作  $H_2O$ 、 $CO_2$  等分子的 3D 模型圖。這些圖像不僅生動，還能顯示原子間的鍵結或分子的極性，將抽象概念具體化。

(二)微觀化學行為模擬：在探討「空氣污染」主題時，AI 輔助製作動畫，模擬工廠排放的氮氧化物 ( $NO_x$ ) 如何與水氣作用形成酸雨的微觀化學反應過程。學生能直觀地理解化學變化的本質，強化了他們的科技內容知識 (Technology Content Knowledge, TCK)。

(三)學習成就：透過視覺化輔助，學生對物質特性和相變化（如凝結、汽化）的化學基礎理解度大幅提升，不再僅停留在表面現象的觀察。

### 二、虛擬實驗室與綠色化學安全實踐

推動綠色化學理念的核心挑戰在於實驗教學的安全性與資源限制。AI 提供虛擬實境和模擬工具，讓學生能安全且低成本地進行化學探究：

(一)高風險情境模擬：學生在虛擬環境中，可模擬執行如「酸鹼中和滴定」或「不同塑膠的熱

裂解」等實驗。AI 系統會即時反饋操作錯誤可能導致的化學安全隱患（如：藥品混合順序錯誤、通風不足），強化實驗室安全教育。

(二)綠色化學原則應用：在「衣」的主題中，當學生設計「天然染劑」專案時，AI 提示詞引導他們遵循綠色化學的「減少廢棄物」原則，規劃實驗流程以最大化產物（染料）的原子經濟性。

(三)成果：學校不僅減少了化學耗材與廢棄物（符合永續理念），教師也透過 AI 提供的安全守則範本，提升了教學內容知識（PCK）中關於化學品管理與廢棄物分類的專業能力。

### 三、AI 精準評量與科學素養深度回饋

AI 賦能的評量系統使教師能更精準地檢核學生在 PBL 專案中的科學論證能力與化學素養：

(一)科學論證分析：在「減碳行動」專案結束後，學生需撰寫一份報告，論證其行動（如：使用自製酵素清潔劑）在減少 CO<sub>2</sub> 排放和降低水體化學污染方面的有效性。教師利用 AI 工具，輸入學生報告，要求 AI 根據論點中引用的化學原理（如酵素的催化作用）是否準確，提供結構化回饋。

(二)差異化概念澄清：針對學生在報告中對「酸」與「腐蝕性」等化學術語的迷思概念（Misconceptions），AI 能自動識別並生成針對性的教學材料，供教師在下次課程中進行概念釐清。

(三)影響：評量從單純的知識點檢核，轉變為對學生科學探究精神、批判性思維以及化學知識應用能力的深度評估，使回饋更具實質性的專業增能效果。

### 四、跨領域課程地圖的 AI 協作與校準

跨領域 PBL 課程最困難之處，在於確保學科知識在不同年級間的垂直連貫性與橫向整合度。AI 在此扮演了課程校準器（Curriculum Calibrator）的角色：

(一)化學概念縱向追蹤：教師社群利用 AI 檢視校本課程地圖，確保化學知識的螺旋上升。例如，一年級探討「物質的三態」；四年級探討「水溶液的性質與酸鹼性」；六年級則延伸至「高分子材料的化學與回收分類」，AI 確保這些概念的難度和深度與學生的認知發展階段吻合。

(二)協作與知識共享：教師將不同年級與領域（如自然、綜合、語文）的教案（Google Docs）匯入 Padlet 或其他協作平台，利用 AI 進行「關鍵化學知識點」的交叉比對，提醒跨領域教

師在教學中引用一致且準確的化學術語。

(三)整體效益：AI 驅動的課程校準，有效避免了學科知識的重複或遺漏，使潮和國小的「全球公民」校本課程地圖，成為一個內嵌扎實科學基礎 (AIPACK) 的連貫學習體系。

## ■ 討論

本文陳述，AI 的應用是國小階段跨領域 PBL 課程中，強化基礎化學素養扎根的關鍵策略。其效能體現在克服化學教學的抽象性、保障實驗的安全性、提升評量的精準度以及建立課程的縱向連貫性等四個層面。

### 一、利用 AI 分子視覺化，破解抽象概念 (Molecular Visualization)

化學的本質在於探究肉眼不可見的微觀世界，這對國小學生的認知發展是極大的挑戰。AI 驅動的分子視覺化工具 (如 3D 模型生成與微觀反應模擬)，有效地將物質的分子結構、化學鍵結、乃至於水分子在三態變化的熱運動，轉化為直觀可操作的圖像與動畫。這種多模態學習方式，不僅提升了學生的科技內容知識，更重要的是，為他們建立了物質組成的化學基礎概念，是培養科學思維的起點。

### 二、AI 作為綠色化學與實驗安全風險控管 (Green Chemistry & Safety)

在推動與環境永續相關的專案時，實驗安全與綠色化學原則是不可妥協的。AI 虛擬實驗室的導入，使學生能在零風險的環境中，模擬如酸雨形成或化學滴定等情境。更關鍵的是，AI 在課程設計上扮演了綠色化學顧問的角色，透過提示詞引導，迫使教師和學生思考原子經濟性、廢棄物減量等原則，促使專案設計從「環保行動」提升至「科學化、低污染的化學設計」，強化了化學品安全管理的素養。

### 三、扎根科學素養：AI 精準診斷與課程連貫性 (Scientific Literacy: AI Diagnosis & Curriculum Coherence)

AI 賦能的評量系統為基礎化學素養扎根提供了數據支持。透過 AI 分析學生的科學論證報告，教師能迅速識別學生對酸鹼性、腐蝕性等化學迷思概念 (Misconceptions) 的所在，並生成差異化的概念澄清材料。此外，AI 的課程校準器功能，則確保了化學知識點 (如從低年級的「物質三態」到高年級的「高分子回收化學」) 在校本課程地圖中能螺旋式、連貫地發展，有效避免了跨領域教學中學科內容的疏漏或重複。

## ■ 結語與建議

### 一、結語

本文以潮和國小為實踐場域，探討了在國小階段如何透過 AI 賦能與數位融入，推動以 SDGs 為核心的永續教育 PBL 跨領域課程。結果證實，AI 與資訊素養的雙重整合，成功克服了國小抽象化學概念的教學痛點，能夠提升學生的學習動機、跨領域素養與問題解決能力。

在課程實踐中，教師不僅利用 AI 工具（如 ChatGPT, Gemini, Canva, Padlet TA 等）優化備課流程、生成多模態教學資源，更具體地應用 AI 進行分子結構視覺化、產出綠色化學實驗的安全指引，並引導學生分析高分子材料的化學性質與回收數據，將基礎化學素養融入永續探究中。同時，資訊素養的融入使學生能負責任地評估化學安全資料，並在真實情境中實踐永續行動，例如「衣起愛地球」活動中，學生展現了對紡織品材料化學與生命週期的認知，實現從「覺察」到「科學行動」的完整學習。

此外，本文印證教師自我效能感在科技整合中的關鍵作用。唯有建立在扎實的化學教學內容知識基礎上，科技與 AI 的應用才能真正發揮「賦能」而非「取代」的教育價值，尤其在指導學生進行化學實驗設計與科學論證時更為關鍵。潮和國小透過系統性的教師培訓、同儕共備與專業學習社群，逐步建構出可持續的科技融入教學文化。

總體而言，本文為國小階段推動 AI 與永續教育整合，提供了具體可行的化學素養扎根模型與反思，也為未來教育工作者在數位轉型浪潮中，如何「以科技為舟，以教育為本」，培養具備科學視野與行動力的下一代，指明了前行的方向。相關建議如下所示：

## 二、相關建議

我們建議教育現場應持續推動「以教學法為核心，科技為輔助」的系統性課程設計，並強化師資培育階段的 AI 輔助化學教學法與 PBL 課程設計能力，特別是針對實驗廢棄物管理與微觀化學概念轉譯的專業培養。同時，學校與政策單位應提供完善的基礎設施、倫理規範與專業支持，以實現更具包容性、科學性與永續性的教育未來。

(一)研究建議：應深入探討 AI 在化學計算與數據分析（如預測化學反應產率、分析水質化學數據趨勢）方面，對國小高年級學生科學探究能力的具體助益，並驗證 AI 輔助教學對化學概念持久記憶的長期影響。

(二)實務建議：學校應建立 AI 提示詞範本庫，特別針對綠色化學實驗與分子視覺化的提示詞進行標準化，以降低非化學專業教師的技術門檻，並鼓勵教師將 AI 應用於設計符合化學安全規範的微型實驗（Microscale Chemistry）。

## ■ 參考文獻

Achimugu, L., Njoku, Z. C., & Yomi, S. (2023). Impact of SDGs retraining workshops on

- pedagogical competencies of primary school teachers. *IAFOR Journal of Education: Studies in Education*, 11(3), 137–159.
- Choi, K. Y., Wu, C., & Moorhouse, B. L. (2025). Exploring the use of generative artificial intelligence (GenAI) in English language teaching: Voices from in-service teachers at an early-adopting Hong Kong secondary school. *Technology in Language Teaching & Learning*, 7(3), 102516. <https://doi.org/10.29140/ttl.v7n3.102516>
- Dewa, A. (2024). Artificial intelligence for educational sustainability in the South African school system: A bibliometric analysis and literature review. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 20(3), 60–78.
- Ismaniati, C., Khairaty, N. I., Yusuf, N., & Supramono, A. (2025). Harnessing self-efficacy: Mediating the connection between TPACK and AI intentions among teachers. *Journal of Pedagogical Research*, 9(2). <https://doi.org/10.33902/JPR.202531937>
- Kotoka, J. K., & Kriek, J. (2023). Exploring physics teachers' technological, pedagogical and content knowledge and their learners' achievement in electricity. *Journal of Baltic Science Education*, 22(2), 282–293.
- MacDowell, P., Moskalyk, K., Korchinski, K., & Morrison, D. (2024). Preparing educators to teach and create with generative artificial intelligence. *Canadian Journal of Learning and Technology / La Revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, 50(4). <https://cjlt.ca/index.php/cjlt/article/view/28606>
- Marzano, R. J., Pickering, D. J., & Pollock, J. E. (2001). Classroom instruction that works: Research-based strategies for increasing student achievement. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235-251. <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>
- Seufert, S., & Sonderegger, S. (2024, October 26–28). Empowering teachers to integrate AI: Developing an LLM-based copilot [Paper presentation]. International Association for Development of the Information Society (IADIS) International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA), Zagreb, Croatia.
- Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>
- Yusupova, M., Gazieva, S., Abdullayeva, Z., Umarova, Z., Akhmedova, M., & Kambarova, M. (2025). Integrating project-based learning in English language teacher education for sustainable development goals (SDGs). *International Journal of Language Education*, 9(2), 245–266.