

2026 ICEET

第十五屆 數位學習與教育科技國際研討會
International Conference on E-learning and Educational Technology

智慧教育×永續共榮

論文集 PROCEEDINGS



運用專案式學習之課程設計提升教師科技教學內容知識之

行動歷程：以國小「智慧農業」課程為例

陳文玲*

研究生

國立東華大學

教育與潛能開發學系科學教育研究所

E-mail: tjpmkimo7@gmail.com

陳世文

副教授

國立東華大學

教育與潛能開發學系科學教育研究所

E-mail: shiwen@gms.ndhu.edu.tw

摘要

因應國際於數位學習之趨勢，教師的科技教學內容知識（TPACK）已成為推動教學創新之關鍵專業能力。本研究採質性行動研究設計，針對台灣東部某國小學童，實施「氣候變遷與智慧農業」跨領域專案式學習（PjBL）課程。研究透過蒐集教案、教學省思、課室觀察及學生數位模型作品等多元質性資料，利用三角檢證以提升研究分析之可信度。

研究結果以教師建構 PjBL-TPACK 動態發展歷程，證實在「透過設計而學習（Learning by Design, LBD）」之反思循環中，教師之專業知能呈現顯著的階段性提升：在「問題引導」階段，教師有效發展科技內容知識（TCK）以具象化氣候議題；在「深度探究」階段，藉由建構感測數據鷹架，深化科技教學知識（TPK）；最終在「公開發表」階段，達成素養導向評量與學科實踐之 TPACK 知能。本研究不僅證實 LBD 歷程能有效促成 TPACK 之轉化，更為數位學習教師專業與課程設計，提供實證之教學實踐。

關鍵字：科技教學內容知識、專題式學習、設計本位學習、行動研究、智慧農業

壹、前言

在 21 世紀的教育環境中，培養學生具備批判性思維、問題解決、溝通與協作等核心技能已成為教育的首要目標（Matahari, Nurohman, & Jumadi, 2023）。為了因應這些挑戰，專案式學習（Project-Based Learning, PjBL）被廣泛視為一種創新的教學方法（Tanak, 2018），且以學習者為中心的建構主義環境，提供學生透過合作解決真實世界的問題（Han, Yalvac, Capraro, & Capraro, 2015）。

然而，PjBL 的成功不僅取決於學生的參與，更高度依賴教師的專業準備及教學方法（Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025）。近年來，教育界逐漸發現，讓教師親身參與並設計 PjBL 課程，是促進其發展「科技學科教學知識(TPACK)」與數位能力的有效途徑。

儘管現今對 TPACK 已被廣泛認可，但國內外文獻指出，過去研究多以教師的量化問卷進行分析，且忽略 TPACK 隨時間發展的「階段性歷程」（Angeli & Valanides, 2009；Canbazoglu Bilici, Guzely, & Yamak, 2016）。

為了解決此問題，專案式學習（PjBL）被視為一種極具潛力的教學方法；依據 Koehler 與 Mishra (2005) 提出 LBD 理論，教師為解決真實的教學問題，在「設計」科技融入教案的過程中，能促進運用科技工具、學科概念與教學策略之能力。

因此，本研究採用質性行動研究，以國小「智慧農業」跨領域課程為例，透過分析教案、教學觀察、教學省思、學生作業及作品發表等，探討教師以 PjBL 教學設計，對應 TPACK 具體發展歷程，期能為數位學習領域提供實證之課程設計模型。

貳、文獻探討

一、從傳統 TPACK 邁向智慧科技與 AI-TPACK

當代教育情境中，教師教學成效之優劣，已不僅取決於學科知識本身，而是更仰賴將內容知識轉化為學生可理解之教學能力，即「教學內容知識」(Pedagogical Content Knowledge, PCK)，這被視為促進有效教學與深化學習的核心。具備良好 PCK 的教師，能彈性調整教學策略以提升學習成效。然而，隨著數位轉型與智慧科技的介入，單一學科之 PCK 已不足以回應當前需求。Mishra 與 Koehler (2006) 提出的「科技教學內容知識」(TPACK) 框架，闡明了科技 (TK)、教學 (PK) 與內容 (CK) 三者交互作用的重要性，強調教師需在真實情境中透過設計與反思以建構複合性之教學知識。

隨著教師教學知識發展，進入智慧科技時代，TPACK 的內涵正經歷深刻的典範轉移；特別是在跨域教學整合中，教師的角色從傳統的「科技工具操作者」進化為「數據引導者 (Data Facilitator)」(Lakhe Shrestha, Dahal, Hasan, Paudel, and Kapar (2025) 透過對生成式人工智慧 (Generative Artificial Intelligence, GenAI) 於專業發展中的探究發現，教師在面對 GenAI 需透過持續的反思，才能將技術從單純的輔助工具，轉化為驅動教學創新的動力；在 STEM 跨域整合方面，Yao 與

Halim(2026)及 Astuti 等人(2026)的研究亦證實，不論是在支持永續發展(ESD)或族群文化(Ethno-STEAM)之專題式學習中，教師不再只是教授如何使用工具，而是必須具備整合跨學科技術數據與情境脈絡的能力。因此教師需轉換及提升 TPACK，進而引導學生在複雜的智慧科技環境中，達成深層的知識建構。

二、專案式學習(PjBL)課程設計之核心架構與實務

Larmer、Mergendoller 與 Boss(2015)所提出「專題式學習之黃金標準」(Gold Standard PBL)架構，提供一套系統性指引，以確保專題式學習歷程兼具探究深度與學習真實性。該架構強調專題式導向教學實務(Project Based Teaching Practices)須環繞七項核心重點，以培養學生的關鍵知識、理解與成功技能：

- (一) 設計與規劃 (Design & Plan)
- (二) 符合課程標準 (Align to Standards)
- (三) 建立文化 (Build the Culture)
- (四) 管理活動 (Manage Activities)
- (五) 搭建學習鷹架 (Scaffold Student Learning)
- (六) 評量學生學習 (Assess Student Learning)
- (七) 參與及指導 (Engage & Coach)

三、專案式學習 (PjBL) 教學實務對應 TPACK 整合

Larmer 等人(2015)提出的 PjBL 黃金標準，包含導引問題、深度探究與公開發表等實務；同時，Mishra 與 Koehler(2006)提出 TPACK 理論即「知識的融合是具有層次性的」。近期之實證研究指出，以 PjBL 各階段教學實務，能建構 TPACK 發展之模型，證實專題式教學實踐能逐步優化教師的教學設計能力與 TPACK (Dewi, Rusilowati, Saptono, & Haryani, 2022; Paramitha, Nurwahidin, Rusminto, & Firdaus, 2025)。當教師規劃 PjBL 專案時，他們必須決定何種科技工具最適合呈現該學科之複雜問題(發展 TCK)，並運用科技來引導學生協作與建構知識(發展 TPK)(Chai, Koh, & Tsai, 2010)；此外，將 PjBL 融入 TPACK 發展(PjBL-TPACK)，即能讓教師在真實情境中實踐科技整合。

(一) PjBL 階段一：問題引導與設計規劃(發展 TCK 與 CK)

PjBL 之核心起點在於提出具備真實性與挑戰性的「引導問題」(Larmer et al.,2015)，在此階段，教師必須深入分析學科核心概念，並尋找最能呈現該真實問題之媒介，而教師主要發展並展現其科技內容知識(TCK)與內容知識(CK)。文獻指出，教師必須運用 TCK 來選擇最適切的科技工具，以發展或呈現特定的學科內容(Paramitha et al.,2025)；例如，在探討氣候變遷或在地農業等複雜且抽象的學科知識(CK)時，教師整合數位科技(如多媒體影像或實地紀錄工具)來呈現真實的農業災損問題，可確保學生能理解學科概念，更展現了教師利用科技「轉化」與「具象化」複雜學科知識的能力(Mishra & Koehler, 2006)。

(二) PjBL 階段二：深度探究與知識建構（深化 TPK 與 PCK）

在 PjBL 的探究與準備階段，學生開始進行資料蒐集、整合知識與小組協作，教師的角色則轉變為學習的引導者（Facilitator）。此階段是教師發展科技教學知識（TPK）與學科教學知識（PCK）之關鍵期。TPK 意指教師理解如何利用不同的科技工具與軟體來達成特定的教學目的（Paramitha et al.,2025）。實證研究顯示，當教師決定使用特定的數位工具（如感測器編程、試算表或學習管理系統 LMS）來支援學生的科學探究流程，如預測—觀察—解釋（Predict-Observe-Explain，簡稱 POE），並促進團隊間的溝通與協作時，其 TPK 會獲得顯著的提升（Dewi et al., 2022）；此外，教師在此過程中必須不斷監控學生的學習進度與迷思概念，這也同步深化了教師引導學生克服學科困難之 PCK。

(三) PjBL 階段三：公開發表與評量省思（達成 TPACK 綜合能力）

教師綜合學科知識、數位展示科技與多元評量法（如數位歷程檔案、同儕線上互評），以評量學生 4C 技能與學科學習成效；且依 PjBL 最後階段，用以提供學生產出具體專題作品（Artifacts），進行公開發表，並透過同儕互評反思與修正。這是教師達到 TPACK 綜合應用之最高層次。此階段，教師不再只是教導單一科技操作，而是將科技完全融入教學目的，以促進學生批判思考、創造力等 21 世紀關鍵能力（4Cs）（Masnur, Gani, & Mustafa, 2024）。文獻指出，評估教師 TPACK 最客觀之方式，即是檢視其所設計之評量方式與學生實務產出（Akyuz,2018；Koehler & Mishra,2005）。當教師能協調學科知識、科技工具（如數位模型製作、多媒體簡報），並運用數位評量工具進行形成性與總結性評量時，即證明其已具備高度成熟的 TPACK 能力（Baran & Uygun,2016；Tanak,2018）。

四、專案式學習(PjBL)與透過設計而學習（Learning by Design）

在數位時代，教師的科技融入能力已成為教學成敗的關鍵。Mishra 與 Koehler（2006）所提出的「科技教學內容知識（TPACK）」框架，為理解教師如何交織科技（TK）、教學法（PK）與學科內容（CK）提供了深厚的理論基礎。

然而，相關研究指出，在 PjBL 情境中促進 TPACK 發展並非靜態的知識傳遞，而是需要透過真實情境中的 LBD 歷程來建構（Koehler & Mishra, 2005）。因此，文獻普遍建議採取 LBD 之取徑，作為教師專業成長的重要機制。

參、研究實施與設計

一、研究方法

本研究採質性行動研究為取向，旨在透過教學計畫、行動、觀察與省思之循環歷程，深入探究課程設計歷程中 TPACK 的動態轉變。研究場域為台灣東部某偏鄉國小，由研究者（具科學教育背景）、自然科學及資訊專長教師共同組成，進行課程規劃、教學實施及教案修正，並由六年級三個班級 64 位學生參與，學生已具備基礎的資訊查詢、簡報製作能力，但缺乏完整經歷 PjBL 專案探究之經驗。

研究內容以「氣候變遷與在地農業跨領域專案」專題式學習架構之課程設計，共計 28 節課，主要為探討氣候變遷對在地稻米產業的影響，並結合自然科學、數學與數位科技之跨域課程。研究者依循「專案式學習 (PjBL)」核心實務所進行的課程設計與實施視為「行動方案」，將教師在整合科技 (TK)、教學法 (PK) 與學科知識 (CK) 的動態調整過程，視為提升「科技學科教學知識 (TPACK)」的專業發展歷程；透過三個班級實際教學之行動循環，持續修正科技融入的教學策略，以優化學習成效。

二、研究工具

本研究蒐集多元之質性資料進行三角檢證，包含教師教學規劃與省思，作為 TPACK 發展之主要依據，另以學生的作業與科技作品，作為 TPACK 實施成效的客觀佐證；說明如下：

- (一) **PjBL 教案設計**：記錄教師如何在 PjBL 各階段（如提出核心問題、持續探究、公開發表等）規劃運用數位科技工具，分析教師 TPACK 轉化。
- (二) **教學省思**：研究者於 PjBL 各階段結束後，撰寫反省日誌，內容聚焦於 1. 科技工具實際應用時所遭遇挑戰；2. 學生對科技應用教學之反應；3. 教師針對突發狀況所調整教學策略等，藉以評估教師 TPACK 落實教學之證據。
- (三) **學生作業與歷程紀錄**：包含學生在「持續探究」階段所產出的學習單、線上協作草稿、資料蒐集紀錄或同儕互評表。這些資料反映教師提供之科技學習鷹架，是否有效支持學生學習歷程，可用於檢視教師 TPK 之適切性。
- (四) **學生智慧農業模型作品**：包含學生產出觀察紀錄、Micro:bit 積木程式碼、LinkIt 7697 物聯網開發版感測器、數位數據圖表、數位簡報、影片、智慧農場設計圖與實體原型模型。學生作品之品質與學科概念正確性，將驗證教師的 TPACK 是否成功轉化為學習成效。

三、資料分析與編碼系統

本研究為針對行動研究歷程中所蒐集之多元資料進行系統化編碼，且為求分析之嚴謹性，研究發展一套四維度的交叉編碼系統 (Matrix Coding System)，用以追蹤教師在「智慧農業」課程中各 PjBL 階段的 TPACK 發展。

每個編碼由四個部分組合而成（範例：LP-DQ-TCK-01）：第一部分為資料來源 (Data Source)，區分為教案 (LP)、教學省思 (TR) 與學生作品 (SFP)；第二部分為 PjBL 活動階段 (PjBL Phase)，包含問題引導 (DQ)、深度探究 (SI)、課室紀錄 (CR)、學生學習歷程 (SL) 與公開發表 (PP)；第三部分為 TPACK 知識向度 (TPACK Dimension)，評估教師展現之 TCK、TPK (進一步細分為 TPK1 至 TPK3) 或最高層次之 TPACK；第四部分則為資料流水號。詳細編碼維度、代碼與具體意涵如表 1 所示。

表 1 國小「智慧農業」PjBL 課程教師 TPACK 發展之資料分析編碼表

編碼維度	代碼	具體意涵與資料對應範疇
------	----	-------------

第一部分 資料來源 (Data Source)	LP	Lesson Plan (教案設計)：記錄數位科技工具之規劃。
	TR	Teaching Reflection (教學省思)：教師日誌、反思與教學策略調整。
	SFP	Student Final Product (學生作品/作業)：歷程紀錄、圖表、感測器程式碼及實體模型。
第二部分 PjBL 活動階段 (PjBL Phase)	DQ	Driving Question (問題引導)：對應 PjBL 第一階段核心問題設計。
	SI	Scientific Inquiry (深度探究)：對應科學探究與 POE 歷程。
	CR	Classroom Recording (課室紀錄/觀察)：課室互動、管理與進度掌控。
	SL	Student Learning (學生學習歷程)：學生資料蒐集、共編與學習單。
第三部分 知識向度 (TPACK Dimension)	PP	Public Presentation (公開發表)：對應 PjBL 第三階段成果展示與評量。
	TCK	Technological Content Knowledge：科技與學科內容整合知識。
	TPK	Technological Pedagogical Knowledge：科技輔助教學知識(依教學複雜度細分為 TPK1, TPK2, TPK3)。
第四部分 資料流水號 (Sequence)	TPACK	Technological Pedagogical Content Knowledge：最高層次之綜合應用。
	-01,-02..	用於標記資料庫中特定證據提取點位之兩位數序號。

肆、結果與討論

透過分析教案設計、學生作品與教學省思，本研究提出「PjBL-TPACK 對應知識」，證實教師在 PjBL 不同階段中，有關 TPACK 各知識向度之轉化及調整：

一、研究結果

(一) 階段一：問題引導與規劃設計（對應 TCK 發展）

1.PjBL 的課程設計：

為達到聯合國永續發展目標 SDG 13：氣候行動，課程設計以家鄉稻米產業，面臨乾旱、寒害、蟲害、淹水、溫差等真實情境問題，引導學生進行田野調查及訪談家鄉親友；如寒害（氣溫）、作物蟲害（溫室效應）、稻熱病（日照）、淹水（豪大雨）、颱風（風速）、乾旱（氣溫、缺水）等問題；並探討傳統預防及解決方式，是否有可供改進之處。

2.TPACK 的發展證據：

(1)教師引導學生使用 iPad、手機等行動載具，運用 google map 查詢及定位

農地，拍攝及記錄田地災損，並將影片上傳雲端，紀錄家鄉農業受氣候變遷的長期影響。教師改變以往傳統數位教學方式，透過網路查詢線上資料，以單槍投影機展示影像資料，就認為有達到數位教學，但學生對家鄉農業沒有切身感受(LP-DQ-TPK1-02)；透過學生自行拍攝、紀錄家鄉農業之數位影像，覺察農地面臨的災害問題，引導學生深刻體認氣候變遷對農作物影響的複雜學科內容(CK)。此問題從引導學習與設計階段，教師展現明確科技內容知識(TCK)。

- (2)各組進行訪談的對象、主題、內容，及工作分配(訪問者、紀錄和攝影)，都由學生自主規劃，返校後學生整理影片資訊，進行影片剪輯、摘錄訪談稿、加註標題及文字等，並回傳 classroom，完成專題調查。在前後班級教學中，發現有小組拍攝影片效果不佳，因此後續和班級學生討論改善的方式：

「從學生展示影片發現，有的影像搖晃、無法聚焦，有的主角在旁邊，畫面不完整等，經過比較及討論，學生能提出架設腳架或平放桌面，可以修正此狀況，更加深對 ipad 工具使用的能力。」 (SFP-CR-TPK1-01)

(二) 階段二：深度探究與小組協作（對應 TPK 之發展）

1.PjBL 的課程設計：

學生學習組裝風向、風速、土壤濕度等感測器，對於環境溫度、濕度、日照、水位、馬達、蜂鳴等感測，並學習編寫程式以收集環境數據，有效監控數值。

2.TPACK 的發展證據：

- (1)教師在此階段結合自然科學 POE 教學與 Micro:bit 或 LinkIt 7697 物聯網感測技術，充分展現科技教學知識(TPK)的運用。分析資料顯示：

「教師引導學生從訪談、觀察農作物災損，預測可能受影響的氣候型態，接著讓學生「觀察」感測器監控數據及分析結果（如蜂鳴器警示、溫濕度數值、光線、雨量、風速、風向感測等），最後由學生解釋所造成的影響，印證或修正農業災損原因。」 (LP-SI-TPK3-01)

- (2)在教師利用 Google 試算表讓學生將數據轉化為圖表；從 SFP-SL-TPK2-03 各組學生的圖表作業中可見，教師成功地運用科技鷹架，將傳統的單向講述轉化為運用科技，進行數據及資料轉化之探究答案的歷程。

- (3)學生進行資料蒐集、問題解決與團隊協作部分，教師面臨將抽象氣候數據具象化之教學挑戰。初期，教師以傳統資料呈現方式指導，造成學生在彙整與協作上遭遇困境，經教師反思及調整教學策略，引入數位協作雲端共作後，解決及提升學生科技應用學習：

「學生初期利用小白板繪製設計圖及說明原理，在拍照上傳雲端，但設計圖難以再製，需再修改或重新繪製；後期設計學生利用雲端共編文件(如

Google Docs) 整理資料, 並使用數位平台進行討論。透過雲端數位學習管理, 能監控各組進度, 並在學生遇到設計圖修正困境時, 獲得解決。」(TR-CR-TPK3-09)。

上述省思日誌所示, 教師非單純指導軟體操作(TK), 而是深刻覺察到傳統繪圖工具所帶來的學習困境; 經反省後, 教師引入數位共同編輯, 重構小組協作的教學鷹架, 此一教學策略之動態調整, 呈現教師 TPK 轉化為解決真實課堂問題之表現。

(三) 階段三：公開發表與評量省思（對應 TPACK 綜合能力）

1.PjBL 的課程設計：學生運用「曼陀羅思考法」與設計思考歷程（同理、定義、發想、建立原型、測試修改），利用紙箱與感測器，製作解決農損之「智慧農場模型」，並向家長、農民及縣內資訊科技專長教師展示及發表作品。

2.TPACK 的發展證據：

- (1)教師展現 TPACK 的綜合應用層次, 不再只是教導單一科技操作, 而是扮演學習的引導者; 教師整合科技（數位創作與評量工具）、教學法（專案發表與同儕互評）以及內容（學科核心知識），且提升學生作品的品質, 印證教師 TPACK 課程設計之成效。
- (2)教師整合自然學科知識（農業與氣候）、科技工具（雷雕、感測元件編程）與教學評量（同儕互評、成果發表與家長回饋）; 從 SFP-PP-TPK3-04 記錄顯示, 學生從製作「具備自動澆水與溫度調節功能的智慧溫室模型」作品中, 運用設計思考步驟, 引導學生使用紙箱、木板、積木組裝和感測器等, 分組分工, 將所設計模型實作產出。教師引導學生測試各模型成效, 分析學生所編寫程式符合問題解決; 各組作品如果不符合預期, 組內成員進行討論、修正、改良, 拆除重作, 提升作品功能及達到問題解決。
- (3)教師發現學生能力因有所落差, 造成部分學生在課堂上所學有限, 為達到 PjBL 小組合作、問題解決的學習目的, 教師在教學中設計: 「針對同儕間科技能力落差, 需採異質性分組並利用感測器的聲光效果來提高學習動機」(TR-CR-TPK3-04)。可見教師意識到單純的科技知識(TK)不足以解決教學現場問題, 教師更需要具備高度後設認知, 與對學生的了解(Student Knowledge,SK), 並結合教學法(PK, 如異質分組與引起動機), 彈性調整科技教學策略, 達到差異化之科技教學知識(TPK)。
- (4)在學生作品與作業方面, 教學設計由各組繪製設計圖、實作產作, 並透過公開發表、報告及同儕線上互評。教師於教學省思提及：

利用科技工具進行總結性評量, 利用 Google 表單線上評分及文字回饋, 對科技融入內容理解(TCK)及教學知識(TPK)整合有進一步體悟。(TR-PP-TPK3-02)

從教學歷程和省思中可見, 教師透過線上共評的方式, 對整合 TPACK 的教學知能有重大啟發。傳統單向之總結性評量重視標準答案, 而在本研

究 PjBL 第三階段，教師整合數位展示科技、專案發表與學科概念，並透過 Google 表單進行線上同儕互評。這樣的評量方式，能兼顧評量學生批判思考(Critical thinking)、溝通(Communication)、協作(Collaboration)和創造力(Creativity)等。高層次的 TPACK，展現教師將科技作為「主要增能資源(Empowering resource)」，讓科技潛藏在教學脈絡中，而讓學生的創新思維成為課堂的主體。

二、研究討論

隨著數位學習環境的興起，教師在教學實踐中導入科技工具，不僅改變教學策略及成果展現，亦促使科技知識、教學法知識與學科內容知識相互影響，進而發展其科技教學內容知識(TPACK)。本研究以專題式教學實務於真實教學情境中，透過不斷試探、反思與調整，對應教師科技專業教學能力(TPACK)深入探究及實證，展現出教師專業知能成長與轉化如下：

(一) 以 PjBL-TPACK 對應教師 TPACK 發展的三階段歷程

本研究將科技融入課程設計，支持教師善用數位科技進行課堂教學；研究結果提出在「問題引導與規劃設計」階段顯著：發展科技內容知識(TCK)，由運用多媒體(如影音或時事新聞)來呈現對真實世界之挑戰，引發學生動機，發展由學生利用 ipad 訪談及田野調查，拍攝真實情境之問題，紀錄並覺知核心問題。教師在教學行動中，觀察學生拍攝影像搖晃、未聚焦等問題，經由反思調整教學策略，引入腳架與攝影運鏡指導，產生行動研究中「計畫—行動—觀察—反思」(Plan—Act—Observe—Reflect)之第一次循環。

在「深度探究與小組協作」階段深化科技教學知識(TPK)，發展使用 Micro:bit / LinkIt 7697 物聯網感測技術，紀錄作物受氣候影響結果，及利用數位平台、雲端資料庫等回報學習成果，發現學生難以整合數據，反思後再次調整教學計畫，引入 Google 試算表作為數位圖表鷹架，教師調整同儕協作的教學策略，產生行動研究中第二次循環。

最後在「公開發表與評量省思」階段，教師整合科技工具、專題發表教學與學科概念，引導學生設計及製作科技智慧模型作品，將學科知識轉化為具科技應用作品並公開展示，達成 TPACK 的高度綜合應用；其中，教師也透過改變分組和作品多元評量方式，產生行動研究中第三次循環。

研究顯示，教師 TPACK 發展能從專題式教學之情境脈絡中成長；具備高層次 TPACK 教師不再只是教導工具功能，而是將科技作為「主要增能資源」，重新定義學習任務(Angeli & Valanides, 2009)。

(二) PBL 課程設計的核心實務與教師角色的轉變

在 PBL 的課程設計中，教師的角色從傳統的「知識傳授者」轉變為「學習情境的設計者」與「引導者」。在 PBL 課程設計中的實踐，教師運用教學知識來設計 PBL 的課堂流程，例如使用科技工具、應用程式、平台等引導學生學習，並設

計教學策略，提供學生預測、觀察及分析資料，進而建構自己的內容知識。由此歷程，教師必須深諳學科知識（如科學探究方法），並於 PjBL 課程中預先決定如何利用科技幫助學生掌握複雜概念，充分作為「學習情境的設計者」。

此外，為指導學生應用數位科技製作智慧模型作品，教師不僅需知道「如何操作工具」，更重要的是深刻理解，科技如何能增強內容並改善學生學習；具備高度 TK 的教師不會只停留在應用科技輔助教學，而是會利用科技擔任「引導者」協助學生從設計作品中學習。

（三）透過設計而學習（Learning by Design, LBD）能加強提升教師 TPACK

本研究引入 LBD 作為中介理論，教師團隊為產出符合 PjBL 教學之教案，以智慧農業課程為主軸，指導學生應用新興科技、創意思考，探討對家鄉產業的影響，設計智慧農業模型作品，用行動解決家鄉問題，該課程設計曾獲國內全國性創新教學競賽肯定。教師於解決真實教學問題並設計 PjBL 科技融入教案的過程中，能有效整合科技、教學策略與內容知識，檢視教師在規劃 PjBL 課程各階段時，其 TPACK 如何隨之成長。

本研究以實證教學經驗，不斷反省及修正教學設計，以提升學生參與 PjBL 學習成效；其研究限制如下：

1. 樣本與推論性限制：本研究為單一偏遠地區國小之質性行動研究，雖然獲致深入的歷程觀察，但其研究結果對都會或不同學區之推論可能有限。
2. 方法論建議：未來研究可擴大樣本範圍至多所學校，或採用質量混合設計（Mixed Methods），教師以 TPACK 前、後測問卷，結合課室觀察與訪談，藉由量化數據，進一步檢驗本研究 PjBL-TPACK 動態發展信效度。

另於氣候變遷加劇、傳統農業面臨極端氣候（乾旱、寒害、豪雨）威脅當下，教師 TPACK 之提升，不僅是為了促進學習動機或操作科技能力，其深層意義在於學生「賦能（Empower）」；透過 PjBL 引導學生利用物聯網感測器監控環境數據，並設計智慧溫室模型，是培養學生具備解決全球性永續問題之數位素養與科技實踐力。本研究之 PjBL-TPACK 實踐模式，為達成 SDGs 氣候變遷與農業轉型教育（Education for Sustainable Development Goals, ESDG），提供可供參考的教育模式。

伍、未來展望

本研究透過「教案、學生學習單、學生作品與教學省思」等多重質性實體作品分析，客觀描繪出教師從 TCK、TPK 到高度 TPACK 綜合應用之動態發展歷程；並運用專案式學習（PjBL）之課程設計，是提升教師 TPACK 之有效且具深度之路徑。

在將 PjBL 轉化為實際課程設計之行動過程中，教師與學校常須面臨許多教學時間分配及限制、缺乏協同教師支援、缺乏行政支持、取得必要教材的管道。而本研究教師團隊因定期進行課程回報、科技工具及材料支援，得以讓課程執行順利；因此，有效的 PjBL 實施需要大量的協調工作，包括跨學科的規劃、持續

的形成性評量設計。為了使 PjBL 能發展及落實教學，學校及教師團隊可利用社群或課程研討機制，提供實質的支援，期能讓教師從課程設計中提升 TPACK。

2025 至 2026 年的教育與農業現場將面臨人工智慧的全面衝擊，在農業科技（AgTech）領域，精準農業、無人機與 AI 數據預測已成為主流。在教育現場，GenAI 也正重塑教學設計的歷程；未來行動研究與師資培訓，可進一步探討如何將 GenAI 融入 PjBL 之備課與實施歷程。廣言之，探討教師之專業知識如何從傳統的 TPACK 跨越並演化至 AI-TPACK，將是未來關鍵性學術議題。



參考文獻

- Akyuz, D. (2018). Measuring technological pedagogical content knowledge (TPACK) through performance assessment. *Computers & Education*, 125, 212–225.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & Education*, 52(1), 154–168.
- Astuti, D., Retnawati, H., Prahmana, R. C. I., Aljura, A. N., Dewanti, S. R., & Kassymova, G. K. (2026). STEM/STEAM, ethnomathematics, and TPACK: A systematic literature review and implications for project-based Ethno-STEAM in pre-service mathematics teacher education. *STEM Education*, 6(3), 350–371.
- Baran, E., & Uygun, E. (2016). Putting technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK) in action: An integrated TPACK-design-based learning (DBL) approach. *Australasian Journal of Educational Technology*, 32(2), 47–63.
- Canbazoglu Bilici, S., Guzey, S. S., & Yamak, H. (2016). Assessing pre-service science teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK) through observations and lesson plans. *Research in Science & Technological Education*, 34(2), 237–251.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C. C. (2010). Facilitating preservice teachers' development of technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK). *Educational Technology & Society*, 13(4), 63–73.
- Dewi, N. R., Rusilowati, A., Saptono, S., & Haryani, S. (2022). Project-based scaffolding TPACK model to improve learning design ability and TPACK of pre-service science teacher. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(3), 420–432.
- Han, S. Y., Yalvac, B., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2015). In-service teachers' implementation and understanding of STEM project based learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11, 63–76.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2005). What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131–152.
- Lakhe Shrestha, B. L., Dahal, N., Hasan, M. K., Paudel, S., & Kapar, H. (2025). Generative AI on professional development: A narrative inquiry using TPACK framework. *Frontiers in Education*, 10, 1550773.

- Larmer, J., Mergendoller, J. R., & Boss, S. (2015). *Setting the standard for project based learning: A proven approach to rigorous classroom instruction*. Alexandria, VA: ASCD.
- Masnur, Gani, H. A., & Mustafa. (2024). TPACK-based project-based learning model development to improve the four C's students' skills. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 50(8), 538–546.
- Matahari, D. B., Nurohman, S., & Jumadi, J. (2023). Research trends in project-based learning models in facilitating 21st century skills: Systematic literature review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 1607–1614.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Paramitha, A. A., Nurwahidin, M., Rusminto, N. E., & Firdaus, R. (2025). Technology integration in teaching materials for optimizing students' learning skills through PjBL approach. *Jurnal Teknologi Pendidikan: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pembelajaran*, 10(4), 863–873.
- Sánchez-García, R., & Reyes-de-Cózar, S. (2025). Enhancing project-based learning: A framework for optimizing structural design and implementation—A systematic review with a sustainable focus. *Sustainability*, 17, Article 4978.
- Tanak, A. (2018). Designing TPACK-based course for preparing student teachers to teach science with technological pedagogical content knowledge. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(1), 53–59.
- Yao, N., & Abd Halim, N. D. (2026). Enhancing STEM teachers' technology integration competencies to support education for sustainable development. *Sustainability*, 18(5), 2520.

An Action Research on Enhancing Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge through Project-Based Learning Curriculum Design: A Case Study of "Smart Agriculture" in Primary School

Wen Ling Chen*

Student

Graduate Institute of Science Education

Department of Education and Human Potentials Development

National Dong Hwa University

E-mail : tjpmkimo7@gmail.com

Shi Wen Chen

Professor

Graduate Institute of Science Education

Department of Education and Human Potentials Development

National Dong Hwa University

E-mail : shiwen@gms.ndhu.edu.tw

Abstract

In response to the global trend toward digital learning, Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) has become a critical professional competency for fostering instructional innovation. This study employed a qualitative action research design to investigate the implementation of an interdisciplinary Project-Based Learning (PjBL) curriculum on Climate Change and Smart Agriculture for elementary school students in eastern Taiwan. Multiple sources of qualitative data were collected, including lesson plans, teacher reflective journals, classroom observations, and students' digital modeling artifacts. Triangulation was employed to enhance the credibility and trustworthiness of the findings.

The results revealed a dynamic developmental trajectory of teachers' PjBL-TPACK construction throughout the instructional process. Findings demonstrated that teachers' professional competencies progressed through distinct stages within the reflective cycles of Learning by Design (LBD). During the problem-framing phase, teachers strengthened their Technological Content Knowledge (TCK) by utilizing

digital technologies to concretize complex climate change concepts. In the in-depth inquiry phase, the development of sensor-data scaffolds enhanced teachers' Technological Pedagogical Knowledge (TPK), enabling more effective support for student investigation and analysis. Finally, during the public presentation phase, teachers integrated technology, pedagogy, and disciplinary content to achieve competency-based assessment and authentic disciplinary practice, reflecting the enactment of comprehensive TPACK.

The study provides empirical evidence that the LBD process effectively facilitates the transformation and advancement of teachers' TPACK. Furthermore, the findings contribute practical implications for teacher professional development and the design of digitally enhanced interdisciplinary curricula in contemporary educational contexts.

Keywords: Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), Project-Based Learning (PjBL), Learning by Design (LBD), Action Research, Smart Agriculture



