

探究 STEAM 教育實踐聯合國永續發展目標 (SDGs) 問題導向學習模式

何昕家 黃天麒

本研究主要在將聯合國永續發展目標 (SDGs) 融入科學、科技、工程、藝術與數學教育 (STEAM) 的實踐方法，透過問題導向學習模式，以臺灣首家發行SDGs校訂教科書的出版社作為研究對象，啟發學生解決與永續發展相關的問題，引導學生對SDGs進行深度反思。透過個案分析，我們提供實用的教學參考，期待能提升學生對SDGs的理解和實踐力。結論指出，STEAM教育與問題導向學習相結合為學生提供了綜合性框架，培養創造力、批判性思維和團隊合作能力，使他們成為具有全球視野和社會責任感的公民。建議教師將SDGs納入教學內容，鼓勵學生在跨學科的項目和活動中合作，培養解決實際問題的能力。未來研究建議採取多面向的應對策略，包括整合性課程設計、跨學科團隊合作、跨年級整合性學習、問題導向學習，以及社區資源的概念，促進學科之間的融合，使學生更全面地應對複雜的現實挑戰。

關鍵詞：永續發展目標、STEAM 教育、教科書研究、問題導向式學習

收件：2023年7月20日；修改：2024年5月27日；接受：2024年6月28日

Integrating the United Nations' Sustainable Development Goals into STEAM Education: A Problem-Based Learning Approach in Elementary and Secondary Education

Shin-Jia Ho Tien-Chi Huang

In this study, our goal was to incorporate the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) into STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) education through a problem-based learning approach. We focused on a pioneering SDG curriculum textbook publisher in Taiwan as our research subject. Our strategy involves inspiring students to address sustainability-related problems. We provided practical teaching references to enhance students' understanding and application of the SDGs. Our findings indicate that integrating STEAM education with problem-based learning equips students with a comprehensive framework that fosters creativity, critical thinking, and teamwork skills. This approach aids in cultivating global-minded and socially responsible citizens. Therefore, we recommend that educators incorporate the SDGs into their teaching content and encourage student collaboration in cross-disciplinary projects and activities to cultivate practical problem-solving skills. Future studies should explore multidimensional strategies that include integrated curriculum design, cross-disciplinary teamwork, cross-grade integrated learning, problem-based learning, and the incorporation of community resources. These strategies can promote the fusion of disciplines and enable students to comprehensively address complex real-world challenges.

Keyword: Sustainable Development Goals, STEAM education, textbook research, problem-based learning

Received: July 20, 2023; Revised: May 27, 2024; Accepted: June 28, 2024

Shin-Jia Ho, Associate Professor, General Education Center, National Taichung University of Science and Technology.

Tien-Chi Huang, Professor, Department of Information Management, National Taichung University of Science and Technology, E-mail: tchuang@nutc.edu.tw

壹、背景脈絡

全球氣候變遷現象可以從自然資源逐漸枯竭、生物多樣性耗損、疾病擴散頻仍、糧食分配不均、貧窮人口不斷增加等嚴峻問題窺知一二。大自然失衡的現象讓人類開始反思：過去的經濟發展模式是否全然正確？今後發展方向如何在自然負載能力範圍與人類需求間取得平衡？永續發展是承載這時代、與上述反思相關之各種重要思潮的方舟，其企盼扭轉當下令地球失衡的發展模式，追求人類更長久的和平與繁榮。回顧數十年來國際輿論對永續發展的討論，其不變思考是：教育為實現永續發展之重要關鍵。基於以上原因，本研究因此欲自永續發展概念切入，進行教育工作的扎根。

教育是培育下一代未來能力的重要途徑。John A. Laska 定義教育為學習者或其他人所做的有計畫的嘗試，以便控制或引導、指導、影響、經營學習情境，其目的在獲得所期望的學習結果或目標（簡成熙，2010）。如何透過教育，同時改善教育與學習的環境讓學生能持續學習，以應對未來社會，這是當前人類必須要思考的重要問題之一（Theisens et al., 2008）。前聯合國秘書長 Annan 在 2002 年永續發展的高峰會議（World Summit on Sustainable Development, WSSD）上指出：

教育是達成永續發展的鎖鑰，教育民眾永續發展，並不只是把環保的內容加入課程中，還要促成在經濟目標、社會需求、與生態責任間的平衡，教育必須讓學生具有與社群永續發展及生活的相關技能、視野、價值、和知識，這必須是科際整合，結合不同學科的概念與分析方法。（張子超，2004）

與現今大多數教育實踐不同的是，Annan 提及之「教育」，指的是全方面且多元的教育，此種教育不應侷限於知識的傳授，或是科技的教導，卻是開拓心中的真見與真知（覺知）（United Nations, 2003）；曉

雲法師（1994）於《拓土者的話》一書中提及：

關照環境教育，可能得到意外的效果；因環境對吾人日常生活接觸，於不覺間潛移默化，而且印象深刻，非祇言語之聽受而已。

（頁 48）

環境之與吾人生活，是直接或間接的影響吾人之心身，甚至創造吾人思想與展開慧命的開拓。若在比較現實一般來說，那就對吾人學業進修與事業發展都具有極為密切的關係。（頁 111）

由此能瞭解到，完整的教育應包含教學內容與真實環境連結，必須令兩者相輔相成，開拓學子心中的真知灼見。

經濟合作與發展組織（Organization for Economic Cooperation and Development, OECD）於 2015 年啓動了「教育 2030：未來的教育與技能」專案，專案中啓動了「邁向 2030 的學習指南」討論，主要在發展一種新的學習框架，同時描述需要以什麼樣的能力塑造未來的一代。此學習框架包括知識、技能、態度和價值觀；個人和社會的福祉；變革性能力，透過反思、預期和行動的過程，調動知識、技能、態度和價值觀，以便發展與世界接觸所需的相互關聯的能力；而在 OECD 的學習框架中更直指需思考並培養創新之學習環境，同時強調需關注學生的包容性增長，促進教育系統和關注整全的生態系統的變化。另外根據 OECD（2017）報告指出，為達 OECD 成員國對 SDGs（Sustainable Development Goals）之目標四教育領域所作出的承諾，各成員國應該立即加強力道提升其教育體制的品質及公平性，以實現於 2030 年前達成目標之期許，其中並以教育領域永續發展目標「確保有教無類、公平以及高品質的教育，以及提倡終身學習」為評量標準。而目前臺灣十二年國教課程綱要便是以此教育框架中所提及素養為基底——即 3 面 9 項之核心素養，並以此核心素養來回應國際脈絡與趨勢。教育並不限於學校教育或學校中傳統的課程、教學法。教育就如同學習，也是終身的歷

程，可以發生於各種不定的環境和情況，教育是有具體的理念，可讓學習者經由有計畫地控制而趨向期望的目標。

SDGs 的 17 項目標及 OECD 著重的核心素養，均不斷強調學習應與真實情境、真實世界議題與連結。在臺灣，行之有年的環境教育法也強調孩童於學習階段應多一份與自然環境的接觸和學習的機會，但此理念在臺灣教育現場，仍因以課業為重，減少了讓孩童真正走出室外實際學習的機會。在臺灣，較環境教育發展得更早、範疇也來的更為廣泛許多的戶外教育——例如早期學校所舉辦之校外教學即屬戶外教育發展脈絡一支——也有類似倡議，只是學校多半以著名的遊樂園區為主要選擇，較少會前往具有自然環境或人文歷史的地點，追溯其因，大抵因為早期的場所選擇參考依據，尚缺乏多元與完整的可參考資源。臺灣在環境教育法與戶外教育的推動下，如何於正規教育和非正規教育中適當的為學童安排優質化的戶外教學或教育，成為當今許多學者所努力的目標。為了讓十二年國民基本教育（以下簡稱十二年國教）的落實能夠更有意義，許多學者呼籲應在此關鍵時刻，將戶外教育的意涵予以融入課程綱要中，同時主張讓戶外學習成為學生在接受正規教育的過程中、所應該擁有的權利之一。STEAM 教育的目標之一，為培養學生跨域探究的精神，但在臺灣傳統的課室教學，講述式的課程仍為主流，即教師傳授知識學生接受或回應，故學生對於問題發掘及推理之能力受侷限，更遑論探索其生活周遭的問題及產生學習動機並試圖解決問題（洪逸文、湯宜佩，2016）。傳統的教學方法是簡單且有效率，但卻不能提起學生的學習興趣，反而形成學習意願及成效低落，故運用多元的教學方法改善教學成效刻不容緩（汪慧玲、沈佳生，2013）。問題導向學習（problem-based learning, PBL）與 STEAM 整合教學結合的方式，從地方環境議題擴大到全球議題，著重引導學生從在地進行探索學習與認識科學知識，運用 STEAM 的觀點來描述問題，確認在 STEAM 學科中的關鍵概念，並於在特定情境中，使用 STEAM 知識描述、解釋、方案及預測現象，進行假設、證據及推理過程的反思歷程。

本研究以領先的角色開展了在國內尚屬首次的探索，著重將 SDGs 融入中小學的 STEAM 教育中，並進行 PBL 的設計與研究。儘管在國際間，對於此議題的研究仍然稀疏，然而跨國組織如樂施會（Oxfam Education）已出版了 *The Sustainable Development Goals: A Guide for Teachers*（Oxfam Education, 2019），而 Regional Centre of Expertise: Borderlands Mexico-USA 也有 *United Nations Sustainable Development Goals: Teachers' Resource Book*（López et al., 2018）。此外，加拿大教育部的 *A Guide for Teaching the Sustainable Development Goals*（Manitoba Council for International Cooperation, 2021）、德國教育部的 *Teaching the Sustainable Development Goals*（Goethe-Institut, n.d.）以及聯合國的 *Schools in Action, Global Citizens for Sustainable Development: A Guide for Teachers* 和 *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*（United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2016, 2017）等出版物都是國際間對此議題交流的重要依據。值得一提的是，STEAM 教育，自 1986 年在美國提出以來，一直以強調科技合作與探究真實世界為主軸。將 STEM 與藝術結合，使我們能夠創造跨學科的 STEAM 課程空間，設計變革性的教學法，培養學生的學科知識／技能，喚醒他們的創造性自我意識，提升他們的道德／倫理和精神意識，並賦予他們能力實踐永續發展（Taylor & Taylor, 2019），而 SDGs 提供了跨學科 STEAM 教育和設計思維方法的真實情境，這也為本研究提供了深厚的理論基礎與實踐指引。

本研究主要在探究 STEAM 教育實踐 SDGs 問題導向學習，以創建適合中小學生的創新教育模式。研究基於臺灣首個建立永續教育專區的教科書出版社提供的 SDGs 課程，深入分析創新學習模式如何整合至各學科和課程中。此外，教育在實現永續發展目標中扮演關鍵角色，需要強化學生在知識、技能、態度和價值觀方面的全面發展。根據 OECD 的指引，教育系統應致力於創新學習環境及提升學生包容性。

貳、文獻探究

一、永續發展目標與教育

聯合國於 2015 年透過 2030 年完成經濟成長、社會進步以及環境保護三個面向的 17 項 SDGs。透過學校提供的課程教導學習者對於永續的態度轉變為實踐行為，正是達成 17 項目標的重要途徑。因此聯合國教育、科學及文化組織 (UNESCO) 提出 2005~2014 年永續發展教育 (education for sustainable development, ESD) 十年計畫，其目的於透過良好且平等教育，學習永續發展的未來，並建立未來對於社會改革時也不忘尊重他人、差異、多樣性、環境以及地球上任何資源的初衷 (張珍悅、徐勝一，2010；UNESCO Education Sector, 2005)，促使各國開始重視永續發展教育的關鍵因素 (何昕家、張子超，2011；Bhowmik et al., 2018; Trencher et al., 2014)。臺灣早在 2001 年將永續發展的議題融入十二年國教當中，培育具有現代全球公民素養之目標邁進 (張子超，2001)，將課程分別重視為兩類：(一) 校園對於環境的政策及建築；(二) 針對環境教育的課程安排。

透過基礎教育讓學習者們認識了永續發展的意義，而高等教育中是直接面對未來落實環境永續、經濟永續以及帶動社會永續的重要族群。過去有許多研究提出永續大學概念，其目的主要於在高等教育中討論思考提升永續的實際行動，展現出高等教育整合跨領域學科之能力 (Alm et al., 2021; Fuertes-Camacho et al., 2019; Gómez-Martín et al., 2021; Lambrechts et al., 2013; Rajabifard et al., 2021; Weybrecht, 2021)，並培養未來能夠在職場上展現對永續發展知識、看待永續發展的態度及價值觀，以及能夠實踐永續發展的技能 (Hallinger et al., 2020; United Nations Sustainable Development Solutions Network, 2020)。因此 UNESCO 提出 4 項視角以及對於各國推動 ESD 的共識 (王順美，

2016；UNESCO, 2014）：首先，轉化視角、情境視角：ESD 須強調學習內容，透過教學法、學習情境最終達轉化社會之目的。1. 學習內容：與國際公約相呼應。2. 教學法：以學習者為中心，透過互動、探索以及自我導向的學習方式。3. 學習情境：包括學習過程中的實際環境或是透過虛擬環境。其次，整合視角、批判視角：提升學習者的批判、系統系的思考能力，分工合作的決策能力以及對於目前及未來的生活環境的責任心。

透過以上的方式建立學習者對正面的社會轉化，藉由教育提供的學習環境，轉化為未來進入社會文化及綠色經濟的情境，並成為全民公民，面對即將面臨的全球資源耗竭的挑戰。而我國教育部推動了各式各樣和永續發展與教育相關的計畫，像是 2003 年建立「永續發展的綠色學校」、2017 年永續校園探索計劃啟動、2018 年永續校園計畫以及 2018 年啟動大學社會責任（university social responsibility, USR）等，提供了許多具體作法，讓大家對永續發展更加重視（陳沛嵐，2021）；國內學者葉欣誠（2017）也透過環境教育與永續發展提出的框架，分析出相關議題，進而探討永續發展融入教育的重要性趨勢，由此可知，臺灣日漸重視永續發展與教育的結合。

目前各國有關 ESD 的研究正在逐漸增長的趨勢（Weiss & Barth, 2019），各國各校也已經將 SDGs 融入課程當中，不論是在課堂中融入許多 SDGs 概念又或者僅帶入相關 SDGs（Chang & Lien, 2020; Mazon et al., 2020）。過去研究透過主動學習法和行動學習法等，以學習者為中心的學習法將永續教育融入商管及設計相關的課程當中。實行 ESD 的目的是希望培養學習者勇於承擔的責任心、瞭解永續發展能帶來的友善結果以及對於環境保育的意識，透過設計思考的角度，啟發學習者未來就業時落實永續發展的實用性，解決企業在永續環境方面的實際問題，最終能夠領導企業往環境保護（E, environmental）、社會責任（S, social）以及公司治理（G, governance）（簡稱 ESG）的目標前進（Alm et al., 2021; Gatti et al., 2019; Hsieh, 2020; MacVaugh & Norton, 2012; Ordaz et al., 2021）。

二、STEM 發展至 STEAM

STEAM 源於 1986 年美國國家科學委員會 (National Science Board, NSB) 所提之建議，是結合科學 (science)、科技 (technology)、工程 (engineering) 及數學 (mathematics) 的 STEM 概念 (Kelley & Knowles, 2016)。歷經布希 (George W. Bush)、歐巴馬 (Barack Hussein Obama) 兩任總統，在 2009 年 Educate to Innovate 的教育改革的主軸。Yakman (2010) 再提出在 STEM 中加入藝術 (art)，變成 STEAM。其中“A”是廣義的美與人文素養的養成。

隨著時代進步，有學者認為倘若孩子缺少創造力、藝術與美感，則不足以因應時代的快速變遷，因此提議將藝術的概念加入 STEAM 中，形成 STEAM 的教學架構 (Yakman, 2008)。即「STEM+ART = STEAM」(Maeda, 2013)，以激發學生批判思考、創造思考、跨學科思考、價值觀及道德觀等方面的技能 (Wilson et al., 2021)，如圖 1 所示。STEAM 教育強調以學習者為中心，透過跨領域的學習方式，主要在培養學生的創造能力、溝通能力、團隊合作與解決問題能力等高層次思維 (Tsai et al., 2018)，也強調讓學生參與實踐活動，透過直接體驗的方式刺激學習，如今已被各國教育所重視並廣泛應用。不同於傳統的工程教育，STEAM 課程是一種整合式的教學與學習途徑，注重實作學習 (hands-on learning) 及心智學習 (minds-on learning) 的平衡，以「科技與工程議題」為核心、「工程設計」歷程為架構，「科學探究」、「數學分析」及「科技工具」為知識整合與應用的要項 (范斯淳、游光昭, 2016)。目的是為了讓學生不只是背誦知識，而是要活用思考，解決實務問題是一種應付未來世界的核心能力。據此，STEAM 課程逐漸成為中學與高等教育發展工程教育的重點方向 (林坤誼等人, 2013)。

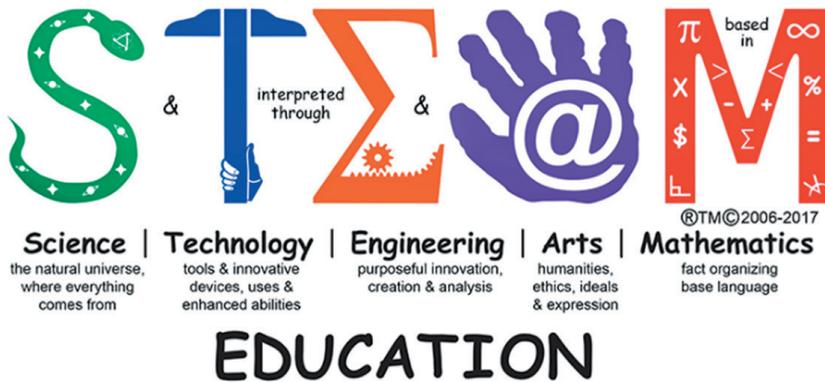


圖 1 STEAM 5 大領域內涵

資料來源：Yakman（2019）。

推廣 STEAM 教育不外乎是因為其核心特徵分別有跨學科、趣味、體驗、情境、協作、設計、藝術、實證和科技增強。Roberts（2014）便將小學科學與數學邏輯結合成一種新系統，讓小學生接觸空間和像素藝術，激發對科學、工程和數學的興趣，帶領學生親自實際接觸課本所教的理論，更能活用大腦激起學習的興趣。而從 STEM 發展至 STEAM，更是擴充了創意思考，因為 STEM 傾向於聚斂性思考，而添加的藝術觀點能增加擴散性思考。以 STEAM 概念的新方式結合教育，可以彌補傳統 STEM 缺乏的創新、創造力以及多方面思考，而不單單只用已有的知識和經驗，按照傳統的方法，尋求解決問題的正確答案（Kim & Park, 2012; Land, 2013）。換言之，作為本世紀初美國提出的新思維，STEAM 的教育宗旨並不是鼓勵分科教學，而是企圖帶起是透過相關課程整合五大領域知識，消弭學科隔閡，藉由不同的環境、專案活動中，以「多元」管道的知識來解決問題；是一種以培育整合型、問題解決型人才為宗旨，之綜合學科教學取向。

三、STEAM 與永續發展教育

根據英國教育研究學會（British Educational Research Association, BERA）調查指出，STEAM 理念已被全球大多數國家採用。美國將

STEAM 教育列為一項國家教育重要改革策略，學生從幼兒園到高中都需接受 STEAM 教育，以鼓勵學生以不同領域知識的角度瞭解世界，培養他們創新能力 (Hsiao & Su, 2021)。STEAM 教育宗旨期望學習者能利用跨領域知識來解決一些複雜的問題。關於跨領域知識整合，許多國家逐漸將 STEAM 教育的概念與課程做結合，培養各產業中所需的能力 (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019)，並將其運用在 ESD 中，以解決未來永續環境問題 (Hsiao & Su, 2021)。

聯合國於 2019 年發布了 ESD for 2030 十年政策 (UNESCO, 2019)。許多學校積極參與轉型，將 SDGs 納入 ESD，結合 STEAM 教育的概念和跨學科學習，並將其應用於 ESD (Hsiao & Su, 2021)。先前學者將分析服務學習 (service learning, SL) 方法實施到 ESD，結果表明確實能增強學生對環境意識的重要性，把理論知識應用於有形工作以執行真正的社區服務 (Martín-Sánchez et al., 2022)。另外，有學者將永續發展教育融入虛擬實境 (virtual-reality) 並結合 STEAM 教育課程，學生不僅在自我效能及學習滿意度上有所提升，更激發學生的探索精神以實踐永續發展教育 (Hsiao & Su, 2021)。因此，將 STEAM 概念與永續發展教育結合，能使教育環境培養出未來擔任領導角色的人才，並解決永續發展目標中的社會與環境問題 (Martín-Sánchez et al., 2022)。

在進一步探討 STEAM 與永續發展教育之間的關聯時，學者們提出了多種實施策略和方法。其中，PBL 是一種被廣泛應用的教育方法，可以將 STEAM 與永續發展教育相結合 (Bell, 2010)。PBL 讓學生在實際解決問題的過程中，學習跨領域的知識與技能，同時培養他們在團隊合作、批判性思考和創新能力等方面的能力 (Masek & Yamin, 2011)。這種學習方法不僅有助於提高學生對永續發展議題的認識，還能將永續發展理念融入日常生活中，從而引導他們成為對社會和環境具有責任感的公民。

此外，學者們也探討了教師在 STEAM 與永續發展教育中的角色。教師除了需要具備跨領域知識與技能，還需擁有適應性思維，以便在教學過程中靈活應對各種挑戰 (Harris & De Bruin, 2018)。教師對 STEAM 與

永續發展教育的教學信念、態度和行為模式將直接影響學生的學習成果（Boice et al., 2021）。因此，為提高教學品質，有必要對教師進行專業發展培訓，以提升他們在永續發展教育和 STEAM 教育領域的知識與技能。

另一方面，教育政策在推動 STEAM 與永續發展教育的整合上也起著至關重要的作用。各國政府應將這兩項教育理念納入國家教育政策，並制定相應的策略和指標，以確保其有效實施（Taylor & Taylor, 2019）。此外，政府還需提供足夠的資源和支持，以鼓勵學校、教師和學生積極參與 STEAM 與永續發展教育的整合與實踐（Skowronek et al., 2022）。這包括提供教材和教具、提升教師專業能力、加強校企合作，以及建立跨學科學習的平臺和機制等（Conradty & Bogner, 2016）。值得注意的是，社區和家庭在 STEAM 與永續發展教育中也發揮著重要作用。學校可以與社區和家庭建立合作夥伴關係，以共同推動永續發展教育的普及和實施（王順美，2016）。此外，家庭可以透過支持孩子參加各類 STEAM 活動，以及在日常生活中引導他們關注環境議題和永續發展目標，來培養孩子對 STEAM 與永續發展教育的興趣和認知（Rodrigues-Silva & Alsina, 2023）。

四、PBL 課程之議題探究式教學

未來人類追求永續發展核心關鍵要素之一便是「教育」，教育為百年大計，未來社會邁向永續發展，每個世代受教育的學生均為關鍵的一環，學校教育需針對永續發展相關議題透過教育讓下一代深刻瞭解，而後落實於日常生活；永續發展教育隨不同時代產生議題有所轉變，為一發展中呼應社會變化議題取向的教育，呼應此議題取向式教育，遂輔以 PBL，PBL 乃指學生以小組合作方式，找出一個和自己有切身關係的主題進行探討，組員再找出相關文獻資料，加以整理，並且分享心得給同儕。

PBL 特點之一強調：

使學生從事複雜、真實世界的議題及問題；如果可能的話，由學生去選擇及界定對他們有意義的議題及問題。(Reese, 2024)

教師可由世界、國內重大的環境議題中導入永續發展的觀念，進而讓學生選擇議題。選定議題後，為完成計畫，學生必須協力訂定計畫；運用合作學習與探尋研究；透過批判性思考及互相激盪建構議題的內涵；成果的輸出方式，也端賴組員的共同決定；此教學法應用於永續發展教育，將符合永續發展高峰會議上所提科際整合重要概念。

環境議題 (environmental issues) 係指環境事件引發各種環境問題，而問題解決的方法因各相關成員所持立場和價值信念不一致所產生相持不下甚至衍生爭議情形，此類產生爭議之環境問題便稱為環境議題 (Hungerford & Tomera, 1985)。Hungerford 等人於 1980 年提出「環境教育課程發展目標」(goals for curriculum development in environmental education)，北美環境教育課程發展的實證研究便有了更為明確的方向。Hungerford 與 Volk (1990) 發現大多數的研究聚焦在問題調查和解決步驟的技巧上，但是有關「發現問題」的實證研究卻一個也沒有。有鑑於許多以教學為導向的文獻中提到，「問題確認」是環境教育的要素之一，於是他們以實驗設計的方法研究「問題確認」的過程對於環境教育教學的成效，並提出以「發現問題」做為環境教育教學的過程，是解決問題或議題分析的先決條件。環境問題常錯綜複雜地牽涉「自然生態」與「社會結構」，因此環境教育是科際整合式的教育，必須以整體性的觀點來探討環境問題；又因環境問題的解決須透過公民社會的運作來達成，所以在發展環境教育課程時，應符合 Hungerford 等人 (1990) 改編環境教育課程發展目標，包含了基礎層次、議題覺知層次、調查與評估層次以及公民責任層次，將其與環境教育課程發展目標的生態學基礎、概念覺知、問題研究與評估及環境行動技能四層次比較對照如表 1。而課程內容則需融合各種學科與許多原則，如此才能成功地協助學習者面對做為世界公民的挑戰 (Hungerford et al., 1980)。

表 1 問題導向議題式教學層次

類別	議題教學目標階層		目標階層
目標	層次	內容	層次
一	基礎層次	提供學習者認識與調查環境的知識，包含議題相關的基礎學科以及社會研究等內容	學科基礎
二	議題覺知層次	增加學習者對議題本身的概念認知，同時也包含瞭解經由調查、評估、個人決策、公民行動以及解決環境議題的需求	概念覺知
三	調查評估層次	提供學習者調查議題與評估替代方案以解決這些議題所需知識與技能的養成，他同時包含了讓學生參與議題調查的一些過程，包含了資料蒐集、解讀詮釋以及溝通	問題研究與評估
四	公民責任層次	引導學習者發展與運用所學做出負責任的決定與採取正向的行動以解決環境議題	環境行動技能

Hungerford 與 Volk (1990) 提出對「議題調查及行動訓練模組」(issue investigation and action training module) 教學步驟簡要敘述如下(許世璋、高思明, 2009): (一) 學生學習如何區分環境事件、問題和議題。強調信念的衝擊和議題的價值, 並且練習議題分析的策略; (二) 接著學習如何定義環境議題, 寫下關於此議題的研究問題, 也學習從二手資料中找到和議題相關的資訊; (三) 學習如何比較及評估二手資料的來源; (四) 接下來學習如何從事問卷調查及取樣, 以獲得科學上有效的資訊; (五) 學生們被教導如何去記錄資料、解釋資料、由資料作出推論, 並依推論提出建議; (六) 此時, 每個學生選擇一個自己有興趣的議題, 做深入地調查; (七) 然後每個學生針對所做的調查, 將書面報告交給指導者, 並向其他同學報告; (八) 學生在完成他們的議題調查後, 應能學習到環境行動的主要方法、分析個人及群體行動的有效性、以及發展出解決議題的行動計畫; (九) 最後, 由學生自行決定是否要實踐此一計畫, 答案若是肯定的, 則指導者必須協助他完成這

個公民義務的環境行動。Hungerford 與 Volk (1985) 強調議題分析與行動訓練的重要性，以培養具備環境素養的公民為中心理念，期望受過訓練的學生都能表現出負責任的環境行為。Bybee 等人 (1994) 教師在教室中進行探究式教學中常使用「學習環教學模式」，而這種教學模式，很適合培養學生的探究能力。學習環的教學模式以是「以探究為基礎」、「以學生為中心」及「以活動為中心」的探究式教學法，藉由幫助學生反思在學習活動中的所得，使學生察覺自我的推理歷程 (Scharmann, 1991)。

參、學習模式探究與研究設計

一、學習模式

透過相關 STEAM 教育、SDGs 教育內涵及問題導向議題探究策略，發展 STEAM 教育導入 SDGs 問題導向課程模組。透過理論文獻中提到 STEAM 教育為縱軸、問題導向議題探究的課題為整體課程模組重要內涵橫軸，再將 SDGs 真實世界問題內涵導入，再組構其完整的課模組，工具如表 2 所示。

表 2 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式

問題導向 議題探究	基礎層次	議題覺知層次	調查評估層次	公民責任層次
STEAM 教育				
科學	以不同 SDGs 真實世界問題內涵導入			
科技				
工程				
藝術				
數學				

而 STEAM 鼓勵以解決問題，發現和探索性學習為驅動的課程，當學生透過全球視野進行學習時，能更加深刻。SDGs 帶入 STEAM 課程的 3 種方法（Rock, 2021）如下。

（一）將 SDGs 整合到課程中

透過 SDGs 引導學生檢查的真實世界問題的來源，透過提供某些 SDGs 重要的背景，以及如何與國內與國際的日常生活連結。學生不僅要找到創造性的解決方案，還要考慮世界各地解決這些問題的方式。

（二）透過 STEAM 真實案例連結 SDGs，引導學生不同啟發與討論

在其他國家，有很多由教師，教室和公司領導的 STEAM 專案的例子。透過國際例子的介紹，讓學生思考這些案例是試圖解決哪些 SDGs 的目標課題。

（三）透過 PBL 導入真實世界案例

另一種有意義的方法可以全球化 STEAM 課程——透過 PBL。PBL 使學生能夠與周圍的世界建立聯繫，同時促進批判性思維技能和創造力。您的課堂上有相當多真實世界主題可從全球角度探索。

透過整合 STEAM 教育和 SDGs 教育的內容，我們建立了一個創新的教育模組（表 2）。該模組以 STEAM 教育為基礎，結合問題導向學習策略，並將 SDGs 的真實世界問題納入，形成一個綜合性的課程架構。主要在培養學生全球視野，並激發解決現實問題的能力。

二、研究設計

本研究透過案例分析，從真實教學現場案例進行分析，透過此結合個案研究法，這是以經驗為主的調查法，深入研究當前社會現象與真實生活（Yin, 2009）。

研究對象為分析全臺灣第一個建置永續教育專區教科書出版社所提供 SDGs 校訂課程示例（示例連結：<https://sdgs.knsh.com.tw/campus/>

subject)，為 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式進行個案研究分析，主要為其具有獨特性，以及為教科書出版社自行發展 SDGs 校訂課程，以 SDG 11 為主，希望促進「地方感」，藉此加強對於地方的認同和價值，規劃 3 個學習階段（低年級、中年級和高年級），以不同主題整合當地的教師和學生，設計一個以 SDG 11 為主軸的課程，以回應地方感的需求。

而資料分析與詮釋以前述學習模式為主，STEAM 教育的要素為縱軸包括：（一）科學：強調科學知識和科學方法的學習，培養學生的觀察、實驗和推理能力。（二）技術：關注現代技術的應用，培養學生在科技領域的技能和理解。（三）工程：強調工程設計和解決問題的過程，培養學生的創新和設計思維。（四）藝術：強調藝術、設計和表現性創造，提供學生發揮創意和表達能力的機會。（五）數學：注重數學知識和數學思維的培養，尤其是在解決實際問題和設計中的應用（Hsiao & Su, 2021）。在輔以問題導向議題探究為橫軸，透過此矩陣進行個案資料分析，邀請教案課程設計教師進行表 1 資料填寫，主要課程設計教師最瞭解課程內容，同時研究者也先跟課程設計教師說明此表格內涵，並輔以兩位研究人員，一位為 STEAM 研究專業，另一位為永續發展研究專業，共同閱讀擷取資料後，進行資料歸納，透過三角檢定方式綜整 3 位資料分析資料，以確保研究結果的一致性。

肆、案例分析與討論

一、案例分析

（一）低年級：社區尋寶大富翁

透過實地考察和記錄學校周邊的廟宇，讓學生深入瞭解文化就在他們的日常生活中。這不僅是對 SDG 11.4 的回應，也是努力保護全球文

化和自然遺產的一部分。雖然這個目標是針對全球的，但必須從當地文化出發，才能真正認同和促進全球文化的價值。分析如表 3 所示。

表 3 低年級：社區尋寶大富翁 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式表

問題導向 議題探究	基礎層次	議題覺知層次	調查評估層次	公民責任層次
STEAM 教育				
科學	學生觀察並描述廟宇的外觀特點，如形狀、顏色和大小	學生開始提問關於廟宇的基本知識，如它們的用途和歷史	學生參與簡單的實地考察，用圖片或口述方式記錄廟宇的特徵	學生討論如何保護和尊重廟宇作為文化遺產，如保持整潔和禮貌
科技	學生使用數位工具拍攝廟宇的照片或錄製短片	學生探索如何利用科技工具分享和展示廟宇的相關資訊	學生觀看簡單的影片或照片，並討論廟宇對當地社區的重要性	學生提出如何運用科技保護和傳承廟宇文化價值的小建議，如製作海報或簡單的網頁
工程	學生觀察廟宇的建築結構，並描述它們的基本特點	學生思考廟宇如何被建造，並提出簡單的問題，如它們的材料和建造過程	學生參與手工創作活動，使用紙板或積木建造簡單的廟宇模型	學生討論如何保護廟宇的建築結構，如避免在廟宇周圍玩耍或破壞
藝術	學生觀察並描述廟宇的藝術元素，如雕刻和繪畫	學生創作簡單的藝術作品，表達他們對廟宇和文化的理解	學生觀賞簡單的藝術作品或圖片，並討論它們在廟宇中的意義	學生討論如何保護和尊重廟宇的藝術作品，如避免塗鴉或破壞
數學	學生觀察並比較不同廟宇的大小和形狀	學生進行簡單的數量比較，如說出哪座廟宇比另一座大	學生參與簡單的尺寸測量活動，使用比較詞彙（如高、矮、長、短）描述廟宇的特徵	學生討論如何保持廟宇的整潔和維護，如清理垃圾或修復損壞

(二) 中年級：我愛社區我愛家

透過「社區踏查」活動，能夠更深入探索人與環境之間密不可分的關係，並理解每個人都無法脫離所屬的社區，因此對社區有著責任和義務。這項活動不僅讓學童參與互動和實踐，更培養他們對社區特色環境的欣賞。透過導覽教學，學生能夠瞭解背後的故事，並透過活動的過程加深對社區的認同和感受，意識到維護社區是每個人共同的責任。這項活動也回應了 SDGs 中的幾個重要目標。首先，SDG 11.3 目標主要在 2030 年之前促進永續的城市建設，實現人類社區的參與性、整體性和永續發展的規劃和管理。透過「社區踏查」活動，學生能夠深入瞭解社區的特色和需求，並提供他們參與社區發展的機會。此外，SDG 11.4 目標著眼於保護全球的文化和自然遺產。透過對廟宇的考察和記錄，學生能夠增加對當地文化價值的認識，並瞭解保護文化遺產的重要性。最後，SDG 11.7 目標主要在 2030 年之前為所有人提供安全、包容的綠色公共空間，特別關注婦女、孩童、老年人和身心障礙者的需求。透過「社區踏查」活動，學生能夠體驗到社區環境的重要性，並思考如何為社區創建更安全、便利的公共空間，以滿足不同人群的需求。透過「社區踏查」活動，學生將不僅體驗到實際參與和實踐的機會，還能夠深入理解維護社區和創造更好生活環境的重要性，以回應 SDGs 中相關目標的呼籲。分析如表 4 所示。

表 4 中年級：我愛社區我愛家 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式表

問題導向 議題探究	基礎層次	議題覺知層次	調查評估層次	公民責任層次
STEAM 教育				
科學	探索社區環境中的物質與變化，如植物生長和水質檢測	議題：社區的永續發展與環境保護	調查不同社區中的環境議題，如垃圾處理和能源使用情況	設計並實施一個關於環境保護的倡議計畫
科技	使用數位工具記錄社區活動和資源	議題：社區的數位包容性和資訊存取	探索社區中的數位資源和科技應用，並評估其影響	利用科技創建一個共享資訊平臺，促進社區成員之間的交流與合作
工程	設計和建造簡單的模型或結構，如社區公園模型	議題：改善社區基礎設施和空間規劃	評估社區中不同建設項目的效益和永續性	設計和改進社區基礎設施的解決方案，如交通或能源系統
藝術	創作社區環境的繪畫或攝影作品	議題：社區的文化價值和多元性	研究和呈現不同社區文化的特色和傳統	使用藝術創作向社區傳達重要訊息和價值觀
數學	蒐集和統整社區資料，如人口統計或環境數據	議題：社區的資源分配和不平等	分析社區中不同資源的分配情況，如教育或公共服務	設計一個公平分配資源的模型或計畫，並提出改進方案

(三) 高年級：守護家鄉大家 e 起來

居住環境在小學生的生活中扮演著重要的角色，社區居民和家長特別關注環境的安全性。透過引導高年級學生發現當地社區議題並提出倡議，能夠激發學生對於改善在地社區的熱情和責任心。這也回應了 SDGs 中的幾項重要目標。首先，SDG 11.1 目標主要在 2030 年前確保所有人都能夠取得適當、安全且負擔得起的住房和基本服務，同時改

善貧民窟問題。透過學生對當地社區議題的關注和行動，可以推動改善住房條件和基礎設施建設，提升社區居民的生活品質。其次，SDG 11.2 目標主要在 2030 年前為所有人提供安全、負擔得起、易於使用且永續的交通運輸系統，改善道路安全，特別關注弱勢族群、婦女、兒童、身心障礙者和老年人的需求。透過學生對交通和道路安全的關注，他們可以提出改進方案，擴大公共交通系統，並考慮到特殊群體的需求，以建立更安全、包容和永續的交通環境。透過這樣的教育實踐，學生將瞭解到他們可以為社區的發展和改善做出積極的貢獻，同時培養他們對於永續發展目標的意識和行動能力。分析如表 5 所示。

(四) 綜合分析

透過上述案例回歸 Paula 提到 SDGs 帶入 STEAM 課程的 3 種方法探討其連結性 (Rock, 2021)。

1. 將 SDGs 整合到課程中

個案中提到教科書出版社自行發展 SDGs 校訂課程，以 SDG 11 為主，主要在促進「地方感」。這種整合不僅能夠培養學生對全球問題的認識，還特別著眼於地方層面，加強學生對於地方的認同和價值觀。

2. 透過 STEAM 真實案例連結 SDGs，引導學生不同啟發與討論

在分析全臺灣的個案中，可以引入來自不同地區的 STEAM 專案例子，將全球的 STEAM 實踐與 SDGs 相連結。透過這樣的連結，學生可以得到來自不同文化和地區的啟發，擴展他們對於 SDGs 的理解。

3. 透過 PBL 導入真實世界案例

個案中提到透過實踐永續城市和社區教育，設計以 SDG 11 為主軸的課程。這與 PBL 的理念相符，透過解決實際世界的問題，培養學生的批判性思維技能和創造力。

個案中的教科書出版社 SDGs 校訂課程提供了一個實際的例子，展示了如何將 SDGs 整合到 STEAM 課程中，同時強調了全球視野和地方感的平

衡。這與上述三個論述中提到的整合 SDGs、連結 STEAM 和 SDGs、以及 PBL 導入真實世界案例的理念相互協同，形成一個完整的教學模式。

表 5 高年級：守護家鄉大家 e 起來 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式表

問題導向 議題探究	基礎層次	議題覺知層次	調查評估層次	公民責任層次
STEAM 教育				
科學	瞭解當地社區的環境安全性和住房條件，瞭解 SDG 11.1 的目標和意義	分析當地社區的住房和基礎設施問題，提出改善方案	調查社區居民對住房狀況的看法和需求，評估現有基礎設施的狀況	關注和提倡改善當地住房環境，提升社區居民的生活品質
科技	利用科技工具和資源蒐集和分析當地社區的環境數據	使用數據視覺化工具呈現社區環境和住房問題，提出解決方案	使用科技工具和科技進行社區基礎設施的評估和監測	探索使用科技解決住房和基礎設施問題的創新方案
工程	設計和建造模型或原型來呈現改善住房環境的想法	利用工程原則和設計思維提出可行的解決方案	評估和強化模型或原型的功能和效能	提出建議並參與改善住房和基礎設施的實際工程項目
藝術	使用藝術表達形式（如繪畫、攝影、影片等）展示社區環境和住房問題	透過藝術形式引起人們對社區問題的關注和共鳴	創作藝術作品來傳達社區居民的心聲和需求	組織和參與社區藝術活動，呈現和提倡社區發展的價值和重要性
數學	蒐集和整理與住房和基礎設施相關的數據和統計資訊	分析數據並擷取關鍵性洞察，找出住房和基礎設施的問題和解決方案	使用數學模型和方法來預測和評估不同方案的效果和影響	探索和設計可量化和衡量社區發展進展的指標和評估標準

二、STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式歸納演繹

本研究透過上述分析教科書出版社所提供 SDGs 校訂課程示例，進而將 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式，歸納引導通用內容，以提供給第一線教師進行參考，如表 6 所示。

表 6 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式通用表

問題導向 議題探究	基礎層次	議題覺知層次	調查評估層次	公民責任層次
STEAM 教育				
科學	學科知識	議題認識，如氣候變化、生態破壞和能源問題	實驗設計和數據蒐集，如測量碳排放或生物多樣性	解釋和溝通科學知識，促進環保行動和意識提高
科技	基本概念和技能	科技的社會影響，如數位鴻溝和數據隱私問題	科技評估和改進，如評估永續科技解決方案的影響	使用科技解決社會問題，如開發可再生能源應用或提升教育平等
工程	工程原理和設計思維	識別問題和需求，如城市交通擁擠或永續建築需求	解決方案的開發和測試，如設計交通解決方案或節能設計	設計和改進永續解決方案，如推動永續城市發展或改善水資源管理
藝術	創意表達	藝術的社會意義，如透過藝術傳達人權或社會不平等	創作過程評估和反思，如反思藝術作品對社會的影響	透過藝術傳達議題和改變觀點，如透過藝術創作倡導環境保護或平等意識
數學	數學概念和計算技能	識別數據模式和趨勢，如分析氣候變化數據或經濟指標	證明和解釋數學模型，如模擬氣候變化影響或經濟模型	使用數學解決現實問題，如開發永續發展指標或經濟政策評估

透過上述整體分析得知 STEAM 教育是一種結合科學、科技、工程、藝術和數學的跨領域教育方法，同時也是實踐 SDGs 的重要工具。此外，本文綜合了幾個關鍵觀點與結論，強調了 STEAM 教育在永續發展教育中的重要性與應用潛力。

（一）STEAM 教育可以幫助學生學習與 SDGs 相關的知識和技能

STEAM 教育的核心是培養學生的批判性思維、問題解決能力和創造力。這些能力對於理解和解決與 SDGs 相關的複雜問題至關重要。例如，在學習氣候變化這一目標時，學生可以通過 STEAM 教育學習相關的科學知識，如氣候系統、溫室效應和碳排放等。此外，學生還可以透過設計和進行實驗、蒐集和分析數據，培養解決問題的能力。

（二）STEAM 教育可以幫助學生提高對 SDGs 的意識和理解

STEAM 教育可以讓學生在學習科學、科技、工程、藝術和數學的過程中，自然而然地接觸到與 SDGs 相關的議題。例如，在學習藝術時，學生可以透過創作作品來表達對環境保護或社會不平等問題的關注。此外，教師也可以透過引導學生思考科技在實現 SDGs 方面的作用，幫助學生提高對 SDGs 的理解。

（三）STEAM 教育可以幫助學生培養公民責任感和參與意識

STEAM 教育可以鼓勵學生利用所學知識和技能，為解決與 SDGs 相關的問題做出貢獻。例如，學生可以透過設計和開發永續解決方案，如可再生能源應用或節能設計，來為實現 SDGs 做出實際行動。此外，學生也可以透過藝術創作和表達來倡導 SDGs，促進社會意識和行動。

STEAM 教育可以為學生提供學習與 SDGs 相關的知識和技能、提高對 SDGs 的意識和理解，以及培養公民責任感和參與意識。因此，STEAM 教育是實現 SDGs 的重要工具，值得教育工作者和政策制定者的重視。

以下總整具體作法，如教師可以透過問題導向學習，將 SDGs 融入

課堂教學。例如，教師可以讓學生圍繞某一 SDGs 目標，提出研究問題，並設計和進行調查和研究。或是教師可以鼓勵學生參加與 SDGs 相關的課外活動，如志願服務或社群行動。學校可以與社區組織合作，為學生提供更多參與 SDGs 的機會。透過這些努力，可以幫助學生成為具有永續發展意識和行動能力的公民，為實踐 SDGs 做出貢獻。

三、綜合討論

本研究主要在探討如何透過 STEAM 教育實踐 SDGs 問題導向學習，創建適合中小學生的創新教育模式。基於臺灣首個建立永續教育專區的教科書出版社提供的 SDGs 課程，深入分析創新學習模式如何整合至各學科和課程中，並強調問題導向學習在促進學生對全球挑戰的創新思考和培養終身學習能力方面的重要性，應對氣候變遷、生物多樣性損失及疾病擴散等全球性挑戰。教育在實踐永續發展目標中扮演關鍵角色，需要強化學生在知識、技能、態度和價值觀方面的全面發展，根據 OECD (2017) 的指引，教育系統應致力於創新學習環境及提升學生包容性。據此，本研究提出了一種創新且具實踐性的教育模式，為相關領域提供了有價值的參考，並開拓了將 SDGs 融入 STEAM 教育的新途徑。透過對各個年齡段學生參與的案例分析，我們可以進一步探討 STEAM 導入 SDGs 問題導向課程學習模式的實際效果及其對學生的影響。

首先，在低年級的「社區尋寶大富翁」活動中，學生透過實地考察與記錄學校周邊的廟宇，不僅增進了對本地文化遺產的認識，還在科技工具的應用中初步掌握了數位技能。這些活動不僅僅是對文化遺產的簡單介紹，更是通過觀察、描述、拍攝等多種方式，引導學生深入理解和尊重本地文化。這一過程中，學生對於環境保護和文化尊重的意識得到了提升，並逐漸形成了對社區的責任感。這樣的設計使學生在早期教育階段即接觸到 SDGs 的核心理念，有助於培養他們從小關心環境和社會的良好習慣。其次，中年級的「我愛社區我愛家」活動進一步深化了學生對社區環境的理解。學生在實地踏查中，不僅瞭解了社區的生態和文

化特點，還參與了相關數據的蒐集和分析。這一過程中，學生在探索社區永續發展和環境保護的過程中，學會了使用數位工具記錄社區活動，並且通過科技創建共享資訊平臺，促進了社區成員之間的交流與合作。這不僅培養了他們的批判性思維能力，也激發了他們參與社區建設的積極性。特別是透過藝術創作和數學數據分析，學生能夠直觀地感受到社區問題，並提出具體的改善建議，展現出解決實際問題的能力。而高年級的「守護家鄉大家 e 起來」活動展示了學生在解決實際社區問題方面的能力。學生利用科技工具和數據分析，對社區住房和基礎設施問題提出了具體的改進方案，並通過模型設計和工程思維進行驗證。這不僅培養了他們的創新能力，也使他們認識到個人行動對社區發展的重要影響。學生通過對社區環境安全和基礎設施的調查，深入瞭解了 SDG 11（永續城市和社區）的具體內容，並通過藝術和數學的綜合應用，提出了切實可行的解決方案。也因 SDG 11 目的在於《保障世界人權宣言》第 25 條及《經濟社會與文化權利國際公約》第 11 條所保障的適當生活水準權利，尤其是居住權，核心精神為基本人權的保障，未來此教案若有機會調整可以著墨此概念。

Rock（2021）提出了 3 種將 SDGs 帶入 STEM 課程的方法，這些方法在臺灣的實例中有良好的應用。這也反應出幾點重要結論：（一）STEM 教育與 SDGs 結合的問題導向學習模式能夠有效促進學生跨學科知識的整合和應用。在分析案例時，低年級的「社區尋寶大富翁」活動展示了如何將 SDGs 整合到課程中，這與 Rock 提到的利用 SDGs 作為真實世界問題來源的觀點一致。學生在此過程中不僅瞭解了文化遺產，也應用了科技工具，體現了跨學科知識的整合。（二）不同年齡階段的學生在參與此類課程時，均展現出高度的參與度和學習動機。Rock 強調了展示世界各地的 STEM 專案和挑戰學生進行模仿和創新，這樣的全球範例可以激發學生的興趣並提高他們的學習動機。從以上案例分析中可以看到，低年級的活動體現了學生對本地文化和科技工具應用的興趣；中年級的活動展示了學生在實地調查和數據分析中的高參與度；高年級

的活動則強調了學生在解決社區問題中的創新能力和積極性。(三)實地調研和數據分析促進了學生對環境保護、文化傳承和社區發展等重要議題的深入理解。這體現了 Rock 的第三點，即透過 PBL 將學生與真實世界連結起來，促進他們的批判性思維和創造力。而在本研究所提出的案例中，低中高年級學生分別對於廟宇與社區進行了詳細的調查、認識與數據蒐集和分析，這些真實問題的認識、面對與解決對於培育批判性思維和創造力具有顯著意義。

具體實施方面，STEAM 的每個主軸都可以引導學生進行 SDGs 的反思和解決問題。科學層面，學生將從基礎學習與 SDGs 相關的科學知識，進行調查和實驗，並學會解釋和傳達科學知識，推動環保行動。在科技層面，學生學習基本技能和社會影響，評估現有科技解決方案的效能，並利用科技解決社會問題。在工程層面，學生學習設計思維，開發和測試永續解決方案，推動永續城市發展。在藝術層面，學生透過創作表達社會議題，評估藝術創作的社會影響，並利用藝術倡導 SDGs。在數學層面，學生學習數據分析和模型建構，運用數學解決現實問題，開發永續發展指標。

STEAM 教育結合科學、科技、工程、藝術和數學的跨領域方法，是實踐 SDGs 的重要工具。第一，能幫助學生學習與 SDGs 相關的知識和技能，培養解決問題的能力；第二，提高學生對 SDGs 的意識和理解，讓他們在學習過程中自然接觸相關議題；第三，培養學生的公民責任感和參與意識，鼓勵他們利用所學為實現 SDGs 做出實際行動。STEAM 教育是實踐 SDGs 的重要工具，透過問題導向學習，將 SDGs 融入課堂教學，鼓勵學生參與課外活動和社區合作，可以幫助學生成為具有永續發展意識和行動能力的公民。未來的教育實踐中，教師應更加注重將 SDGs 與 STEAM 教育有機結合，設計更多具有實踐性和挑戰性的學習活動，引導學生在真實情境中應用所學知識，解決實際問題。這不僅有助於培養學生的綜合素質，也能夠促進其成為具有全球視野和社會責任感的未來公民。

伍、結論與建議

一、結論

探究 STEAM 教育實踐 SDGs 的問題導向學習模式為學生提供了一個綜合性框架，將科學、科技、工程、藝術和數學的五個主軸與永續發展目標結合起來。透過這種教學模式，可以得出以下完整結論：

STEAM 教育與問題導向學習相結合，為學生探索和解決與 SDGs 相關的問題提供了有效途徑。SDGs 作為全球議題框架涵蓋了各個學科領域，使得 STEAM 教育能夠綜合性地探討和解決與永續發展相關的問題。

在科學領域，學生透過實驗和觀察掌握科學概念，瞭解環境變化和永續發展的科學原理。科技的應用使學生能夠設計和開發創新解決方案，如利用科技解決能源問題或推動永續交通。工程領域培養了學生解決實際問題的能力，如設計環保建築或改善水資源管理。藝術的創造性表達提高學生的社會意識和影響力，透過藝術作品傳達 SDGs 的價值觀和目標。數學在 SDGs 中扮演重要角色，透過數學建模和數據分析，學生能夠評估和量化永續發展的進展。

問題導向學習模式培養了學生的批判性思維、合作能力和解決問題的技能，使他們能夠積極參與解決 SDGs 所面臨的挑戰。學生在基礎層次掌握相關知識，透過議題覺知層次深入理解 SDGs 的影響和意義，透過調查評估層次研究和評估解決方案的可行性，最終達到公民責任層次，透過行動和社區參與實現 SDGs。

教師應將 SDGs 作為教學內容的核心，透過跨學科的項目和活動引導學生在團隊中合作，運用 STEAM 的知識和技能解決實際問題。鼓勵學生進行實地調研和數據分析，透過藝術創作和表達傳達 SDGs 的價值觀和目標。強調數學的重要性，培養學生的數學建模和數據分析能力。

教師在實施這種教學模式時要發揮指導者的角色，激發學生的好奇心和主動性，引導他們深入思考和行動。

綜上所述，透過探究 STEAM 教育實踐聯合國 SDGs 的問題導向學習模式，學生將能夠全面理解永續發展目標，培養解決全球問題的能力，並積極參與實現永續未來的行動。這種教學模式培養了學生的創造力、批判性思維和團隊合作能力，為他們成爲具有全球視野和社會責任感的公民打下堅實基礎。

二、建議

基於探究 STEAM 教育實踐 SDGs 的問題導向學習模式，本研究提出以下建議：

- (一) 教師應在課程中融入 SDGs 的議題，並將其作為教學內容的核心。透過跨學科的項目和活動，引導學生探索和解決與永續發展相關的實際問題。
- (二) 在教學過程中，注重學生的自主學習和合作學習，鼓勵他們提出問題、進行調查研究、分析數據，並共同制定解決方案。培養學生的批判性思維和解決問題的能力。
- (三) 創造具有挑戰性和實踐性的學習環境，激發學生的好奇心和創造力。透過實驗、觀察、模擬等方式，讓學生親身體驗和理解永續發展的原理和實踐。
- (四) 鼓勵學生運用科學、科技、工程、藝術和數學的知識和技能，提出創新的解決方案，並透過藝術表達和數學建模展示他們的成果。
- (五) 強調全球意識和社會責任感的培養。引導學生思考全球問題的複雜性，並瞭解不同國家和文化對永續發展的貢獻和挑戰。
- (六) 建立與社區和利益相關者的合作夥伴關係，促進學生的社區參與和公民責任感。組織社區服務項目和倡導活動，讓學生透過實際行動爲永續發展目標做出貢獻。

- (七) 提供適當的資源和支持，包括教學材料、科技設備和專業指導，以確保教師能夠有效實施 STEAM 教育和問題導向學習。
- (八) 繼續進行評估和回應，瞭解學生的學習進展和成果。透過反思和調整教學策略，不斷改進 STEAM 教育與問題導向學習的實踐。
- (九) 在國民教育教育階段，引入工程原理和設計思維可以透過跨學科的方式進行整合，而非必須單獨設置工程學科。建議將工程元素融入科學課程，特別是實驗、觀察和解決問題相關的內容，以培養學生對工程思維的理解。此外，數學課程也可成為引入工程相關實際應用的場景，讓學生在數學學習中體驗工程思維。為了提供更多實務經驗，學校可以定期舉辦跨學科的專題活動，讓學生參與實際問題解決中，培養其工程思維。然而，在實際實施中，鑑於不是所有學校都擁有科技或工程教師，可能需要進行跨學科合作，並鼓勵多學科教師參與工程相關的培訓。同時，與社區或業界合作，邀請專業的工程師或相關領域的專家參與工程教育的實施，既豐富學生的學習經驗，也減輕學校內教師的負擔。
- (十) 實施探究 STEAM 教育實踐 SDGs 的問題導向學習模式需要教師的積極引導和支持，同時注重學生的主動學習和合作學習。這種教學模式培養了學生的綜合能力和社會責任感，使他們成為永續發展的倡導者和實踐者，為實現 SDGs 所設立的目標做出積極貢獻。

三、研究限制與未來研究建議

本研究之研究限制在於目前為先驅研究，目前學習模式建立，是透過理論整合梳理建構，第一，研究樣本主要基於臺灣特定教科書出版社提供的 SDGs 課程，缺乏多樣性和普遍性，未能涵蓋不同地區、不同背景的中小學生，樣本範圍較為局限。其次，不同學校和地區存在師資、資源、教學設施等方面的差異，這可能影響 STEAM 教育與 SDGs 整合

的效果和實踐模式的可行性。第三，研究主要關注於課程設計，缺乏對學生長期學習成果及其在未來生活和工作中的應用效果的評估。此外，未能充分探討教師在實施 STEAM 和 SDGs 整合課程過程中的專業發展需求及挑戰，缺乏對教師培訓和支持系統的深入分析。同時，學生個體差異的考量不足，缺乏對學生的學習能力、興趣和背景等因素的深入探討。此外，研究中跨學科整合的深度有限，具體的教學策略和評估方法需要進一步細化。最後，缺乏對政策和制度層面的支持對 STEAM 教育與 SDGs 整合推廣的影響的全面考量，以及對教育政策制定和學校管理層面的系統性分析。這些限制需要在後續研究中進行補充和克服，以提升研究的全面性和實踐應用價值。

於上述研究限制，未來有機會可以進而針對學習模式有更進一步細節探究，甚至有可能成為重要框架與模式，另外目前僅針對校訂課程進行分析，未來有機會針對學科分立模式的課題，本研究建議未來採取多面向的應對策略，以更貼近 STEM / STEAM 教育的理念和目標。強調以真實情境為主的同時，我們將注重整合性課程設計、跨學科團隊合作、跨年級整合性學習、問題導向學習，以及社區資源的概念，從而促進學科之間的融合，使學生更全面地應對複雜的現實挑戰。以下為未來研究可行方向。

(一) 整合性課程設計

強調以真實情境為主的同時，應將 STEM / STEAM 元素融入一個統整性的課程設計中。這包括跨學科的整合，讓學生能夠在解決真實世界問題時，同時涵蓋科學、技術、工程、藝術和數學等多個學科領域。

(二) 跨學科團隊合作

引入跨學科團隊合作的概念，讓學生在解決問題的過程中能夠整合不同學科的知識和技能。這種合作模式能夠促進學科之間的交互學習，使學生更全面地理解和應對複雜的現實挑戰。

（三）跨年級整合性學習

考慮在課程規劃中引入跨年級的整合性學習，使學生能夠在不同年級階段參與和瞭解相關主題。這有助於打破傳統學科分立的框架，使學生在不同學科之間建立更深刻的聯繫。

（四）強調問題導向學習

以 PBL 為核心，讓學生通過解決真實世界的問題來學習。這種方法不僅能夠促使學生跨足不同學科，還能培養解決問題的能力和綜合應用知識的能力。

（五）引入社區資源

利用地方感的理念，將社區資源引入教學，使學生能夠在真實的社區環境中應用他們的 STEM / STEAM 知識。這種方法能夠突破傳統學科框架，使學生更深刻地理解學科之間的關聯性。

參考文獻

- 王順美 (2016)。臺灣永續發展教育現況探討及行動策略之芻議。環境教育研究, 12 (1), 111-139。https://doi.org/10.6555/JEER.12.1.111
- [Wang, S.-M. (2016). Examining the status of education for sustainable development in Taiwan and its action plan. *Journal of Environmental Education Research*, 12(1), 111-139. https://doi.org/10.6555/JEER.12.1.111]
- 汪慧玲、沈佳生 (2013)。合作學習教學策略對大專學生之學習成效與學習態度之影響——以兒童發展評量與輔導課程某單元為例。臺中教育大學學報 (教育類), 27 (1), 57-76。
- [Wang, H.-L., & Shen, C.-S. (2013). Effects of cooperative learning teaching strategy on college students' learning effectiveness and attitude: An example of child developing evaluation and guidance. *Journal of National Taichung University of Education (Education)*, 27(1), 57-76.]
- 何昕家、張子超 (2011)。從永續發展教育觀點探究校園環境空間規劃設計策略。環境與藝術學刊, 10, 28-53。
- [Ho, S.-J., & Chang, T.-C. (2011). Space in school and ESD: A study on integrating education for sustainable development in planning and designing space in school. *Journal of Environment and Art*, 10, 28-53.]
- 林坤誼、游光昭、張良德 (2013)。STEM 實作活動對 STEM 知識、設計能力與動作技能統整之影響——以自然與生活科技領域職前教師為例。行政院科技部專題研究報告 (MOST 104-2628-S-003-001)。國立臺灣師範大學科技應用與人力資源展學系。
- [Lin, K.-Y., Yu, G.-Z., & Zhang, L.-D. (2013). *A study of exploring the effects of integrating the stem knowledge, design and making skills in stem hands*. The research project report of Ministry of Science and Technology, Executive Yuan (MOST 104-2628-S-003-001). Department of Technology Application and Human Resource Development, National Taiwan Normal University.
- 洪逸文、湯宜佩 (2016)。高中特色課程的開發與實施——以論證課程為例。課程研究, 11 (1), 23-57。https://doi.org/10.3966/181653382016031101002
- [Hong, Y.-W., & Tang, Y.-P. (2016). Development and implementation argumentation training curriculum as a high school-based feature curriculum in Taiwan. *Journal of Curriculum Studies*, 11(1), 23-57. https://doi.org/10.3966/181653382016031101002]
- 范斯淳、游光昭 (2016)。科技教育融入 STEM 課程的核心價值與實踐。教育科學研究期刊, 61 (2), 153-183。https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61(2).06

- [Fan, S.-C., & Yu, K.-C. (2016). Core value and implementation of the science, technology, engineering, and mathematics curriculum in technology education. *Journal of Research in Education Sciences*, 61(2), 153-183. [https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61\(2\).06](https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61(2).06)]
- 陳沛嵐 (2021)。從師資培育課程落實永續發展教育。臺灣教育研究期刊，2 (6)，79-95。
- [Chen, P.-L. (2021). Implement education for sustainable development in teacher education curriculum. *Journal of Taiwan Education Studies*, 2(6), 79-95.]
- 許世璋、高思明 (2009)。整合議題分析、生命故事、與自然體驗之大學環境課程介入研究：著重於情意目標的成效分析。科學教育學刊，17 (2)，135-156。
- [Hsu, S.-C., & Kao, S.-M. (2009). A study on the integration of issue analysis, life stories, and nature experiences in university environmental courses: Focusing on the effectiveness of affective objectives. *Journal of Science Education*, 17(2), 135-156.]
- 張子超 (2001)。國民教育階段永續發展的內涵與多科性融入教學模式之研究。行政院國家科學委員會專題研究報告 (NSC 89-2511-S003-080)。國立臺灣師範大學環境教育研究所。
- [Chang, T.-C. (2001). *Research on the connotation of sustainable development in national education stages and the multi-disciplinary integration teaching model*. The research project report of National Science Council, Executive Yuan (NSC 89-2511-S003-080). Graduate Institute of Environmental Education, National Taiwan Normal University.]
- 張子超 (2004)。永續發展教育意涵。教師天地，132，4-11。
- [Chang, T.-C. (2004). The meaning of sustainable development education. *Teacher's World*, 132, 4-11.]
- 張珍悅、徐勝一 (2010)。永續發展教育脈絡探討——「聯合國永續發展教育十年計畫」之回顧。地理研究，52，1-26。 <https://doi.org/10.6234/JGR.2010.52.01>
- [Chang, C.-Y., & Hsu, S.-I. (2010). Towards the context of education for sustainable development: Reviewing of contexts for “United Nations decade of education for sustainable development (DESD, 2005-2014).” *Journal of Geographical Research*, 52, 1-26. <https://doi.org/10.6234/JGR.2010.52.01>]
- 葉欣誠 (2017)。探討環境教育與永續發展教育的發展脈絡。環境教育研究，13 (2)，67-109。 <https://doi.org/10.6555/JEER.13.2.67>
- [Yeh, S.-C. (2017). Exploring the developmental discourse of environmental education and education for sustainable development. *Environmental Education Research*, 13(2), 67-109. <https://doi.org/10.6555/JEER.13.2.67>]
- 曉雲法師 (1994)。拓土者的話。原泉。
- [Ven, H.-W. (1994). *Words of a pioneer*. Yuanchuan.]

- 簡成熙 (2010)。從西方哲學重構臺灣教育的主體性。《教育資料與研究》，96，27-48。
- Jian, C.-X. (2010). The study of reconstructing the subjectivity of Taiwan education by investigating western philosophy. *Educational Resources and Research*, 96, 27-48.]
- Alm, K., Melén, M., & Aggestam-Pontoppidan, C. (2021). Advancing SDG competencies in higher education: Exploring an interdisciplinary pedagogical approach. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(6), 1450-1466. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2020-0417>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39-43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Bhowmik, J., Selim, S., & Huq, S. (2018). *The role of universities in achieving the sustainable development goals*. International Centre for Climate Change and Development.
- Boice, K. L., Jackson, J. R., Alemdar, M., Rao, A. E., Grossman, S., & Usselman, M. (2021). Supporting teachers on their STEAM journey: A collaborative STEAM teacher training program. *Education Sciences*, 11(3), 105. <https://doi.org/10.3390/educsci11030105>
- Bybee, J. L., Perkins, R. D., & Pagliuca, W. (1994). *The evolution of grammar: Tense, aspect, and modality in the languages of the world*. University of Chicago.
- Chang, Y.-C., & Lien, H.-L. (2020). Mapping course sustainability by embedding the SDGs inventory into the university curriculum: A case study from national university of Kaohsiung in Taiwan. *Sustainability*, 12(10), 4274. <https://doi.org/10.3390/su12104274>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2016). Hypertext or textbook: Effects on motivation and gain in knowledge. *Education Sciences*, 6(3), 29. <https://doi.org/10.3390/educsci6030029>
- Fuertes-Camacho, M. T., Graell-Martin, M., Fuentes-Loss, M., & Balaguer-Fabregas, M. C. (2019). Integrating sustainability into higher education curricula through the project method, a global learning strategy. *Sustainability*, 11(3), 767. <https://doi.org/10.3390/su11030767>
- Gatti, L., Ulrich, M., & Seele, P. (2019). Education for sustainable development through business simulation games: An exploratory study of sustainability gamification and its effects on students' learning outcomes. *Journal of Cleaner Production*, 207, 667-678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.130>
- Gómez-Martín, M. E., Gimenez-Carbo, E., Andrés-Doménech, I., & Pellicer, E. (2021). Boosting the sustainable development goals in a civil engineering bachelor degree program. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(8), 125-145. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2021-0065>
- Goethe-Institut. (n.d.). *Teaching materials about the sustainable development goals*. <https://>

www.goethe.de/prj/dlp/en/teachingmaterials/series/mint_and_daf/teaching_materials_about_the_sustainable_development_goals

- Hallinger, P., Wang, R., Chatpinyakoo, C., Nguyen, V. T., & Nguyen, U. P. (2020). A bibliometric review of research on simulations and serious games used in educating for sustainability, 1997-2019. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120358>
- Harris, A., & De Bruin, L. R. (2018). Secondary school creativity, teacher practice and STEAM education: An international study. *Journal of Educational Change*, 19, 153-179. <https://doi.org/10.1007/s10833-017-9311-2>
- Hsiao, P.-W., & Su, C.-H. (2021). A study on the impact of STEAM education for sustainable development courses and its effects on student motivation and learning. *Sustainability*, 13(7), 3772. <https://doi.org/10.3390/su13073772>
- Hsieh, H.-C. L. (2020). Integration of environmental sustainability issues into the “game design theory and practice” design course. *Sustainability*, 12(16), 6334. <https://doi.org/10.3390/su12166334>
- Hungerford, H. R., Peyton, R. B., & Wilke, R. J. (1980). Goals for curriculum development in environmental education. *The Journal of Environmental Education*, 11(3), 43-44.
- Hungerford, H. R., & Tomera, A. N. (1985). *Science teaching methods for the elementary school: A worktext*. Stipes.
- Hungerford, H. R., & Volk, T. L. (1990). Changing learner behavior through environmental education. *The Journal of Environmental Education*, 21(3), 8-21. <https://doi.org/10.1080/00958964.1990.10753743>
- Hungerford, H. R., Volk, T. L., & Ramsey, J. M. (1990). *Science-technology-society: Investigating and evaluating STS issues and solutions*. Stipes.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), Article 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kim, Y., & Park, N. (2012). The effect of STEAM education on elementary school student’s creativity improvement. In T.-H. Kim, A. Stoica, W.-C. Fang, T. Vasilakos, J. G. Villalba, K. P. Arnett, M. K. Khan, & B.-H. Kang (Eds.), *Computer applications for security, control and system engineering* (pp. 115-121). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35264-5_16
- Lambrechts, W., Mulà, I., Ceulemans, K., Molderez, I., & Gaeremynck, V. (2013). The integration of competences for sustainable development in higher education: An analysis of bachelor programs in management. *Journal of Cleaner Production*, 48, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.034>

- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEAM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317>
- López, C., Nayar, K. A., Rodríguez, I., & Cordero Hidalgo, A. (Eds.). (2018). *United Nations sustainable development goals: teachers' resource book*. Transformation Press.
- MacVaugh, J., & Norton, M. (2012). Introducing sustainability into business education contexts using active learning. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(1), 72-87. <https://doi.org/10.1108/14676371211190326>
- Maeda, J. (2013). STEM+art=STEAM. *The STEAM Journal*, 1(1), Article 34. <https://doi.org/10.5642/steam.201301.34>
- Martín-Sánchez, A., González-Gómez, D., & Jeong, J. S. (2022). Service learning as an education for sustainable development (ESD) teaching strategy: Design, implementation, and evaluation in a STEAM university course. *Sustainability*, 14(12), 6965. <https://doi.org/10.3390/su14126965>
- Masek, A., & Yamin, S. (2011). The effect of problem based learning on critical thinking ability: A theoretical and empirical review. *International Review of Social Sciences and Humanities*, 2(1), 215-221.
- Mazon, G., Ribeiro, J. M. P., de Lima, C. R. M., Castro, B. C. G., & de Andrade, J. B. S. O. (2020). The promotion of sustainable development in higher education institutions: Top-down bottom-up or neither? *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(7), 1429-1450. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2020-0061>
- Manitoba Council for International Cooperation. (2021). *Sustainable foundations: A guide for teaching the sustainable development goals*. Manitoba Council for International Cooperation. <https://mccic.ca/resources/publications/sustainable-foundations>
- Ordaz, K., Tan, K., Skett, S., & Herremans, I. M. (2021). Developing leadership qualities in environmental sustainability through university co-curricular activities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(7), 1609-1629. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2020-0421>
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2017). *Education at a glance 2017: OECD indicators*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2017/09/education-at-a-glance-2017_g1g7f6b6/eag-2017-en.pdf
- Oxfam Education. (2019). *The sustainable development goals: A guide for teachers*. Oxfam GB. <https://oxfam.org.uk/education>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Rajabifard, A., Kahalimoghadam, M., Lumantarna, E., Herath, N., Hui, F. K. P., & Assarkhaniki, Z. (2021). Applying SDGs as a systematic approach for

- incorporating sustainability in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(6), 1266-1284. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2020-0418>
- Reese, D. (2024). *PBL and the U.N. sustainable development goals*. <https://blog.definedlearning.com/blog/pbl-and-the-u.n.-sustainable-development-goal>
- Roberts, S. J. (2014). Engage: The use of space and pixel art for increasing primary school children's interest in science, technology, engineering and mathematics. *Acta Astronautica*, 93, 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.06.013>
- Rock, P. (2021, September 7). *Three ways to globalize your STEM lessons*. <https://tinyurl.com/2ok3h78r>
- Rodrigues-Silva, J., & Alsina, Á. (2023). STEM/STEAM in early childhood education for sustainability (ECEfS): A systematic review. *Sustainability*, 15(4), 3721. <https://doi.org/10.3390/su15043721>
- Scharmann, L. C. (1991). Teaching angiosperm reproduction by means of the learning cycle. *School Science and Mathematics*, 91(3), 100-104. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1991.tb12057.x>
- Skowronek, M., Gilberti, R. M., Petro, M., Sancomb, C., Maddern, S., & Jankovic, J. (2022). Inclusive STEAM education in diverse disciplines of sustainable energy and AI. *Energy and AI*, 7, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100124>
- Taylor, P. C., & Taylor, E. (2019). Transformative STEAM education for sustainable development. In Y. Rahmawati & P. Taylor (Eds.), *Empowering science and mathematics for global competitiveness* (pp. 125-131). CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429461903-19>
- Theisens, H., Benavides, F., & Dumont, H. (2008). *OECD work on future educational environments*. Organisation for Economic Cooperation and Development. <https://doi.org/10.1787/16097548>
- Trencher, G., Yarime, M., McCormick, K. B., Doll, C. N., & Kraines, S. B. (2014). Beyond the third mission: Exploring the emerging university function of co-creation for sustainability. *Science and Public Policy*, 41(2), 151-179. <https://doi.org/10.1093/scipol/sct044>
- Tsai, H.-Y., Chung, C.-C., & Lou, S.-J. (2018). Construction and development of iSTEM learning model. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 15-32. <https://doi.org/10.12973/ejmste/78019>
- United Nations. (2003, April 9). United Nations expert says no cause yet to modify SARS-related travel recommendations. *UN News*. <https://news.un.org/en/story/2003/04/64312>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2005, October). *United Nations decade of education for sustainable development (2005-2014): International implementation scheme*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000148654>

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2014). *UNESCO roadmap for implementing the global action programme on education for sustainable development*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230514>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2016). *Schools in action, global citizens for sustainable development: A guide for teachers*. <https://doi.org/10.54675/URWO9440>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. <https://doi.org/10.54675/CGBA9153>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019, September 3). *Framework for the implementation of education for sustainable development (ESD) beyond 2019*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370215>
- United Nations Sustainable Development Solutions Network. (2020, September 21). *Accelerating education for the SDGs in universities: A guide for universities, colleges, and tertiary and higher education institutions*. https://files.unsdsn.org/accelerating-education-for-the-sdgs-in-unis-web_zZuYLaoZRHK1L77zAd4n.pdf
- Weiss, M., & Barth, M. (2019). Global research landscape of sustainability curricula implementation in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 20(4), 570-589. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2018-0190>
- Weybrecht, G. (2021). How management education is engaging students in the sustainable development goals. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(6), 1302-1315. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2020-0419>
- Wilson, H. E., Song, H., Johnson, J., Presley, L., & Olson, K. (2021). Effects of transdisciplinary STEAM lessons on student critical and creative thinking. *The Journal of Educational Research*, 114(5), 445-457. <https://doi.org/10.1080/00220671.2021.1975090>
- Yakman, G. (2008, February 21-23). *STEAM education: An overview of creating a model of integrative education* [Paper presentation]. The International Technology and Engineering Educators Association, Salt Lake City, UT, United States.
- Yakman, G. (2010). *STEAM: A framework for teaching across the disciplines*. Virginia Polytechnic and State University.
- Yakman, G. (2019, December 12). STEAM: An educational framework to relate things to each other and reality. *K12 Digest*. <https://www.k12digest.com/steam-an-educational-framework-to-relate-things-to-each-other-and-reality/>
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). Sage.