

# 永續發展教育架構下 STREAM 跨領域教育之探究

周坤億\* 楊淑晴\*\* 羅藝方\*\*\* 林佳弘\*\*\*\*

STEM 教育從以科學、科技、工程與數學跨學科教育整合架構，逐漸發展成納入設計、美學及人文藝術涵養而形成 STEAM 教育，以及爾後納入閱讀寫作元素，彰顯讀寫能力所形成的 STREAM 教育。從 STEM 到 STEAM 再到 STREAM 顯示了當前教育開始關注藝術與人文社會科學在 STEM 學習中所發揮的作用。STEM 人才在追求經濟繁榮的過程中，也應思考個人對全球永續發展應有的社會責任，人文藝術與 STEM 學科相結合被認為有助於提升學生的參與度、創造力、創新能力、問題解決能力和其他認知優勢，此或許能為 STEM 教育結合永續發展教育帶來了新契機。本文檢視和歸納先前文獻，闡釋 STEM 發展至 STREAM 教育理念和內涵的轉變，闡釋 STREAM 永續教育理念，提出 STREAM 永續發展教育與設計思考的結合模式，並援引一課程主題說明永續發展教育架構下 STREAM 跨域教育如何實現，及以設計思考作為教學策略為例，最後提出未來展望。

關鍵字：STEAM、STREAM、跨領域教育、永續發展目標、永續發展教育

\* 作者現職：國立中山大學教育研究博士候選人

\*\* 作者現職：國立中山大學教育研究所暨智慧電子商務研究中心教授

\*\*\* 作者現職：高雄科技大學教務處教學發展中心博士後研究員

\*\*\*\* 作者現職：國立中山大學教育研究博士

---

通訊作者：羅藝方，e-mail: a0989909301@gmail.com

## 壹、前言

作為世界主要領導者的美國，其對 STEM 教育與人才的重視，亦影響許多國家的教育政策，將 STEM 列為重大的教育改革新課題（蔡進雄，2021）。正當 STEM 人才被視為在競爭激烈的全球市場中，能夠追求經濟繁榮未來關鍵之時，有學者（Zizka et al., 2021）提醒，STEM 教育鼓勵透過跨學科學習為全球問題尋找最可行的解決方案，而非最可持續的解決方案，這將使得無法保證 STEM 人才在追求經濟繁榮的過程中，也能思考個人對全球永續發展應有的社會責任。環境、社會、經濟是屬於相互依存的關係，且人類系統必須倚賴自然系統承載能力的前提之下發展（Ntona & Morgera, 2018）。今日教育培養的 STEM 學生可能是未來全球的領導者與變革推動者，在全球經濟環境中，管理人力和分配世界上有限的資源，他們做出的每個決定都可能對整個社會，甚至世界產生重要的影響，因此如何將他們的學習應用於經濟、社會和環境的永續發展是重要的（Zizka et al., 2021）。

永續發展的實踐需要解決廣泛的環境、社會、經濟挑戰，此涉及了複雜的相互關聯、不確定性和價值觀衝突（Filho et al., 2019）。培養學生創造性和批判性思維，產生新知識和想法，以對當前的情況和未來的決策影響進行批判性分析，將有助於永續發展目標的達成（Bentham, 2013）。而 STEM 是一種持續發展的教育理念（Yakman, 2008），隨著 STEM 教育的備受矚目，國際間開始以 STEM 為核心，衍生出不同的教育理念，例如：融入藝術（Art），以強調學生創造力發展與自我表達需求的 STEAM 教育（何佳瑞，2017；Yakman & Lee, 2012）；或是再增添 R 元素，強調批判性的反思學習，或是具批判性閱讀和／或寫作的讀寫素養（Reading and/or wRiting）與 STEAM 結合而成的 STREAM 教育（Makrakis, 2018; Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2011）。人文藝術與 STEM 學科相結合被認為有助於提升學生的參與度、創造力、創新能力、問題解決能力和其他認知優勢（Perignat & Katz-Buonincontro, 2019），此或許能為 STEM 教育結合永續發展教育帶來了新契機。然而，我國當前對於永續發展教育的實施上，大多偏重科學領域的發展上，如：綠能、環境工程或氣候變遷等面向，在人文領域上尚付之闕如，科學與人文領域間的跨領域整合亦尚待加強（王嘉陵，2016）。

本文主要檢視和歸納先前文獻，爬梳 STEM 至 STREAM 教育理念和內涵的發展脈絡，以及目前面臨的挑戰，闡釋 STREAM 永續教育理念，提出 STREAM 永續發展教育與設計思考的結合模式，並援引一主題介紹如何將永續發展教育與設計思考融入 STREAM 的跨域課程，作為未來相關研究或實務的參考。

## 貳、STEM、STEAM 與 STREAM 教育理念

STEM 教育的出現，是期望能教導學生相關學科的最新知識，以滿足社會當前的需求，並改變人類思維和解決問題的能力，進而促使生活產生有意義的發展和進步 (Badmus & Omosewo, 2020)。然而，美國國會研究處 (Congressional Research Service) 根據美國推動 STEM 的現況，提醒雖然 STEM 教育推動至今有一定的成效，但在不同學生群體間的學習落差、教師 STEM 素養、學生在 STEM 相關的國際評量成效，以及 STEM 教育系統對於未來勞動力市場的需求滿足，提出了擔憂，引發了 STEM 教育的反思 (Granovskiy, 2018)，進而激盪出更豐富、多元的 STEM 教育新思維。許多學者專家亦在 STEM 的基礎之上，延伸出不同的教育型態，表 1 摘要與概述了與 STEM 相關的教育型態 (White & Delaney, 2021)，其中不難看出納入 A 和 R 元素的 STEAM 和 STREAM 算是 STEM 教育脈絡中，較大的突破與發展。因此，下一部分將藉由 STEM 到 STEAM，再到 STREAM 教育的發展，來瞭解 STEM 相關教育理念的內涵、侷限與挑戰。

表 1  
STEM 教育型態與相關文獻

教育術語	描述與解釋
MST/SMT	STEM 的前身，關注數學、科學與技術
S-T-E-M	側重於科學、技術、工程和數學各別學科的技能發展，而不關注或強調彼此之間的跨學科學習
Integrated STEM (or iSTEM)	側重跨學科或跨學科內科目之間的學習，或是 STEM 學科跨其他學科 (例如人文教育領域內的學科) 的學習
Estem	以數位和技術為重點的 STEM 教育
SteM, sTEM etc.	對不同的學科有不同程度的關注，例如 SteM 強調以科學和數學為主，但輔以一些技術和工程
	將其他學科整合到現有課程中，例如在工程課程中包含科學/技術/數學的學習
STEAM	將藝術融入 STEM 課程，藝術被認為可以為 STEM 學習提供創造力和發散性的思維
STEAM by design	將 STEAM 與地方或環境做結合，促使 STEM 知識和實踐轉化為價值導向的行動，進而為學校或社區做出貢獻
STREAM	STEM 結合批判性閱讀和/或寫作或人文社會科學
修改自	White, D., & Delaney, S. (2021). Full STEAM ahead, but who has the map for integration? – A PRISMA systematic review on the incorporation of interdisciplinary learning into schools. <i>LUMAT</i> , 9(2), p.13.

## 一、STEM 教育：引發跨科與整合的新思潮

儘管 STEM 概念很早就出現，但直到 2001 年美國 NSF 以 Science、Technology、Engineering、Mathematics 第一個字母縮寫，才正式提出 STEM 一詞 (Christenson, 2011)，用於描述對科學、技術、工程和數學領域教學和學習的關注。最初 STEM 教育側重在 S、T、E、M 各領域技能的發展，而非關注和強調不同領域之間的相互作用或融合 (White & Delaney, 2021)。美國國家研究委員會 (National Research Council, 2009) 將科學定義為對自然界現象的研究，包括物理、化學和生物學相關的自然規律、事實、原則、概念或慣例的處理與應用。科技是指透過人為設計的產品、系統和過程來修正自然環境，以滿足人們的需求與欲望，許多現代科技是科學和工程的產物，而科技工具又可用於科學和工程；工程是科學原理的創造性應用，以設計或開發結構、機器、設備或製造過程，也是問題解決的過程；數學則是研究數量、數字和形狀之間的模式和關係；與科學透過經驗檢驗與評估假設獲得理論證實不同，數學強調的是利用邏輯論證來確認假設，然而數學卻也經常被工程和科學用來建模設計或表示自然現象 (Burghardt & Hacker, 2009; International Technology and Engineering Educators Association, 2020)。

S、T、E、M 具有獨特又相關的學科特性，有些學者專家認為特定領域的學科定義過於靜態，且分科式的 STEM 教育，容易造成學生死記硬背 S、T、E、M 課程內容，而忽略高層次的思考技巧 (Saxton et al., 2014)，無法培養學生知識整合和解決問題的能力 (范斯淳、游光昭, 2016; Christensen et al., 2014)，因此強調 STEM 教育應打破學科界線，知識的學習和實踐應該是以綜合、統整和融合的方式進行 (Granovskiy, 2018; White & Delaney, 2021)。此種跨學科的 STEM 教育主要可分為三種模式：(一) 多元學科的 (multidisciplinary) STEM 教育，主張不同學科之間仍有清楚界線，但可以藉由共同主題的連結，讓學生從各學科學習概念與技能，教師在組織知識時仍採用原學科的知識架構，因此可以被視為是一種補充的、添加的 (additive) 學科學習；(二) 跨學科或稱為科際整合的 (interdisciplinary) STEM 教育，著重在學科之間的合作與互動，以一個議題、主題或問題意識的探討為出發點，在該主題範圍中發展概念，再依概念的內涵和性質，組織不同學科的知識內容進行探究，從而讓學生獲得該概念的理解，因此可以被視為是一種整合式的 (integrative) 學科學習；(三) 超學科的 (transdisciplinary) STEM 教育，主張知識的理解和獲取是全面性的，不受學科屬性的影響，因此學科之間的界線是模糊的，學習應關注學生與真實情境或生活脈絡的連結，培養學生的學習興趣作為探究現象與知識的驅動力，學科則是提供主題探究可運用的學習資源，因此可以被視為是一種融合式的 (inclusive) 學科學習 (陳佩英, 2018; White & Delaney, 2021)。儘管整合的程度不一，跨領域教育 (cross-field education) 的學習模式幾乎已成為當前 STEM

教育的共識，期望藉由 STEM 的跨學科知識整合及應用教學，培養 21 世紀所需的 STEM 人才。

## 二、STEAM 教育：注入設計與創造的新元素

近年研究卻發現 STEM 教育實施成效未如預期，不僅 STEM 就業市場的人力供需持續有落差，學生對於 STEM 的學習也缺乏興趣（盧佩綺，2019），有學者認為這是因為 STEM 學科之間實際整合成效不彰的結果，教育系統只重視教導學生如何流暢地執行既定的學習任務，卻很少培養學生的好奇心和自我動機，而在 STEM 領域中添加藝術（Art）可以解決這個問題，因為藝術可以促使學生透過探索各種可能性來表達自己對學習材料的理解。換句話說，藝術可以為複雜的問題尋求多種解決方案，有助於創造力思維的培養和實踐（Land, 2013; Makrakis, 2018; White & Delaney, 2021）。

Snow（1959）在劍橋大學的瑞德講座（Rede Lecture）中，以「兩種文化與科學革命」為題，將西方社會分為科學與人文兩種基本文化。STEM 教育早期僅限於科學學科，可以明確看出這種人文與科學的分裂，然而這樣的分裂可能導致科學與人文整合上的困難。Makrakis（2018）指出，將知識和價值分開的實證主義和工具主義假設，導致了定量推理（quantitative reasoning）屬性的 STEM 學科被界定為「硬科學」，而定性推理（qualitative reasoning）屬性的藝術與人文社會學科則被界定為「軟科學」，此種二分法的錯覺造成了 STEAM 學科整合的阻礙，因為人們在現實生活知識的應用是不分學科的，一些非常傑出的科學家早已體認到藝術和想像力在科學知識產生的過程中的價值。White 和 Delaney（2021）即引用愛因斯坦對科學和藝術的見解，認為最偉大的科學家也會是藝術家，當達到某種高水平的技術技能後，科學和藝術往往會在美學、可塑性和形式上融合。

Yakman（2008）試圖提出 STEAM 金字塔的教育概念與模型（如圖 1）來解釋 STEM 與 Art 在教育上的融合與交互作用關係。Yakman 將藝術歸類為五種類型，分別是涉及溝通交流的語文；與繪畫、雕塑、色彩理論和有形的創造性表達相關的美術；體育、舞蹈和表演相關的體育藝術；與操作物體所需的特定身體技能或技術相關的手工藝術；以及涉及社會科學，如社會學、哲學、心理學、神學、歷史、公民學、政治學等最為廣泛的博雅教育。博雅教育的價值在於喚醒或加深人們的好奇心和懷疑的精神，讓人們參與有意義的問題並且享受鑽研沉思的樂趣（Davis, 2014）。因此，STEAM 金字塔頂端，也是 STEAM 教育的最終目標，界定為全人教育，涵蓋終身學習的概念，教導學生個別學科具體內容知識並非 STEAM 教育的目的，而是協助學生理解和掌握他們生命中可能面臨的巨大變化的策略，因此藉由培養學生終身學習的態度、習慣和技能，

才能讓學生更有能力適應社會 (Yakman, 2008; Yakman & Lee, 2012)。具體來說, STEAM 教育強調學生自我導向與終身學習, 融合各類跨域知識, 掌握日常生活中知識並加以靈活應用, 尤其伴隨著知識經濟時代以及科技推陳出新, 在社會環境愈發呈現出複雜多變、快速變遷的「後現代社會」中, 唯有抱持終身學習持續多樣化發展修練相關知識素養、技巧和態度, 俾能適應現在生活及未來各種環境挑戰。

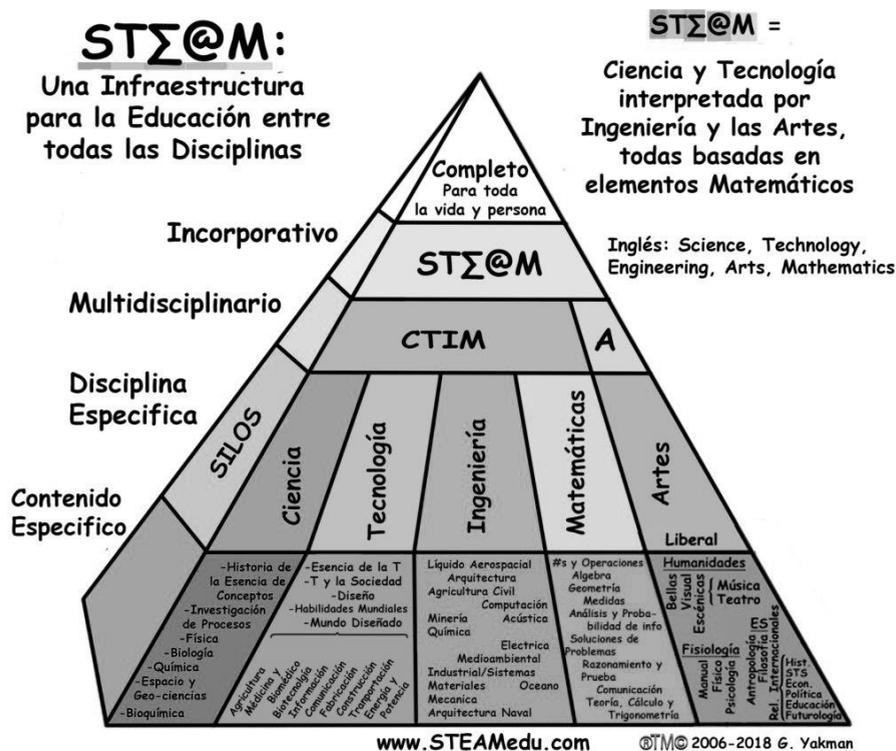
實際上, S、T、E、A、M 對人類瞭解世界與改造社會中發揮著獨立又相互的作用: 透過科學認識世界、依據社會需求來透過工程與技術改造世界、運用藝術發展與豐富世界, 而數學則提供上述領域思考和分析方法。因此, 即使是穀倉式的 STEAM 具體學科學習, 科學、科技、工程、數學與藝術彼此之間仍保有相互關係。最底層為具體課程內容, 主要是 S、T、E、A、M 等專業學科相關的課程, 例如科學學科包含物理、化學、生物等相關課程, 是跨學科教育開展的基礎 (Yakman, 2008; Yakman & Lee, 2012)。

STEAM 教育在 STEM 教育中涵括了藝術思維, 以提高學生在「硬」學科中的創造力, 由此產生的典範轉移突破了傳統 STEM 所鼓勵的結構化與邏輯程序性的思維過程 (White & Delaney, 2021), 認為科學提供了藝術領域方法論的工具, 而藝術則提供了科學發展的創造力模式 (Kim et al., 2012)。STEAM 教育包含了透過喚起學生對於將數學與科學學習與生活連結的好奇心來幫助他們了解到如何學習, 以及關注在邏輯、數學、實證與科學思維等學習經驗, 而運用了藝術能提升學生的設計能力、對作品的呈現能力與增加創造性計畫的效率 (Bybee, 2010; Bishop-Wisecarver, 2015)。此外, 在 A 在 STEAM 彰顯出「藝術」本身的外顯美、設計思考、大藝術視角、視覺化過程、美感素養及藝術性的詮釋等面向, 並涵蓋了歷史、文學、哲學等「人文」學科, 此亦可從我國「藝術領域」課程綱要中瞭解藝術本身承載著傳承文化及增進人與自己、他人、環境之多元、同理關懷與永續發展 (教育部, 2018; 陳怡倩, 2017)。因此 STEAM 教育的最終目標是希望能基於提升學生興趣的概念上, 培養學生連結真實生活與加強統整思維的整合能力 (Park et al., 2020)。

雖然藝術有助於提升學生的創造力、批判性思維等技能, 但實際上在 STEM 教育中藝術發揮的作用仍不清楚, 導致此結果的可能原因之一是對於 STEAM 教育中, 認為藝術主要關注的是成品的誤解, 忽略了藝術的精神主要在於其思考、規劃、創作或表演藝術工作進行學習的過程, 使得藝術有關的「設計」內涵, 無法有效展現在 STEAM 課程中, 並且對最終產品的過分關注, 反而在無形中扼殺學生的創造力 (盧秀琴、賴淑菁, 2020; Perignat & Katz-Buonincontro, 2019)。美國羅德島藝術設計學院校長提出了增加「藝術+設計」來促進 STEM to STEAM 的運動, 認為藝術美學理念是創新的關鍵元素, 藝術能夠更有效地

融入跨領域學科之中，形成融合性的教學（Convergence Education），其作用不僅僅是讓學生裝飾或美化 STEM 成品，而是要能增強學生的思考力、設計力、創造力與解決力，幫助學生在認知、情感和理解與操作 STEM 過程中有更高階的思考投入與產出（湯維玲，2019）。

圖 1  
STEAM 教育金字塔



引自 Yakman, G. (2010). What is the point of STE@M? - A brief overview. *STEAM: A framework for teaching across the disciplines. STEAM Education*, 7, p.3.

Yakman (2008) 的 STEAM 教育提出了功能性素養（functional literacy）的重要性，學生必須具備功能性素養，才能有效地獲得廣泛的基本學科知識，並且在不同的課程內容、學科之間進行知識移轉的高階思維運作，進而幫助學生知道如何跨主題思考並理解學科之間的關聯。Root-Bernstein 與 Root-Bernstein (2011) 指出「寫作」在學習中如藝術所扮演的角色般，發揮了

創造力所需的「思維工具」(tools for thinking)，若是無法掌握其中創造性運用展現的學習者，將在無法做好任何學科學習的準備，STEM 學科亦是如此，因此展開了「R」融入 STEAM 的新模式。

### 三、STREAM 教育：展開寫作與反思的新途徑

聽、說、讀、寫是語言發展的歷程，而語言是人類思維發展的根本，且語言是超越學科界線的，是學習各種知識的重要技能，任何學科的學習都與語言交織在一起(劉惠美、張鑑如，2011；van Ittersum, 2018)。因此，人類科學思維是在科學話語不斷進行社會磋商的動態過程中建構而成的，科學語言則是科學思維建構的工具，個體在具備科學的學科知識和能力的前提下，方能以聽、說、讀、寫的方式，在學科社群中進行理解、表達和溝通(蔡淑君、段曉林，2004；van Ittersum, 2018)。換言之，精通科學語言可以讓人更準確地理解科學活動，是科學成功的先決條件，也是創新和成功的科學家必要技能，可以顯著提高 STEM 課程的表現(Miyake et al., 2010)。研究指出大學科學本科生輟學率高的原因之一，即是對於那些缺乏科學文化或科學話語經驗的學生來說，科學話語的特定傳播方式，造成他們無法理解和掌握科學社群文化中的專門領域素養(specialized literacies)，如學科素養、學術素養、量化素養、或是隱而未現的素養，而能讓專業領域內的學習者有效地進行溝通，係科學領域成功必備的素養，也就是科學相關素養，進而導致他們在科學閱讀和寫作上的困難(Kelly-Laubscher et al., 2017)。讀寫是人類語言能力的最高展現，讀寫也是理解科學文本的方法，為過去強調動手做的 STEM 和 STEAM 教育提供了新的教育方向(Gumennykova et al., 2019)，因為有許多科學現象和概念，以及對科學的疑惑和好奇，是無法單由動手做來實驗或回答的(洪月女、靳知勤，2008)，因此納入 R (Reading and/or wRiting) 元素以彰顯讀寫在 STEAM 學科學習的作用，雖非 STREAM 教育的獨特產物，但仍有其意義和價值性。

素養(literacy)通常被譯為「讀寫能力」，而根據英國國家讀寫素養基金會(National Literacy Trust)對「Literacy」一詞的解釋，係一種涵蓋閱讀、寫作、口說與聆聽等技能，透過此技能可使我們與他人溝通及理解世界。Laugksch (2000)將科學素養(scientific literacy)定義為「閱讀、寫作和理解系統化人類知識的能力」，而 Miller (2016)亦認為科學素養為現代公民所需的一項能力，即能發現與理解問題，以及透過科學或科技以投入相關政策抉擇的公共議題討論之中。而澳洲維多利亞州政府更區分了科學素養和科學中的素養(literacy in science)兩者之間的差異，指出科學素養是個人對科學概念、現象和過程的理解，以及將這些科學知識應用於新的、有時是非科學情境(例如日常生活)的能力(Organisation for Economic Cooperation and Development, 2018)；科學中的素養則是指個人能夠理解、綜合和交流科學內容知識的能力，此即涉及到

個人的讀寫能力。然而科學素養和科學中的素養息息相關，要培養學生的科學素養，必須先提升學生科學中的素養，方能幫助學生成功地發展科學理解和科學探究能力。

Shamos (1995) 提出了三種不同科學思維複雜程度的科學素養，第一種是文化科學素養 (cultural scientific literacy)，是指理解用於大眾溝通的一般與基本科學用語，也就是能閱讀科普等大眾知識的書籍、報紙、雜誌等，理解其所傳遞的訊息意義；第二種是功能性科學素養 (functional scientific literacy)，是指除了能閱讀科學用語之外，還能夠在一般情境中，與他人進行科學的對談或寫作，此與第一種素養最大的差別在於，文化科學素養偏向被動接收媒體使用的基礎科學用語，而具備功能性科學素養者，不僅能閱讀和理解科學相關媒體資訊外，還能夠將該報導的內容傳達給第三方；第三種則是真正的科學素養 (true scientific literacy)，此為最高層次的科學素養，也就是能夠在專業的科學社群中，進行有意義地參與和交流 (蔡淑君、段曉林, 2004; Laugtsch, 2000)。

科學素養的分類，說明只有當學生理解科學閱讀時，才能有效地進行科學寫作 (Parkinson et al., 2007; Shamos, 1995)，不僅符合了人類語言發展的歷程，也說明了高層次的科學素養，不只是科學用語的閱讀和書寫，還包含了對科學文化系統的理解。因此，具有真正的科學素養者，必須理解科學社群的信仰、價值、規範、話語、思考、行為與互動模式，方能透過讀寫實踐，與科學社群進行交流並共同為擴展學科知識做出貢獻 (Kelly-Laubscher et al., 2017)。然而與人文社會學科的讀寫活動相比，STEM 的讀寫活動被認為相對標準化和僵化的 (Negretti & McGrath, 2020)，典型的科學寫作體裁 (genre) 通常是側重於問題或假設的提出，然後驗證假設、接受假設做為事實的實驗報告形式 (Kelly-Laubscher et al., 2017; Parkinson et al., 2007)，使得科學寫作經常被認為只是自然現象或實事的紀錄而非寫作 (洪月女、靳知勤, 2008)，且此種單一、一致性的典型科學話語體裁，反而扼殺了學生的能動性、冒險性和創造力。學科話語社群 (discourse community) 受到批評之處，在於藉由學科知識的霸權，馴化學習者符合學科社群既定的規範和價值觀，進而阻礙學習者學習澄清、解構和重建他們想成為、想知道和想做的事情 (Makrakis, 2018)。因此，儘管個體的科學讀寫技巧通常是在學科社群內與他人有意義的互動過程中發展而成的，然而這同時也是一種內隱的社會歷程—接受與默認慣例，導致了一致性並扼殺了創造力 (Negretti & McGrath, 2020)。在跨科概念的學習上，強調知識能夠從單一學科的深度學習到跨學科的連結，並將知識應用於解決生活問題之中，加之在 STEAM 的學習上重視探究能力與問題解決，培養學生創造性、推理論證性及批判思辨的能力，透過現象的觀察、規劃方案、蒐集資料、分析數據等探究方法，再將結果使用語言或寫作方式呈現，以此培養學生論證反思的

能力（邱美虹，2018）。

具批判性的反思寫作學習有助於學生抵抗學科知識的霸權（Makrakis, 2018）。於此，必須先闡述批判性思維與反思性思維的定義。批判性思維是個人為避免慣性和刻板印象，而對偏見、預設想法等進行檢視、分析、評估、判斷和詮釋，是一種使用邏輯、比較和推理的思維方式，從而得出某些想法、理論或行為。反思性思維意味著個人在面對新的學習和經驗時，反思其先前學習和經驗的能力，嘗試在兩者之間建立聯繫以及選擇最合適的策略，強調個人檢視以往經驗、知識、感知、論證和理解的能力。批判性思維與反思有著本質上的關聯，因為這兩個過程都涉及反思性思維和行動（Akpur, 2020; Carter et al., 2017）。反思性寫作作為教學策略，鼓勵學生檢視、分析和評估所經歷過的情況或經驗，幫助學生從經驗中進行深入學習。在反思性寫作的過程中，學生藉由理論內容和證據挑戰與整合他們的想法、感受、預設想法和經驗，幫助他們對情境、行為和想法有更深入的了解，而在此種有意義的學習歷程中所進行的反思，將能培養學生批判性的思維能力（Carter et al., 2017）。

Kim 和 Kim (2021) 提出發明導向學習 (invention-based learning, IBL)，此方法強調建立學生具有發明家的思維方式，並試著發現解決問題的可能性，認為教師須先藉由問題解決活動來使學生理解科學概念與知識，再將這些知識與經驗融入寫作之中，讓學生透過寫作來質疑和比較他們的發明經驗與課程概念，得以發展科學的理解能力和讀寫技能，促使學生對科學概念背後的推理進行內化及強化對科學的理解。寫作有助於學生將發明歷程中所經驗的無形科學知識，移轉為書面形式以重新建構知識，並且提供學生解釋、分析和反思發明歷程的機會。Kelly-Laubscher 等 (2017) 則要求物理科專業背景學生從「自我批判的作家」、「為觀眾寫作的作家」、「廣泛和批判性閱讀的讀者」、「同行審查的評審」四種不同的立場，與同儕進行物理科的合作學習，並指出此種作家又作為讀者的讀寫實踐方式，有助於學生對物理學科社群話語和文化的理解與批判反思能力的培養。學生以批判性的立場，書寫、閱讀和評論自己與他人的寫作過程中，反思並釐清他人與自我在認識上的差異，以及藉由解釋重新建構知識與澄清概念。因此，從上述學者所提出的論點可知，透過閱讀、寫作活動的結合，更能彰顯 STEAM 所主張的精神—問題解決、創造思考、探究等能力的提升，而具有全面性科學素養者，並非只是能夠勝任撰寫報告，還必須反思與批判科學知識建構的經驗，進而與他人交流。

回顧過往對 STEM 教育型態之描述與解釋，可發現其中概念的變遷。從關注數學、科學與科技知識完整性的多學科模式、到強調彼此學科間橫向交融的跨學科模式，乃至加入創造性及發散性思維、統合運用學科知識的超學科模式，被視為一種連續性的觀點，以培養學生高層次能力為目標（周淑卿、王郁雯，

2019；陳玟樺、劉美慧，2021）。是以當前教育願景著重培養學生本身所具備之批判思考、自我反思以及個人責任為出發點，爬梳過去文獻，目前有關科學寫作的研究多數在探討寫作如何改變學生的科學概念或增進科學學習的成效，或探討在自然科教室裡實施科學寫作的教學策略（洪月女、靳知勤，2008），偏向科學社群內的讀寫表達與交流，所能發揮的批判性反思思維，主要著重在科學社群知識的建構、解構與再建構，較少思考這些科學知識與社會環境的連結。換言之，將寫作視為輔助科學學習的工具，能培養學生科學素養，但無法保證能成為具社會責任感的公民，然而培養具公民素養的 STEAM 人才對於世界的永續發展有其重要性，尤其是緣起於相關專業人才短缺的 STEM 教育，強調培養學生具備解決現實世界問題的 STEM 能力，以在競爭激烈的全球市場中，追求經濟繁榮的未來（El-Zein & Hedemann, 2016），相對忽略了科學和科技也可能帶來的不可逆世界性問題，例如資源耗竭，因此只培養學生在 STEM 學科的批判反思思維，而忽略對社會、環境、文化的批判反思，並無法保證 STEM 人才在追求經濟繁榮的過程中，也能思考個人對全球永續發展應有的社會責任，成為具社會責任感和批判思維的 STEM 人才（Makrakis, 2018; Zizka et al., 2021）。基於此侷限，本文在永續發展教育理念架構下納入 STREAM 教育，期能為 STEM、STEAM 以及 STREAM 教育發展脈絡另闢蹊徑。

#### 四、小結

STEM/STEAM/STREAM 教育之名象徵了學科分際的消弭與範圍的融合。Perignat 和 Katz-Buonincontro(2019)綜合分析了 2007 年至 2018 年以 STEAM 為主題的 44 篇文章，並據此將 STEAM 教育目的區分為兩種，一是融合五個學科的充分一體化的方式（fully integrated approach），強調 STEAM 教育對於提升 STEM 學科學習的重要性，增加學生對 STEM 領域的興趣，以及培養 STEM 職業所需的技能。二是強調透過 STEM 學習培養學生的創造力，或作為在現實世界中提高解決問題能力的一種方式，重視的是統整領域的通用技能，例如換位思考、創造性和解決問題的技能、跨學科知識轉移，或鼓勵學生探索和體驗新的認識方式。以此兩種目的對應 Stokols（2018）所指的跨學科人才培育方式，第一種似乎比較偏向科際整合方式，即培養學生獲得兩個或多個學科的工作知識，並鼓勵將這些知識融入他們的學習之中；第二種則似乎比較偏向超學科方式，目標是培養學生能夠以超越現有學科界限的新穎方式，綜合來自不同領域的概念和方法，強調知識整合和創新的重要性。

相似地，國內張仁家、林癸妙（2019）引用國外學者的觀點，將 STEM 教育定義分為兩種，一是將有助於科技創新、國家競爭力與繁榮的學科皆視為 STEM 教育，但並不聚焦在劃分該學科是否屬於 STEM 領域；另一則是強調跨領域邏輯和概念之間的聯結，強調跨領域間課程與教學的綜整融合。STEM 可

被視為是一種教育觀點 (perspective)，教學與學習方法須尊重每個學科背後的認識論本質，亦即學生在不同的學習脈絡下發動與學習不同的 STEM 實踐方式，如科學、數學或工程領域中的處事、思考和溝通形式 (Pérez-Torres et al., 2020; Rico et al., 2021)，因此，在教育實踐上，STEM 是一種「後設學科」 (meta discipline)，教師透過統整性的方法來處理教學內容 (Merrill & Daugherty, 2009)，因此 STEM 教育是運用和整合科學、科技、工程、數學，將 STEM 的觀念、方法與技巧，藉由課程實踐融入學生的生活，以培養學生高層次思維之跨學科統整的教育模式 (張仁家、林癸妙，2019)。

從跨領域人才的特性來看，何謂跨領域人才？徐振雄 (2009) 借用德國著名哲學家 Hans Georg Gadamer 所提出的視域融合 (fusion of horizon) 概念，解釋個體的視域應保有開放的思維，允許個體換位 (position) 進入另一個視域，並且融合不同的視域，提升對事物的認識能力。因此我們認為避免將 STEAM 單獨設科、學科化，應該將 STEAM 視為一種教學觀點/框架或作為一種學習方式的教育路徑，透過跨學科的課程統整實作活動連結各學科的知識，進而形成一種整合性的學習經驗，學習如何運用 STEAM 跨域知識來解決真實世界中的問題，因此本文認為 STEAM 不僅被視為一種「綜整知識應用與實踐」的方法，更是一種學習「思考探究」的方法，思考如何將跨域知識進行整合創新及應用於生活之中。

## 參、永續發展教育架構下的 STREAM 理念

永續發展目標 (Sustainable Development Goals, 簡稱 SDGs) 是對於經濟、社會和環境的可持續性，且這三者是一體、無法分割的。聯合國在宣布《十年永續發展教育》時，引進了「負責任教育原則」，說明面對永續發展策略變革的推動，學校在教導學生具備有助於社會和知識進步的價值和技能上扮演著關鍵角色 (Zizka et al., 2021)，培養永續素養是學生能自主學習以促進關鍵能力成長的行為、能改變生活方式並實現為永續發展的社會變革，以及對今後世代負責的行為，其內涵包含三個面向：(1) 態度：從個人以及集體方面理解為何要追求永續發展；(2) 知識：知道如何採取永續行動；(3) 行為：採取行動或支持他人有利永續發展的決定 (Parkin et al., 2004)。

永續發展教育含有動態的概念，其目標為「促使人們成為一個能積極面對環境與社會變遷的公民」，並包含了參與式與行動導向的方法 (張珍悅、徐勝一，2010)。然而實際上學生對於永續發展的了解卻很少 (Lambrechts et al., 2018)。Zizka 等人 (2021) 研究指出，就算是美國 STEM 教育成效良好的高等教育機構，學生的永續素養仍呈現理論上、在課堂上學習的內容與隨後在現

實世界中應用的落差。Hopkinson 和 James (2010) 同樣指出，傳統的 STEM 教育中，課堂上所講授的永續發展概念與實驗室、實際日常生活之間存在差距，這對 STEM 教育與 SDGs 的結合是不利的，因為學生無法單純地透過抽象理論來理解永續的議題，從中產生動機來改變行為與進行永續發展行動；反之，學生必須藉由分析和調查現實世界中的問題，進而發展策略來解決問題 (Zizka et al., 2021)。因此，結合永續正義 (sustainability justice) 的議題，可望為 STREAM 教育與永續發展教育帶來交集的火花 (Makrakis, 2018)。

永續發展教育整合許多學科中的概念與分析方法，藉此來協助我們瞭解生活周遭的世界，並透過教育方法來追求永續發展，以及對於自身的生活社區進行批判思考，而 UNESCO 指出永續發展教育的原則，應著重幾個層面，分別為：跨學科 (interdisciplinary)、整體的價值驅動 (holistic value-driven)、批判性思考 (critical thinking)、問題解決 (problem solving)、多元方法 (multi method)、參與性 (participatory)、決策制定 (decision making)、應用力 (applicability)、與在地關聯 (local relevant) 等原則 (林季怡、李育諭, 2018)。Walshe (2017) 指出培養學生永續發展的觀念，教師可採用跨領域的方法針對自然環境的欣賞與閱讀相關議題進行詩詞創作，並鼓勵學生對永續發展投入批判性思維與情感，藉此培養永續發展更整體性的觀點。

永續發展教育將社會、環境與經濟等三大領域進行整合，其中社會領域包含了人權、和平和人類安全、性別平等、文化多樣性、多元 (跨) 文化理解、健康、HIV/AIDS 防治及、治理；環境領域包含了自然資源 (水、能量、農業、生物多樣性)、氣候變遷、農村發展、永續都市、防災減災；經濟領域包含了消滅貧窮、企業義務與責任、市場經濟。永續發展教育共涵蓋了 17 項目標，其中 STREAM 永續發展教育在實踐上與這些目標在不同程度上產生關聯，其中更嵌入自然生態與人文社會關懷的角度，思考科技的適用、永續發展議題和正義議題，即透過科學和社會複雜的交互作用所形成之爭議或兩難困境的社會性科學議題 (Socio-Scientific Issue, 簡稱 SSI)，這樣的議題試著透過學生討論與辯論，甚至透過查找、判斷資料，提出自我論點的學習過程，促進學生高層次、論證能力，SSI 與跨科整合的 STEM 教育是彼此兼容、互補的，SSI 提供學生練習面對現實生活問題的空間，因此 SSI 可視為具真實性的情境學習媒介，與強調創造性思考、合作學習的跨科整合 STEM 教育與 SSI 的目標相符應，提供學生概念理解，及培養問題解決與探究的能力，使得學生從能源、氣候變遷、奈米科技與人文社會科學的跨學科整合議題，學習永續正義論證的重要題材，以符合永續發展目標 (林樹聲、黃柏鴻, 2009; 李如偉等人, 2012; 邱美虹, 2018; Josa & Aguado, 2021; Wahono et al., 2021)。

在學習過程中，透過讀寫或對話等活動進行不同立場的表達與論證 (李如

偉等人，2012），以思考永續發展四大支柱，包含環境、社會、經濟和文化永續與 STREAM 之間的關係，目標是期望學生能從始於道德價值和原則的信念，體驗 STREAM 學習並在學習歷程中進行批判性的反思（包含寫作），以構建、解構和重建對自己、對社會、對世界的理解、知識和意義的建設性（constructive）與變革性（transformative）學習（Makrakis, 2018）。而我國於 108 課綱中揭槩應培養學生能分析、思辨與批判人與科技、社會、環境之間的關係，雖我國目前尚無 STREAM 明確的課程目標，但依 STREAM 精神可發現與 108 課綱中的有一定程度的呼應，STREAM 是一跨領域整合的教育模式，在教學實踐上可符合科學（S）的理論與標準及以科技（T）作為數位輔助工具，再依設計思考展現工程（E）的穩定與藝術（A）的美觀，再輔以數學（M）的圖與表進行數據分析，以及進行批判性反思寫作（R）的論述，發展學生跨領域的學習發展。

## 肆、STREAM 永續發展教育與設計思考的結合模式

培養學生具永續發展目標的 STREAM 素養，教學實施的第一線教師成為主要關鍵。然而，當前教師在進行跨學科的 STREAM 教學中面臨著多重挑戰。首先，教師缺乏跨學科課程整合的能力，尤其是必要的技術和工程方面的知識和技能，來設計和實施 STREAM 課程（Margot & Kettler, 2019）。再者，鑒於教學經驗的不足，設計適合的問題來引導以學生為中心的學習，對教師來說也具有挑戰性（So & Kim, 2009）。因此，本文以史丹佛大學的 d.loft STEM Learning 設計思考系列課程，以及 Henriksen et al. (2017) 提倡的「設計中學習」（Learning by Design）為例，提供教師援引永續發展教育架構下 STREAM 跨域課程設計之參考。運用「設計思維」（Design Thinking）來引導藝術課程，在教學中提供現實生活的案例，讓學生經由同理心、定義（問題）、構思、原型、測試的過程，進行設計創作（Bequette & Bequette, 2012）。

美國史丹佛大學教育學院與 Hasso-Plattne 設計學院合作成立 REDlab（Research in Education, & Design）所開發 d.loft STEM Learning 系列課程（Carroll, 2015），可做為永續發展教育架構下 STREAM 課程設計的參考。該系列課程以設計思考培養學生核心技能與 STREAM 素養，通過設計思考取向的動手實踐、以團隊協作互動式的學習活動完成任務，同時掌握與轉化 STREAM 跨域融合的深層知識。強調在永續發展教育架構之下，從真實生活與發展需要出發，以設計思考為視角來開發永續 STREAM 主題課程建構，讓學生對周遭環境有所感知，關切當地、國家與全球的難題，例如潛入！水課程、點燃！能源課程和建造學習避難所課程等經典課程，鼓勵學生積極面對並解決全球和本地環境中的設計挑戰專題中，啟動一系列探究永續思考的設計思考歷

程。

設計思考是一種強調跨學科、以人為中心，以及創新的思維方式，其概念的啟發源自於設計師的思考和工作方式，主要可分為同理心（Empathize）、定義（Define）、想法匯總（Ideate）、原型製作（Prototype）、測試（TEST）五個階段（Albay & Eisma, 2021; Granholt, & Martensen, 2021; Plattner, 2011）。以下就各階段加以說明：

### 一、同理心階段：

作為設計思考的起點，是指對試圖解決的問題有同理心的理解，設計者必須站在以人為本的立場，瞭解人們的需要、需求與願望。設計者可以透過訪談相關的人、觀察其在真實情境下的行為，或直接參與問題所在的環境，以拋開自己對情況的預設立場，進而對所欲解決的問題有更深入的理解。

### 二、定義階段：

也稱為意義建構階段，運用人物誌（persona）的概念，歸納、分析同理心階段所蒐集而來的信息，瞭解問題情境所處的人們遇到了哪些困難和障礙，以確認和定義核心的問題。透過定義，可以發展出清晰的問題陳述。值得注意的是，問題的陳述上應該是聚焦在「問題情境所處的人們需要...」而非「我們（設計師）需要...」，才能真正從以人為本的著眼點進行思考。

### 三、想法匯總階段：

專注於創意的產生，目標是為定義階段所設定的問題陳述尋找潛在和創新的解決方案，設計者利用發散和收斂思維來挑戰原有的解決方案，並探索可能的替代方案，過程中必須思考、想像不同解決方案可能產生的問題和侷限，進而縮減和聚焦在少數可行的創新解決方案，以利下一階段的進行。

### 四、原型製作階段：

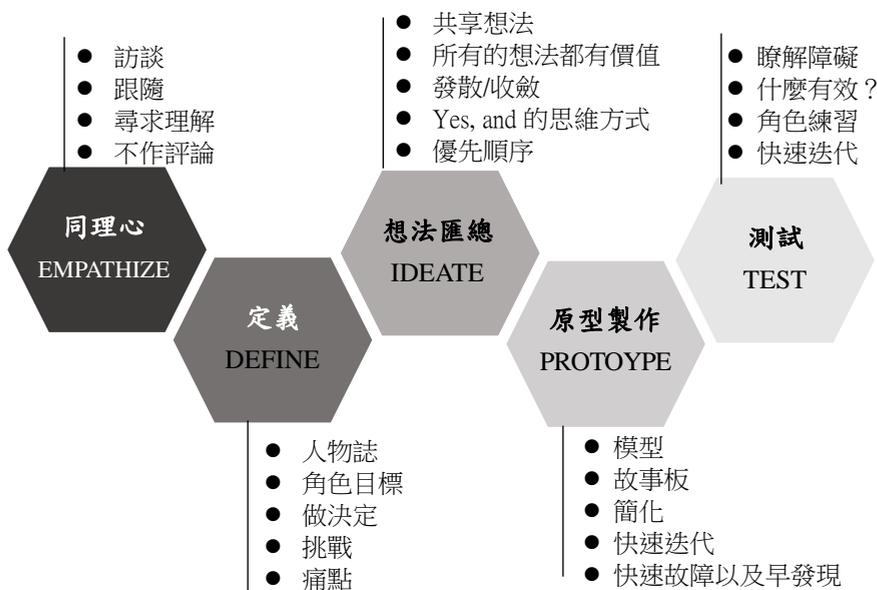
是指設計者進行試驗並將可能的解決方案轉化成有形和具體的產品。不過此階段的產品只是一種縮小比例的模擬試驗研究，目的是在測試產品的可行性，此階段也是發現原先解決方案的缺陷和問題之處的關鍵，因此原先提議的解決方案可能會被接受、改進、重新設計或拒絕。

### 五、測試階段：

主要是邀請問題情境所處的人們進行產品的測試，並且從詢問、傾聽他們的建議中學習，藉此反覆和改進解決方案。設計者不應只是確認使用者是否喜歡該產品，而是應該進一步詢問可以如何做得更好，以滿足使用者隱藏的需求。因此，設計思考是一種觀察、開發框架、創建想法和提供解決方案的迭代、非線性與靈活的學習過程。

d.loft STEM Learning 系列課程即依循此五階段設計思考模式（圖 2），開展與環境保護、節約能源及生產相關的 STEM 專題學習活動，鼓勵學生積極面對挑戰，進一步分析設計和解決現實問題，從訓練系統性的思維習慣和規劃執行能力中、培養學生的批判性創新思維與團隊合作溝通以及創新問題解決能力（Carroll, 2015）。此種透過發散性和收斂性的思維構思問題與需求、針對需求尋求跨領域設計、將設計理念實現為原型、再透過不斷運作來修正與測試的設計思考模式，也被許多學校所採用，例如美國麻省理工學院與瑞典查爾穆斯特技術學院、林克平大學、皇家技術學院合作發展構思（Conceive）、設計（Design）、實現（Implement）、運作（Operate）的 CDIO 教學模式（Marasco & Behjat, 2013），有異曲同工之妙。

圖 2  
Stanford d.school 設計思考流程 (Schmarzo, 2017)



Henriksen 等人（2017）融入讀寫教育，將 d.loft STEM Learning 的設計思考模式，擴展為「設計中學習」的課程模式，更為貼近本文 STREAM 永續發展課程設計之理念。首先，在閱讀和討論階段，教師可以 SSI 的永續正義議題為題材，分配適合個人閱讀的讀物，並且透過全班或小組討論，將學生的讀後想法與接下來要進行的學習實踐和主題聯繫起來。在選擇實踐設計方案的問題階段，學生在自己的生活脈絡之下，選擇與主題相關的實踐問題，接下來整個設計思考模式階段皆圍繞著該實踐問題而進行。模組實驗室階段，進行 d.loft

STEM Learning 相似的設計思考流程，而每個設計思考階段皆有相對應的成果評量，例如同理心階段的書面或口頭報告、想法匯總階段的小組會議紀錄、原型製作階段的問題解決方案模型等。最後為反思寫作階段，即學生針對整個學習歷程進行反思，並著眼於未來的實踐。

以探究實作的設計思考為視角來開發永續 STREAM 主題課程建構強調與學生真實生活的連結，與永續 STREAM 教育課程奠定在「地方本位與專題導向」的典範（place-based and project-based paradigm）概念相似，其連結了想像力與真實目的，尋找真實世界的問題與並具有採取行動進行改善的潛能。而 STREAM 永續設計思考，透過具體地將在地環境納入設計方法中，藉由設計方法將 STEAM 的跨域融合與實務知能奠立於價值導向的行動。希冀在自然環境的行動中，關注能在學校社區提出更具創造力的貢獻。而以 SSI 的永續正義議題為題材，發展 STREAM 課程，說明了「硬科學」與「軟科學」融合的可能性，STEM 素養強調與現實生活的連結，因此在分析和解決複雜的社會性科學問題時，軟科學的融入，可以幫助學生更批判和敏銳地找到解決方案（Josa & Aguado, 2021）。有意推動 STREAM 永續發展課程者，可援引上述相關的教學策略並融合前述的寫作策略，以發展符合自身教學需求的 STREAM 永續發展課程。

## 伍、永續發展教育（ESD）結合設計思考之 STREAM 跨域課程

如同 Alexandrakis（2021）所說，設計思考可以幫助解決社區居民的需求，其中包含了永續發展目標的實踐，例如克服社會不平等、永續發展社會的轉型等；同時設計思考作為一種創造的過程，也是一種跨學科的過程。跨學科亦是推展 ESD 的關鍵，永續發展是一涉及複雜、多個技術和學科領域的議題，必須藉由跨學科的方式處理，而跨學科正是 STREAM 教育的核心（Rico et al., 2021）。由此，不難看出，ESD、設計思考與 STREAM 具有關聯性，因此設計思考在運用 STEAM 跨學科精神，以培養學生對 SDGs 的知識、態度、技能方面，有其潛力。根據前述設計思考，研究團隊援引一主題有關高雄在地文化課程－「旗山『蕉』點」，藉由設計方法將 STEAM 的跨域融合與實務知能奠立於價值導向的行動。希冀在自然環境的行動中，關注能在學校社區提出更具創造力的貢獻。而以 SSI 的永續正義議題為題材，發展建構以 ESD 結合設計思考之 STREAM 的跨領域課程，進行探究與實作課程設計，課程知識結構圖整理如圖 3：

### 一、課程準備階段：

研究者以國中一年級自然科學領域科學方法運用於香蕉斑點之探究活動為主軸，再與任教一年級其他領域教師群共同進行跨領域討論與設計，嘗試提出可試行 ESD 結合設計思考之 STREAM 課程設計之單元。

## 二、課程發展與實施階段：

其後，透過文獻探討、專家諮詢與課程共備階段，將教材內容細項與搭配十二年國教新課綱之學習重點作調整及轉化，逐一釐清可行脈絡。

圖 3

SDGs 融入 Design thinking 之 STREAM 的跨領域課程知識結構圖

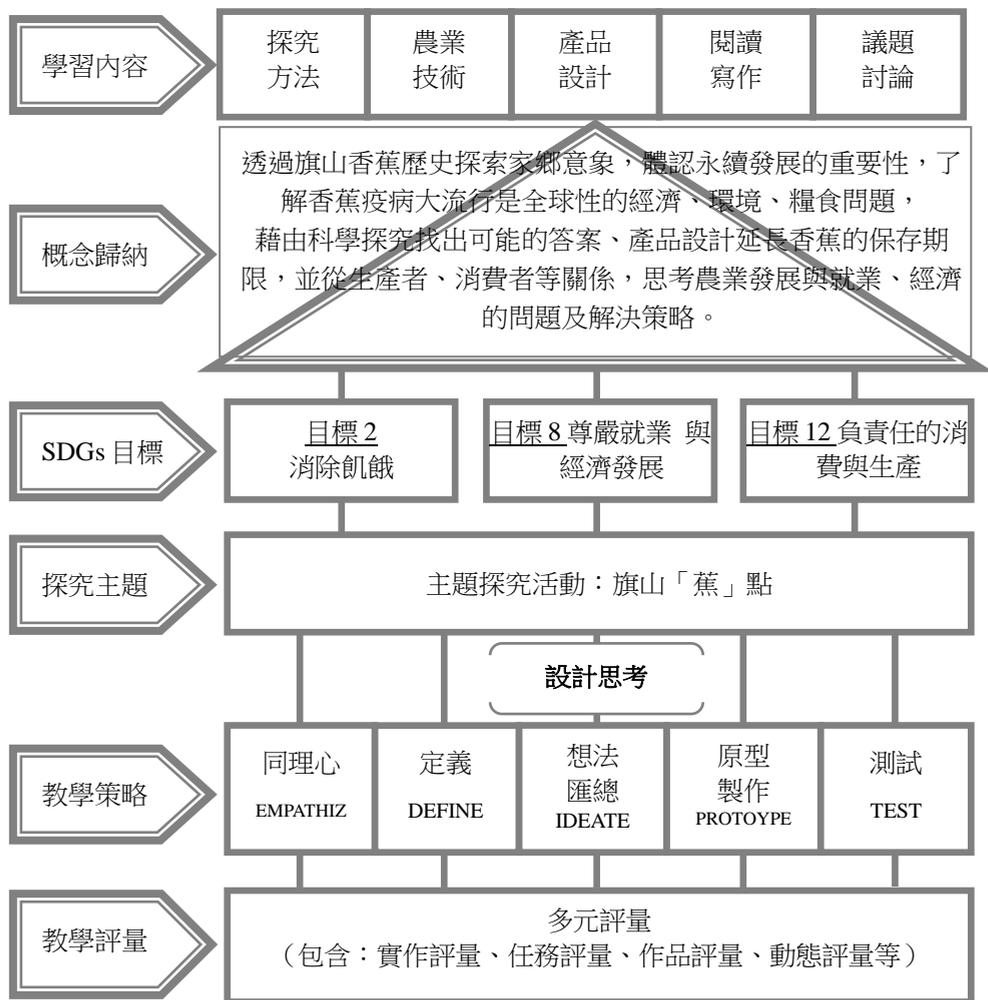




圖 4  
SDGs 融入設計思考之 STREAM 的跨領域探究實作課程發展與實施階段(續)



如圖 4 所示，自然科學領域課程以科學探究教學模式鋪陳，建立學生科學實驗必要知識與技能，以「旗山『蕉』點」作為探究教學之主題，首先透過在地家鄉的香蕉文史故事，可讓學生認識今昔對照下的轉變，以及介紹目前全球香蕉產業發展最大的限制因素－香蕉黃葉病，了解植物栽培技術運用在香蕉種植面臨的挑戰，部份發展中國家的主食香蕉生產正面臨短缺，思考環境永續發展及經濟發展的平衡問題，並引導學生從在地的永續發展影響出發，進行問題思考與小組討論，再者結合科技領域之產品設計圖繪製課程，鼓勵學生進行減少香蕉斑點之包裝設計探究實作，包裝設計實作部分以家鄉做為主題範圍，意圖透過課程實踐將藝術創作與地方認知產生互動關係，接續融入閱讀理解策略，學生對斑點與疫病進行網絡資料搜尋，藝術的行動力可作為永續發展轉化的媒介，永續發展的理念則可透過藝術的行動得到展現，探究活動的最後將針對包裝設計探究實作以及全球性香蕉疫病問題進行學習交流與分享。但與以往不同的是，不僅是討論實驗紀錄與結果，而是加入了閱讀寫作與藝術的觀點，讓學生進行分組討論、結果報告以及議題反思。

透過結合閱讀和寫作來驅動學習，培養學生的相關能力與多元科學識讀的素養，已有長遠的歷史。而強調在學習領域中結合閱讀和寫作，可激發學生多元思考的能力，因此，閱讀探究是閱讀素養培育中最重要與基礎的一塊，也是二十一世紀必要的學習基礎能力，掌握閱讀理解素養，方能在不同領域的學習中擷取資訊與連結統整意義，有系統地建構知識網絡，為未來的學習奠定更紮實的基礎。而在藝術素養方面，學者專家強調在 STEM 中加入 Art 元素，其作用不僅僅是讓學生裝飾或美化 STEM 成品，而是強調在教學過程中用藝術發現和設計成品與解決問題，來創造完整且有意義的學習體驗。

於此，以高雄在地文化課程「旗山『蕉』點」主題，建構以 ESD 結合設計思考之 STREAM 的跨領域課程為例：

## 一、同理心階段：

學生從閱讀「旗山－香蕉王國的前世今生」、「香蕉葉黃病：一場堪比新冠疫情的農業災難」、「香蕉產銷失衡是天災還是人禍」等文章，理解香蕉對於旗山的歷史、文化及經濟上的重要性，香蕉疫病流行起因來自植物栽培技術與人類口感的偏好、產銷失衡的問題嚴重，蕉農、消費者、政府等方面的立場為何。針對此階段評量方式可採：(1)有層次的提問，從文本學習提出事實、推論、評論等不同層次的問題及(2)圖／表整理，將相同、相異性質的立場資訊整理出來，並以圖表方式呈現。

## 二、定義階段：

## 專論

嘗試以科學家的想法去思考，從觀察不同斑點狀況的香蕉，進而直接觸摸及品嚐，體會各種斑點程度口感之美，並比較不同品種香蕉顏色、香氣及口感的差異，進而了解香蕉配運輸送時可能碰到的問題。針對此階段評量方式可採：(1)作品評量，將針對香蕉斑點的觀察進行素描彩繪及(2)觀察記錄表，從不同觀察結果的紀錄中，進行問題分析與釐清。

### 三、想法匯總階段：

從閱讀理解網路搜尋到的資訊內容，嘗試提出解決問題的創意想法。針對此階段評量方式可採：圖文作品表，採魚骨圖、心智圖等圖表方式呈現資料搜集結果，並將討論出的問題解決方法整理、紀錄後，進行發表。

### 四、原型製作階段中：

引導學生選擇合適繪圖工具，並使用線條、輪廓、明暗等素描技巧，練習手繪產品包裝設計圖，並在包裝及料理實作活動中，安排材料、使用合適的加工方式與工具，以完成作品。任務與實作評量：針對此階段評量方式可採：任務與實作評量，教師可觀察學生將自己的想法或設計轉換成成品結果的過程與能力，如設計包裝上的家鄉意象及包裝外觀，呈現設計理念、美觀性、實用性及選用材質，並適時給予引導協助。

### 五、測試階段：

學生使用自製的產品包裝進行實測與紀錄，試吃與評價各種香蕉創意料理，以及觀賞各組的情境短劇後，進行分享、討論與反思，體會運用探究活動之研究樂趣。針對此階段評量方式可採：(1)實驗紀錄，將從各種變因的試驗結果紀錄，並運用統計圖表將結果呈現；(2)論證式寫作，依數據、主張、理由、反駁、支持、修飾等論證組成進行科學寫作。

在課程最後，屏除傳統自然科學實驗活動僅要求學生進行實驗紀錄的報告填寫，學生需整合閱讀寫作與藝術的素養能力，進行科學寫作報告撰寫以及全球香蕉疫病與產銷失衡議題討論反思。科學寫作需要運用多元資訊的能力，如文字寫作、圖表理解及繪圖等，學生經由藝術、閱讀與寫作的融入，可讓學生以文字描述與比較他們觀察到的香蕉斑點狀況，並且對斑點之顏色、型態等特徵進行生物繪圖，因此學生可從寫作與繪圖的方式表達自己獲得的知識，而在香蕉葉黃病及產銷失衡議題討論時，學生則將蒐集到的網路資料進行閱讀理解，於小組討論與師生互動的交流中，進行推理論證、批判思辨，並且期望能從結論中進一步提出新的問題與創意發想。在本探究與實作課程的各階段，教師適時進行多元評量（包含：實作評量、任務評量、檔案評量、動態評量等），

並且在課程結束後，跨領域教師群針對學生之科學寫作報告，以 STREAM 多面向進行多元評量，來共同進行分析與討論，以做為後續永續發展教育（ESD）結合設計思考之 STREAM 跨域課程之參考。

本 STREAM 的跨領域課程設計規劃時透過凝結（cohesion）機制，期望能增加課程統整性（Nathan et al., 2013）。凝結機制包括以下幾點：

### 一、概念歸納：

進行課程設計前，教師須先從 SDGs 目標確認課程單元裡的核心概念，並將核心概念與 STREAM 跨領域進行連結，進而提供學生多元的學習探究情境，若學生無法理解課程中的核心概念，將會流於片段的學習。

### 二、表徵、工具與材料的協調（coordination）：

學生在探究實作活動時，有時會同時面臨問題與挑戰，像是網路資訊搜尋、同儕討論與教師說明指引，在設計不良的探究活動中可能會同時進行。在本研究中融入符合 SDGs 目標之社會性科學議題，從核心概念延伸並進行多元的探究實作活動，因此本探究實作課程融入設計思考之 STREAM 的跨領域之探究教學策略，可協調每階段的教學活動產生有意義的連結外，可提昇學生學習專注度並降低認知負荷。

### 三、順向推演（forward projection）：

也就是預告接續課程活動。設計思考強調不同以往的創意解難設計流程，是透過人的需求出發，改善工程師之設計流程。在設計思考取向之探究教學策略中，每個階段活動都是下個階段學習任務與挑戰的預先準備，也就是說此探究教學策略有助學生理解學習內容並接續的探究學習做好準備。

### 四、反向推演（backward projection）：

也就是回顧與反思。在本探究實作課程中，除了各階段進行多元評量外，最後進行科學寫作報告撰寫以及全球香蕉疫病與產銷失衡等議題討論，可增進學生新舊知識之間的連結，並提昇學生後設認知能力。

## 陸、未來展望

在實踐永續 STREAM 跨域教育時，儘管有多種不同的課程設計模式可以援引，然最理想的模式是跨越學科的藩籬，讓學生能夠真正的整合與應用

STREAM 的能力，以解決真實世界的問題。本文拋磚引玉，以「旗山『蕉』點」為探究主題，援引設計思考教學策略以及凝結機制，融入永續 STREAM 的跨域課程，供教學參考。而學科跨域融合或未盡理想，亦或存在設計思考的可能潛在問題，例如教學者對創意缺乏信心與掌握、團隊合作衝突、初次從事時感到焦慮和沮喪、學習內容和設計思考過程之間的緊張關係等（Panke, 2019）。然而，考量目前中等教育階段分科相較明確，期望教師能進行跨科溝通、合作，希望學生在進行相關任務學習時，理解如何應用理論知識到真實世界情境，能跨越學科的藩籬，覺察永續問題，進行高階批判思考及創意問題解決時，協同合作將跨域相關知識、經驗與方法，並從不同的觀點予以整合，建構永續跨領域認知、技能、能力與態度。再者，研究團隊後續擬採取設計研究法來驗證實施教學，希冀有興趣教學者也可以有所啟發，在永續發展教育的框架下從藉由不同的策略引導 STREAM 教學，如：設計思維、6E、DDMT 或 UbD 重理解的課程設計等，透過證據本位教學來驗證本課程設計之教學成效，最後提出對未來在永續 STEAM 教育之展望。

### 一、依據永續發展目標進行課程設計，展現 STREAM 反思精神， 培育學生永續發展社會責任

聯合國提出「永續發展」一詞，使得我們對經濟發展與環境問題開始進行全面性反思。本文針對永續 STREAM 跨域探究課程設計進行論述，援引其理論和知識結合永續發展的經濟、環境和社會三大支柱，讓學生參與真正的永續發展計畫和行動，並落實於現實生活中。有鑒於生活經驗和社會實踐的多元性，也展現其背後的精神，並不全然包含科學、科技、工程、數學等學科，而是能發揮其特徵的問題導向實作的課程設計，幫助學生打破學科界線的學習，重新組織和連結學科知識以解決真實世界問題。期許將跨學科性、情境性、實踐性、實證性與跨域融合從多元立場切入，培養學生具備 21 世紀所需技能，亦能發展永續認知、情意、行動力以及創新的問題解決能力，獲得永續發展所需的必要知識、技能與態度，兼顧環境保護、公民意識和經濟發展的永續發展核心素養的人才培育，也能思考個人對全球永續發展應有的社會責任，成為一具備社會責任觀的人才。

### 二、運用跨域課程理念結合設計思考，引發 STREAM 實際行動， 奠定永續發展教育實踐

#### （一）提升在職／職前師資跨域專業知能、學生反思能力、全民終身教育

當前教師在進行跨領域的 STREAM 教學中面臨多重挑戰，肇因於教師缺乏跨學科課程統整能力，因此有必要在永續發展教育架構之下，規劃 STREAM 探究與實作的相關師培模組與課程研發與設計，作為中小學教學現場彈性學習課程之參考依據。「永續不可只是強加於課程中，應是一個通道（gateway），通往不同觀點的課程...」（王嘉陵，2016）本研究試圖拋磚引玉，以自身家鄉為主題規劃 STREAM 跨領域教學設計，並援引設計思考的思維模式，強調的並非是成果的美觀性，而是關注在「藝術的行動力」，希冀教師能以設計思考的角度切入。鼓勵教師以在地導向的行動專題，透過 STREAM 永續跨域教學來豐富課程設計與實施，體認到許多知識或生活問題，本質上並非僅止於應背課本知識或數理公式，以及學會使用先進科技技術就能得到迎刃而解，而是透過思考訓練，嘗試尋求問題並做出各種可能性的探究，以強化學生知能整合與生活運用能力。

### （二）建構學生永續 STREAM 的反思能力

永續 STREAM 跨域課程實施的樣貌十分多元，在本文僅以國中階段作為探討的範圍，建議用設計思考的理念來規劃 STREAM 跨域課程、建構整合知識。其課程實施的關鍵在於是否真正的掌握知識建構的主體，提供學習者、合作者、教師和科技之間一種互惠式的環境，協助學習者學習思考及創造知識本體之心智媒介以及解決問題，成為時時省思的參與者與行動者，並給予更多「人文」永續的關懷。因此深信透過有效的課程設計與教學實施能反應永續發展的價值，建構學生以自身出發的反思活動，進而將透過促發實踐的力量對永續發展作出迴響。

### （三）培養全民全球與在地人文素養的終身教育

永續 STREAM 教育目標不單單是在培養 21 世紀實踐世界需求的科學家、技術專家、工程師和數學家，局限於想當科學家、技術工程師或數學家等專才的人，不是只為數理資優或績優的學生而設，而是全民終身教育。期待這些未來公民以及將成為未來領導者的新世代，能夠在全球經濟中透過創新、生產力和社會變革來有效管理並分配世界上有限的資源，以達永續發展之目標。本研究希冀透過 STREAM 永續跨域設計中工程活動、實施技術和利用資源來解決問題並且維持自然環境，而不是破壞生態利益優先，同時考量到公共利益與人文關懷與永續問題，培養學生在跨領域、動手做、解決問題生活應用能力中、培養全球視野與人文素養以及在地關懷、掌握競爭力之種子人才。

在學校與課堂教學的場域中，教師們皆是該領域學科各有擅長的專家，而在跨領域的素養導向課程設計過程中，參與的教師們若只專注於各自的學科專業討論，則容易產生專家盲點。在面對該跨領域議題時，自然難以捕捉、掌握

## 專論

現象與事實的全貌，更難以看到議題背後或是更上一層的跨領域學科之大概念及理論。因此，在進行跨領域素養導向課程設計時，需要各領域學科專家先進行腦力激盪，拋出各自看到的現象與事實，透過提問說明，拓展眾人對於該議題的認識、感知與理解，並透過焦點探討，形成多元且具體的想法。藉由腦力激盪，不但可以擴展彼此對於該議題的想像並形成共同理解，打破一己原有認知的囿限，更可藉由各種形式組合的提問與對話，更深入具體地探討該議題，進而激盪出更多創意與靈感。

## 致謝

本研究感謝教育部高教深耕計畫之特色領域研究中心「智慧電子商務研究中心」經費補助，以及二位審稿委員悉心審閱，提供寶貴建議令本文更臻完善，特此敬致謝忱。

## 參考文獻

- 周中天（1985）。編序式電腦輔助教學課程軟體設計之商榷。**教學與研究**，7，213-225。
- 王嘉陵（2016）。大學永續發展教育之檢視與展望。**高雄應用科技大學人文與社會科學學刊**，2（2），19-32。<http://doi.org/10.6554/JKTUHS.2016.0202.02>
- 何佳瑞（2017）。全速前進之 STEAM 教育：藝術（Arts）融入 STEM 的效益。**教育研究月刊**，281，110-120。<http://doi.org/10.3966/168063602017090281009>
- 李如偉、蘇明洲、黃泮翔、呂仲誠、高慧蓮（2012）。以科學讀寫模式提升國小學童論證能力之研究。**科學教育學刊**，20（6），483-514。
- 周淑卿、王郁雯（2019）。從課程統整到跨領域課程：台灣二十年的論述與問題。**教育學報**，47（2），41-59。
- 林季怡、李育諭（2018）。跨領域永續課程提升大學生整體性思考及衝突問題解決能力：以海洋永續教育為例。**科學教育學刊**，26（1），1-27。
- 林樹聲、黃柏鴻（2009）。國小六年級學生在社會性科學議題教學中之論證能力研究—不同學業成就學生間之比較。**科學教育學刊**，17（2），111-133。
- 邱美虹（2018）。以科學素養為導向的新課綱--- 從社會性科學議題融入課程談

- 起。臺灣教育評論月刊，7(10)，1-7。
- 洪月女、靳知勤（2008）。科學寫作理論與教學之探討。課程與教學，11（2），173-191。
- 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。
- 徐振雄（2009）。科技與社會（STS）融入通識課程的規劃與教學實踐：以萬能科技大學「從本土環境保護意識解析科技發展下蛻變的環境價值」STS 計畫為例。通識教育學刊，3，37-65。
- 張仁家、林癸妙（2019）。美國 STEM 教育的發展沿革與經驗—以俄亥俄州為例。科技與人力教育季刊，5（4），1-25。
- 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。
- 教育部（2018）。十二年國民基本教育課程綱要—藝術領域。教育部。
- 陳佩英（2018）。跨領域素養導向課程設計工作坊之構思與實踐。課程研究，13（2），21-42。
- 陳怡倩（2017）。從 STEAM 的 A 來看美國 STEAM 教育。香港美術教育期刊，1，4-9。 <http://www.hksea.org.hk/wordpress/wp-content/uploads/2017/07/STEM-to-STEAMs.pdf>
- 陳玟樺、劉美慧（2021）。芬蘭一間學校的現象為本學習課程統整設計與學生學習表現。教育研究集刊，67(1)，107-157。 <http://doi.org/10.3966/102887082021036701004>
- 湯維玲（2019）。探究美國 STEM 與 STEAM 教育的發展。課程與教學季刊，22（2），49-78。
- 劉惠美、張鑑如（2011）。口語和閱讀關連性研究之文獻回顧與展望。教育心理學報，43，251-268。
- 蔡淑君、段曉林（2004）。論科學與數學之統整。科學教育月刊，275，6-19。
- 蔡進雄（2021）。各國推動 STEM 教育的新動態。國家教育研究院電子報，180。 [https://epaper.naer.edu.tw/edm.php?grp\\_no=3&edm\\_no=180&content\\_no=3176](https://epaper.naer.edu.tw/edm.php?grp_no=3&edm_no=180&content_no=3176)

## 專論

盧秀琴、賴淑菁 (2020)。使用 6E 教學策略教導國小學生製作「電磁車」專題以培養 STEAM 素養。《中等教育》，71 (1)，10-28。

盧嫻綺 (2019)。STEAM 跨領域美感教育專題教學設計之探究。《藝術教育研究》，37，49-82。http://doi.org/10.6622/RAE.201905\_37.0002

Akpur, U. (2020). Critical, reflective, creative thinking and their reflections on academic achievement. *Thinking Skills and Creativity*, 37, Article 100683.

Alexandrakis, J. (2021). Cycling towards sustainability: The transformative potential of urban design thinking in a sustainable living lab. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9(1), 1-9. https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100269

Albay, E. M., & Eisma, D. V. (2021). Performance task assessment supported by the design thinking process: Results from a true experimental research. *Social Sciences & Humanities Open*, 3(1), Article 100116.

Badmus, O. T., & Omosewo, E. O. (2020). Evolution of STEM, STEAM and STREAM education in Africa: The implication of the knowledge gap. *International Journal on Research in STEM Education*, 2(2), 99–106. https://doi.org/10.31098/ijrse.v2i2.227

Bentham, H. (2013). Clearing the path that has been laid: A conceptualization of education for sustainable development. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 15(2), 25-41.

Bequette, J. W., & Bequette, M. B. (2012). A place for art and design education in the STEM conversation. *Art Education*, 65(2), 40-47. https://doi.org/10.1080/00043125.2012.11519167

Bishop-Wisecarver. (2015, March 07). Fueling STE(a)M education with art and creativity. *Bishop Wisecarver*. http://www.bwc.com/blog/post/fueling-steam-education-with-art-and-creativity

Burghardt, M.D. & Hacker, M. (2009). *Perspectives on K-12 Engineering*. MSTP STEM Symposium. Singer Island, Florida. https://www.hofstra.edu/academics/colleges/seas/ctl/ctl\_k12enr.html

Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and*

*Engineering Teacher*, 70, 30-35.

- Carroll, M. (2015). Stretch, dream, and do: A 21st century design thinking & STEM journey. *Journal of Research in STEM Education*, 1(1), 59-70.
- Carter, A. G., Creedy, D. K., & Sidebotham, M. (2017). Critical thinking evaluation in reflective writing: Development and testing of Carter Assessment of Critical Thinking in Midwifery (Reflection). *Midwifery*, 54, 73-80.
- Christensen, R., Knezek, G., & Tyler-Wood, T. (2014). Student perceptions of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) content and careers. *Computers in Human Behavior*, 34, 173-186.
- Christenson, J. (2011, November 13). *Ramaley coined STEM term now used nationwide*. *Winona Daily News*.  
[http://www.winonadailynews.com/news/local/article\\_457afe3e-0db3-11e1-abe0-001cc4c03286.html](http://www.winonadailynews.com/news/local/article_457afe3e-0db3-11e1-abe0-001cc4c03286.html)
- Davis, J. C. (2014). Why choose the liberal arts? *Journal of Interdisciplinary Studies*, 26(1/2), 208-210.
- El-Zein, A. H., & Hedemann, C. (2016). Beyond problem-solving: Engineering and the public good in the 21st century. *Journal of Cleaner Production*, 137, 692-700.
- Filho, W. L., Shiel, C., Paço, A., Mifsud, M., Ávila, L. V., Brandli, L. L., Molthan-Hill, P., Pace, P., Azeiteiro, U. M., Vargas, V. R., & Caeiro, S. (2019). Sustainable Development Goals and sustainability teaching at universities: Falling behind or getting ahead of the pack? *Journal of Cleaner Production*, 232, 285-294.
- Granholt, M. F., & Martensen, M. (2021). Facilitate design through improve: The qualified eclectic. *Thinking Skills and Creativity*, 40, Article 100785.
- Granovskiy, B. (2018). *Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) Education: An overview* (R45223-4). Congressional Research Service.  
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45223/4>.
- Gumennykova, T., Blazhko, O., Luhova, T., Melnyk, S., Troianovska, Y., & Riashchenko, O. (2019). Gamification features of stream-education

components with education robotics. *Applied Aspects of Information Technology*, 2, 45-65.

Henriksen, D., Richardson, C., & Mehta, R. (2017). Design thinking: A creative approach to educational problems of practice. *Thinking Skills and Creativity*, 26, 140-153.

Hopkinson, P.G., & James, P. (2010). Practical pedagogy for embedding ESD in science, technology, engineering and mathematics curricula. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 11(4), 365-379.

International Technology and Engineering Educators Association. (2020). *Standards for technological and engineering literacy: The role of technology and engineering in STEM education*. <https://www.iteea.org/STEL.aspx>

Iuliana, M., & Ciascai, L. (2019). The opinion of primary and preschool pedagogy specialization students about the teaching approaches related with stem/steam/stream education. *Proceedings of 12th annual International Conference of Education, Research and Innovation* (pp.7269-7275). <http://doi.org/10.21125/iceri.2019.1728>

Josa, I., & Aguado, A. (2021). Social sciences and humanities in the education of civil engineers: current status and proposal of guidelines. *Journal of Cleaner Production*, 311, Article 127489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127489>

Kelly-Laubscher, R. F., Muna, N., & van der Merwe, M. (2017). Using the research article as a model for teaching laboratory report writing provides opportunities for development of genre awareness and adoption of new literacy practices. *English for Specific Purposes*, 48, 1-16.

Kim, E., Kim, S., Nam, D., & Lee, T. (2012). *Development of STEAM program math centered for middle school students*. <http://www.steamedu.com/wp-content/uploads/2014/12/Development-of-STEAM-Korea-middle-school-math.pdf>

Kim, S. & Kim, D. (2021). English learners' science-literacy practice through explicit writing instruction in invention-based learning. *International Journal of Educational Research Open*, 2(2), Article 100029. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2020.100029>

- Lambrechts, W., Ghijssen, P. W. Th., Jacques, A., Walravens, H., Van Linderkerke, L., & Van Petegem, P. (2018). Sustainability segmentation of business students: Toward self-regulated development of critical and interpretational competences in a post-truth era. *Journal of Cleaner Production*, 202, 561-570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.303>
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71-94.
- Makrakis, V. (2018). *From STEM to STEAM and to STREAM enabled through meaningful critical reflective learning*. [https://www.researchgate.net/publication/346965218\\_From\\_STEM\\_to\\_STEAM\\_and\\_to\\_STREAM\\_enabled\\_through\\_meaningful\\_critical\\_reflective\\_learning](https://www.researchgate.net/publication/346965218_From_STEM_to_STEAM_and_to_STREAM_enabled_through_meaningful_critical_reflective_learning)
- Marasco, E., & Behjat, L. (2013, June 2-3). Integrating creativity into elementary electrical engineering education using CDIO and project-based learning. *IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Integrating-creativity-into-elementary-electrical-Marasco-Behjat/24b07a671c3919c097efb298a03516ad89a8b5ac>
- Margot, K.C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6, 2. <http://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Merrill, C., & Daugherty, J. (2009). *The future of TE masters degrees: STEM* [Paper presentation]. The 70th Annual International Technology Education Association Conference, Louisville, KY.
- Miller, J. D. (2016). *Civic scientific literacy in the United States in 2016*. <http://home.isr.umich.edu/files/2016/10/NASA-CSL-in-2016-Report.pdf>
- Miyake, A., Kost-Smith, L. E., Finkelstein, N. D., Pollock, S. J., Cohen, G. L., & Ito, T. A. (2010). Reducing the gender achievement gap in college science: A classroom study of values affirmation. *Science*, 330(6008), 1234-1237. <http://doi.org/10.1126/science.1195996>

- Nathan, M. J., Srisurichan, R., Walkington, C., Wolfgram, M., Williams, C., & Alibali, M. W. (2013). Building cohesion across representations: A mechanism for STEM integration. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 77-116.
- National Research Council (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12635>
- Negretti, R., & McGrath, L. (2020). English for specific playfulness? How doctoral students in Science, Technology, Engineering and Mathematics manipulate genre. *English for Specific Purposes*, 60, 26-39. <https://doi.org/10.1016/j.esp.2020.04.004>
- Ntona, M., & Morgera, E. (2018). Connecting SDG 14 with the other sustainable development goals through marine spatial planning. *Marine Policy*, 93, 214-222.
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2019), *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>
- Panke, S. (2019). Design thinking in education: Perspectives, opportunities and challenges. *Open Education Studies*, 1(1), 281-306.
- Park, H., Kim, Y., Nho, S., Lee, J., Jung, J., Choi, Y., Han, H., & Baek, Y. (2012). Components of 4C- STEAM education and a checklist for the instructional design. *Journal of Learner- Centered Curriculum Instruction*, 12(4), 533-557.
- Park, W., Wu, J. Y., & Erduran, S. (2020). The nature of STEM disciplines in the science education standards documents from the USA, Korea and Taiwan: Focusing on disciplinary aims, values and practices. *Science and Education*, 29, 899-927.
- Parkin, S., Johnston, A., Buckland, H., Brookes, F., & White, E. (2004). *Learning and skills for sustainable development: Developing a sustainability literate society—Guidance for higher education institutions*. Forum for the Future.
- Parkinson, J., Jackson, L., Kirkwood, T., & Padayachee, V. (2007). A scaffolded reading and writing course for foundation level science students. *English for Specific Purposes*, 26(4), 443-461.

- Pérez-López, R., Eugenio-Gozalbo, M., Zuazagoitia, D., & Ruiz-González, A. (2020). Organic learning gardens in higher education: Do they improve kindergarten pre-service teachers' connectedness to and conception of nature? *Frontier Psychology, 11*, Article 282. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00282>
- Perignat, E. & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity, 31*, 31-43.
- Plattner, H. (2011). *An introduction to design thinking process guide*. The Institute of Design at Stanford. <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf>
- Rico, A., Agirre-Basurko, E., Ruiz-González, A., Palacios-Agundez, I., & Zuazagoitia, D. (2021). Integrating mathematics and science teaching in the context of education for sustainable development: Design and pilot implementation of a teaching-learning sequence about air quality with pre-service primary teachers. *Sustainability, 13*(8), Article 4500. <http://doi.org/10.3390/su13084500>
- Root-Bernstein, R., & Root-Bernstein, M. (2011, March 16). *Turning STEM into STREAM: Writing as an essential component of science education*. *The National Writing Project website*. <https://www.nwp.org/cs/public/print/resource/3522>
- Saxton, E., Burns, R., Holveck, S., Kelley, S., Prince, D., Rigelman, N., & Skinner, E. A. (2014). A common measurement system for K-12 STEM education: Adopting an educational evaluation methodology that elevates theoretical foundations and systems thinking. *Studies in Educational Evaluation, 40*, 18-35.
- Schmarzo, B. (2017, February 5). Can design thinking unleash organizational innovation? TechTarget. <https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/can-design-thinking-unleash-organizational-innovation>
- Shamos, P. S. (1995). *The myth of scientific literacy*. Rutgers University Press.
- Snow, C. P. (1959). *The two cultures and the scientific revolution*. Cambridge University Press.

- So, H.-J., & Kim, B. (2009). Learning about problem based learning: Student teachers integrating technology, pedagogy and content knowledge. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(1), 101-116. <https://doi.org/10.14742/ajet.1183>
- Stokols, D. (2018). Educating the next generation of social ecologists. In D. Stokols (Ed.), *Social Ecology in the Digital Age: Solving Complex Problems in a Globalized World* (pp. 319-349). <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04300-6>
- United States Domestic Policy Council. (2006). *American competitiveness initiative*. United States Government.
- van Ittersum, D. (2018). A review of expanding literate landscapes. *Computers and Composition*, 48, 85-88. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.03.008>
- Wahono, B., Chang, C. Y., & Khuyen, N. T. T (2021). Teaching socio-scientific issues through integrated STEM education: An effective practical averment from Indonesian science lessons. *International Journal of Science Education*, 43(16), 2663-2683. <http://doi.org/10.1080/09500693.2021.1983226>
- Walshe, N. (2017). An interdisciplinary approach to environmental and sustainability education: Developing geography students' understandings of sustainable development using poetry. *Environmental Education Research*, 23(8), 1130-1149.
- White, D., & Delaney, S. (2021). Full STEAM ahead, but who has the map for integration? – A PRISMA systematic review on the incorporation of interdisciplinary learning into schools. *LUMAT*, 9(2), 9-32.
- Yakman, G. (2008). STEAM Education: An overview of creating a model of integrative education. In *Research on technology, innovation, design and engineering (TIDE) teaching* (pp.335-358). Pupils Attitudes Towards Technology 2008 Annual Proceedings. Netherlands.
- Yakman, G. (2010). What is the point of STE@M? - A brief overview. STEAM: A framework for teaching across the disciplines. *STEAM Education*, 7, 1-28.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072-1086.

Yee, K. (2015). America COMPETES act's effect on NASA's education and public outreach programs. *Space Policy*, 31, 27-30.

Zizka, L., McGunagle, D. M., & Clark, P. J. (2021). Sustainability in science, technology, engineering and mathematics (STEM) programs: Authentic engagement through a community-based approach. *Journal of Cleaner Production*, 279, Article 123715.

## 附錄

課程規劃		課程內涵
設計思維 階段	STREAM 跨領域	教學內容簡介
同理心 EMPATHIZ	自然科學 (S)	引導學生以閱讀理解的策略，閱讀「旗山—香蕉王國的前世今生」、「香蕉葉黃病：一場堪比新冠疫情的農業災難」、「香蕉產銷失衡是天災還是人禍」，並從糧食、經濟、就業、消費與生產等面向，能進一步提出自己的看法與問題。 (SDGS_2/8/12)
	科技 (T、E)	
	語文 (R)	
定義 DEFINE	自然科學 (S)	引導學生觸摸品嚐各種斑點程度的香蕉，進行科學觀察體驗。讓學生思考品質控管問題對於香蕉運送的影響，以及糧食生產、農業經濟等社會性科學議題 (SDGS_8/12)。 深入問題探討：香蕉為什麼會產生斑點呢？如何在運送過程中避免斑點產生呢？香蕉是主食嗎？為什麼人們只吃固定品種的香蕉呢？(SDGS_2)
	藝術 (A)	選用合適繪圖工具，並使用素描技巧，進行香蕉斑點之生物繪圖紀錄。
		<p><b>tr-IV-1</b> 能將所習得的知識正確的連結到所觀察到的自然現象及實驗數據，並推論出其中的關聯，進而運用習得的知識來解釋自己論點的正確性。 SDGS_2 消除飢餓 SDGS_8 尊嚴就業與經濟發展 SDGS_12 負責任的消費與生產</p> <p><b>設 a-IV-3</b> 能主動關注人與科技、社會、環境的關係。 <b>設 k-IV-2</b> 能了解科技產品的基本原理、發展歷程、與創新關鍵。</p> <p><b>2-IV-5</b> 視不同情境，進行報告、評論、演說及論辯。 <b>5-IV-4</b> 應用閱讀策略增進學習效能，整合跨領域知識轉化為解決問題的能力。 <b>5-IV-5</b> 大量閱讀多元文本，理解議題內涵及其與個人生活、社會結構的關聯性。</p> <p><b>tr-IV-1</b> 能將所習得的知識正確的連結到所觀察到的自然現象及實驗數據，並推論出其中的關聯，進而運用習得的知識來解釋自己論點的正確性。 <b>tc-IV-1</b> 能依據已知的自然科學知識與概念，對自己蒐集與分類的科學數據，抱持合理的懷疑態度，並對他人的資訊或報告，提出自己的看法解釋。 <b>ah-IV-1</b> 對於有關科學發現的報導，甚至權威的解釋（例如：報章雜誌的報導或書本上的解釋），能抱持懷疑的態度，評估其推論的證據是否充分且可信賴。 SDGS_2 消除飢餓 SDGS_8 尊嚴就業與經濟發展 SDGS_12 負責任的消費與生產</p> <p><b>視 1-IV-1</b> 能使用構成要素和形式原理，表達情感與想法。 <b>視 1-IV-2</b> 能使用多元媒材與技法，表現個人或社群的觀點。</p>

永續發展教育架構下 STREAM 跨領域教育之探究

課程規劃		課程內涵	
設計思維階段	STREAM 跨領域	教學內容簡介	各領域學習重點
想法匯總 IDEATE	自然科學 (S)	讓學生進行資料蒐集，了解香蕉運輸時的環境變因、香蕉創意料理以及產銷的困境等，從進行小組討論等活動，進而提出構想，激發腦中的創意想法。 (SDGS_8/12)	<b>6-IV-1</b> 能依據已知的自然科學知識概念，經由自我或團體探索與討論的過程，想像當使用的觀察方法或實驗方法改變時，其結果可能產生的差異；並能嘗試在指導下以創新思考和方法得到新的模型、成品或結果。 SDGS_8 尊嚴就業與經濟發展 SDGS_12 負責任的消費與生產
	科技 (T、E)	可於電腦教室使用網路資源，找尋參考資訊。在包裝設計圖繪製時，引導學生考量產品設計要點(如使用對象、材料選擇、加工方式、功能、安全、質感等)。(SDGS_8/12)	<b>設 a-IV-3</b> 能主動關注人與科技、社會、環境的關係。 <b>設 k-IV-2</b> 能了解科技產品的基本原理、發展歷程、與創新關鍵。 <b>設 c-IV-1</b> 能運用設計流程，實際設計並製作科技產品以解決問題。 <b>設 s-IV-1</b> 能繪製可正確傳達設計理念的平面或立體設計圖。 SDGS_8 尊嚴就業與經濟發展 SDGS_12 負責任的消費與生產
	語文 (R)	引導學生將從網路資源中收集到的參考資訊，以批判閱讀理解的策略，進行擷取、分析、比較、統整、思考、提問等多元綜合的理解建構歷程。	<b>2-IV-5</b> 視不同情境，進行報告、評論、演說及論辯。 <b>5-IV-4</b> 應用閱讀策略增進學習效能，整合跨領域知識轉化為解決問題的能力。 <b>5-IV-5</b> 大量閱讀多元文本，理解議題內涵及其與個人生活、社會結構的關聯性。
	藝術 (A)	引導學生盡情發揮自己的創意，將所蒐集到的資料與各種巧思，轉換融入包裝設計圖及情境短劇編排。	<b>視 3-IV-3</b> 能應用設計思考及藝術知能，因應生活情境尋求解決方案。 <b>表 1-IV-1</b> 能運用特定元素、形式技巧與肢體語彙表現想法，發展多元能力，並在劇場中呈現。
原型製作 PROTOTYPE	科技 (T、E)	教師提供學生包裝設計所需之基本材料，讓學生自行攜帶設計所需之額外材料，依照初步設計圖，安排材料與工具，使用合適的加工方式與工具，進行包裝製作，過程中並對作品進行整修與裝飾。	<b>設 s-IV-2</b> 能運用基本工具進行材料處理與組裝。 <b>設 k-IV-3</b> 能瞭解選用適當材料及正確工具的基礎知識。 <b>設 c-IV-1</b> 能運用設計流程，實際設計並製作科技產品以解決問題。 <b>設 c-IV-2</b> 能在實作活動中展現創新思考的能力。
	數學 (M)		<b>s-IV-2</b> 至 <b>s-IV-6</b> 理解角、線條、圖形等的意義與各種性質，並能應用於解決幾何與日常生活的問題。

課程規劃		課程內涵	
設計思維階段	STREAM跨領域	教學內容簡介	各領域學習重點
原型製作 PROTOTYPE	藝術 (A)	包裝上設計家鄉標誌，在包裝設計時，考量視覺元素與美的形式原則，及實際實用需求。情境短劇編排時，將創意思考融入議題，營造表演之情境，以引起同學共鳴。	<p><b>視 1-IV-4</b> 能透過議題創作，表達對生活環境及社會文化的理解。</p> <p><b>視 1-IV-1</b> 能使用構成要素和形式原理，表達情感與想法。</p> <p><b>表 3-IV-1</b> 能運用劇場相關技術，有計畫地排練與展演。</p> <p><b>表 3-IV-2</b> 能運用多元創作探討公共議題，展現人文關懷與獨立思考能力。</p>
	語文 (R)	能運用所學得之跨領域知識，轉化為情境短劇之故事敘述的編寫。	<p><b>5-IV-4</b> 應用閱讀策略增進學習效能，整合跨領域知識轉化為解決問題的能力。</p> <p><b>6-IV-5</b> 主動創作、自訂題目、闡述見解，並發表自己的作品。</p> <p><b>6-IV-6</b> 運用資訊科技編輯作品，發表個人見解、分享寫作樂趣。</p>
測試 TEST	自然科學 (S)	使用自製包裝設計進行香蕉斑點實驗觀察。了解香蕉在不同的溫度、氣體填充、運送時間下，包裝設計對斑點產生的影響。 (SDGS_8/12)	<p><b>pe-IV-2</b> 能正確安全操作適合學習階段的物品、器材儀器、科技設備及資源。能進行客觀的質性觀察或數值量測並詳實記錄。</p> <p><b>ai-IV-1</b> 動手實作解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。</p> <p>SDGS_8 尊嚴就業與經濟發展</p> <p>SDGS_12 負責任的消費與生產</p>
	語文 (R)	學生整合文字、繪圖等資訊，以科學寫作的方式，紀錄測試的結果，表達自己獲得的知識，以取代傳統的學生實驗紀錄。學生以閱讀理解的策略，理解從網路收集的社會性科學議題相關資訊，運用推理論證、批判思辨能力，進行小組討論。	<p><b>2-IV-5</b> 視不同情境，進行報告、評論、演說及論辯。</p> <p><b>5-IV-4</b> 應用閱讀策略增進學習效能，整合跨領域知識轉化為解決問題的能力。</p> <p><b>5-IV-5</b> 大量閱讀多元文本，理解議題內涵及其與個人生活、社會結構的關聯性。</p> <p><b>6-IV-5</b> 主動創作、自訂題目、闡述見解，並發表自己的作品。</p> <p><b>6-IV-6</b> 運用資訊科技編輯作品，發表個人見解、分享寫作樂趣。</p>

永續發展教育架構下 STREAM 跨領域教育之探究

課程規劃			課程內涵
設計思維 階段	STREAM 跨領域	教學內容簡介	各領域學習重點
測試 TEST	數學 (M)	能將觀察到的實驗結果數據換算成比例，並繪製成直條圖或折線圖。	<p><b>n-IV-4</b> 理解比、比例式、正比、反比和連比的意義和推理，並能運用到日常生活的情境解決問題。</p> <p><b>d-IV-1</b> 理解常用統計圖表，並能運用簡單統計量分析資料的特性及使用統計軟體的資訊表徵，與人溝通。</p>
	藝術 (A)	課程實踐將藝術創作與地方認知產生互動關係，藝術的行動力可作為永續發展轉化的媒介、永續發展的理念則可透過藝術創作與鑑賞的行動得到展現。	<p><b>視 3-IV-1</b> 能透過多元藝文活動的參與，培養對在地藝文環境的關注態度。</p> <p><b>表 3-IV-4</b> 能養成鑑賞表演藝術的習慣，並能適性發展。</p>

# **Research on STREAM Interdisciplinary Education Under the Framework of Education for Sustainable Development**

**Kun Yi Chou\* Shu Ching Yang\*\***

**Yi Fang Luo\*\*\* Jia-Hong Lin\*\*\*\***

STEM education, which initiately focused on a cross-field framework in education integrating science, technology, engineering, and mathematics, has gradually developed into STEAM by incorporating design, aesthetics, and humanities and arts, that later developed into STREAM by accommodating R (Reading and/or wRiting) elements further, highlighting the importance of literacy. From the stage of STEM to STEAM, then to STREAM, it shows that current education has begun to pay more attention to the role of art, humanities, and social sciences in the study of STEM. However, during pursuing economic prosperity, STEM gifted students should also consider their personal social responsibility for sustainable global development. Such an integration of humanities and arts into STEM now is believed to help enhance students' participation, creativity, innovation ability, problem-solving ability, and other cognitive advantages. This may bring new opportunities for STEM, combined with sustainable development education. After reviewing the past literature, the researchers elaborate the transformation of educational concepts and connotations from STEM to STREAM, as well as the notion of "STREAM learning to promote SDGs education." A course with a theme-base to illustrate how STREAM cross-domain education could be realized under the framework of sustainable development education is further recommended, followed by using the design thinking as an example of teaching strategy, with possible prospects proposed for the future.

Keywords: STEM, STEAM, STREAM, Cross-field education, Sustainable Development Goals, Education for Sustainable Development

- \* Kun-Yi Chou, Ph.D. Candidate, Institute of Education, National Sun Yat-sen University
- \*\* Shu-Ching Yang, Professor, Institute of Education, National Sun Yat-sen University
- \*\*\* Yi-Fang Luo, Postdoctoral researcher, Center for Teaching and Learning Development, National Kaohsiung University of Science and Technology
- \*\*\*\* Jia-Hong Lin, Ph.D., Institute of Education, National Sun Yat-sen University

