

STE(A)M 教育中的創客運動：從文獻中學習

Maker movement in STE(A)M education: lesson learned from a literature review

吳聲毅

國立屏東大學科普傳播學系副教授
國立屏東大學科普傳播學系(含數理教育碩士班)

digschool@gmail.com

摘 要

創客運動自從 2006 年第一場 Maker Faire 舉辦以來，陸續影響著各國的教育趨勢，特別是在科學、科技、工程、數學(STEM)領域。目前已有許多研究指出，透過創客的場域與課程，能協助學生或教師整合 STEM 的學習。因此，為了瞭解近幾年 STEM 教育從創客運動中學到甚麼，本研究從 SCOPUS 資料庫中搜尋 2008 年至 2017 年相關文獻進行研究，希望了解目前 STEM 教育中創客運動研究的趨勢(年代、國家、期刊與議題)，以及從這些研究中分析我們可以從文獻中學到甚麼，其面向包含教師教學、學生學習、課程發展與場域建置。

關鍵字：創客運動、創客空間、STEM、STEAM

Abstract

Since the first ever Maker Faire launched in 2006, maker movement has been gradually influencing the educational trend among countries, especially in the areas of STE(A)M (science, technology, engineering arts, and mathematics). So far, some studies have indicated that students or teachers can get assistance through fields and courses of maker in integrating their learning of STE(A)M. In order to find out what STE(A)M education has gained from maker learning in recent years, a research was thus conducted by this study to search for related literatures based on SCOPUS database from 2008 to 2017. We tend to understand the current research trend of maker learning in STE(A)M education (years, countries, journals and issues), and also sum up indications from analyzing those literatures, including aspects of: a) instruction of teachers; b) learning of students; c) curriculum development and d) field construction.

Keywords: Maker movement; Makerspaces; STEM; STEAM

1. 動機與目的

自從 2006 年在美國 Bay Area 辦理第一屆 Maker Faire 以來，創客運動已經在國際上引發了新潮流(Blikstein, 2018; Clapp & Jimenez, 2016)。線上的創客社群、實體的創客空間正在快速成長，其規模與參與度不斷增加 (Dougherty, 2013)。在教育現場，因為小型數位工具的發展快速與取得容易，使得創客運動快速在學校萌芽。然而，工具並不是創客運動的核心所在。Dougherty (2013) 指出，創客的心態應該是一種鼓勵學生相信自己可以學會做任何事情的成長心態，並以「您能用所學的知識做什麼」這個問題來概括它。因此，能讓學生學習他們想製造的東西並自己動手做出來才是創客運動的目的。

學校因應創客運動所推動的創客教育時，通常都需要建置創客空間，提供如 3D 印表機、雷射切割機、CNC 加工機等設備供師生使用(Martin, 2015)，甚至還提供 Arduino 或 Raspberry Pi 電路板等電子材料。除了工具以外，教師會設計課程與教學策略，讓學生進行學習(Blikstein, 2018; Cohen, Jones, Smith, & Calandra, 2017)。這種以創客理念出發的課程，結合動手做與不同領域的學習深受學生喜愛。因此，創客教育已被學校所接受(Bevan, 2017; Hsu, Baldwin, & Ching, 2017)。

此外，1990 年由美國國家科學基金會提出 STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics)一詞，其背景是希望美國教師與學生多學習理工相關科目，以提升國家的競爭力(Blackley & Howell, 2015; Sheffield, Koul, Blackley, & Maynard, 2017)。此外，在整合這些 STEM 科目學習之時，為了培養學生的創造力，並讓學生對於 STEM 的學習更有興趣，也有學者提出除了 STEM 之外，應將藝術加入設計中，形成 STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics)的整合學習(Bequette, & Bequette, 2012)。而在教育政策大力推動 STEM or STEAM Education (STE(A)M 教育)時，創客運動的興起給予 STE(A)M 教育一個很適合的環境。因此，這幾年來創客教育的風潮已經成為學校激勵學生學習 STE(A)M 的一種教學方式(Loertscher, 2015; Holbert, 2016)。

為此，本研究希望透過文獻探討，了解近十年來(從 2008 到 2017)以創客教育為理念整合到 STE(A)M 教育的相關研究趨勢，並從中分析出教師教學、學生學習、課程發展和場域建置的經驗。藉著分析出來的結果，除了給學校與教師在創客教育整合到 STE(A)M 教育中的教學提供建議，也將提供後續研究之建議。本研究的研究目的如下：

1. 分析 STE(A)M 教育中創客教育的趨勢，包含年代、國家、期刊。
2. 分析 STE(A)M 教育中創客教育的研究議題主要為何。
3. 探討 STE(A)M 教育中創客教育，教師教學、學生學習、課程發展和場域建置的經驗與建議。

2. 研究方法與流程

2.1 分析標準

本研究之納入標準包含(a) 文章必須是以發表會付梓中具有同儕審查機制的期刊；(b)文章必須收錄在 SCOPUS 資料庫中;(c)必須在 2008-2017 之間;(d)文章內容必須包含創客運動和 STE(A)M 教育的議題；和(e)內容的參與者須為學生。

2.2 搜尋策略

本研究從 SCOPUS 資料庫中搜尋相關文獻進行研究。SCOPUS (www.scopus.com)為全球最大的索引摘要資料庫，資料來自全球 5,000 個出版公司，收錄 22,000 種同儕審查期刊。

為了瞭解 maker 於 STE(A)M 教育的相關研究，我們採用 makerspace、"maker movement"和 stem 與 steam 兩組關鍵字進行交叉搜尋，不使用 maker 的關鍵字是因為 maker 這字範圍太大，所搜尋出來的研究大多與 STE(A)M 教育的相關研究沒有關係。確定關鍵字以後，我們從 SCOPUS 資料庫以(a) makerspace and stem, (b) makerspace and steam, (c) "maker movement" and stem, or (d)"maker movement" and steam 四組關鍵字搜尋 paper topics, abstracts, and keywords 欄位，年代為 2008 至 2017 的 journals 類型文章，文獻類型包含 article and article in press。

2.3 論文選擇

透過上述的搜尋條件，總共找到 17 篇相關的論文。接下來經由初步閱讀以後，找出 2 篇不符合的論文，最後有 15 篇論文進行接下來的分析。

2.4 分析架構與編碼

分析與編碼的基本單位是每篇文章。由於初步的檢視這 15 篇文章本質上是

描述性的，沒有報告統計結果，所以無法進行統合分析(meta-analysis)。因此本研究之文獻探討採用內容分析(hsieh & shannon 2005)。依據研究目的，由研究者設定出刊年代、作者國家、期刊名稱、研究議題、教師教學、學生學習、課程發展和場域建置等 8 個內容進行編碼。編碼時由研究者與研究助理分別編碼，編碼後由兩者討論出共識決定編碼內容。

3. 結果與習得

依據研究目的設定搜尋策略與編碼後，以下將分別呈現分析的結果並進行討論。

3.1 研究發展現況

經分析此 15 篇論文的資料後，在研究發展現況部分，相關文章從 2013 年開始公開，並在 2017 年達到高點。從此結果顯示(表 1)，雖然 STE(A)M 教育或是創客運動的發展已有 10 年以上的歷史，相關論文不少，但近幾年才有將創客教育整合到 STE(A)M 教育的相關研究。換句話說，將創客教育整合到 STE(A)M 教育的相關研究還有值得探索的空間。

表 1 相關研究發表的年代統計

年份	2013	2014	2015	2016	2017
數量	1	0	3	2	9

註：本研究以搜尋策略進行搜尋時，有一篇 2017 的付梓中，撰寫論文時已發表於 2018 年，依據搜尋策略，將此篇納入 2017 年。

關於所刊登的期刊部分，包含 Australian Journal of Teacher Education、Educational Media International、International Journal of Child-Computer Interaction、Journal of Extension、Journal of Pre-College Engineering Education Research、Journal of Science Education and Technology、Library Management、Phi Delta Kappan、Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts、Science Education、Studies in Science Education、Teachers College Record、TechTrends 和 Thinking

Skills and Creativity。從此結果看來，所刊登的期刊種類眾多，包含了教師教育、教學媒體、人機互動、工程教育、科學教育、圖書館、創造力等。顯示近幾年來將創客教育整合到 STE(A)M 教育的相關研究在不同領域都被探討。換句話說，將創客教育整合到 STE(A)M 教育的議題觸及到教育的各個方面，這意味著這不是單一領域或是兩個領域的議題，其所相關的領域觸及到教育的各個方面。

最後在第一作者的國家部分，在 15 篇中，有 12 篇的第一作者國家為美國，2 篇澳洲學者與一篇西班牙的學者。這結果顯示目前還多是以美國的學者為主，可能的原因是不管是創客運動或 STE(A)M 教育都是從美國開始興起。從上面的研究發展現況可知，將創客整合到 STE(A)M 教育的相關研究尚在起步階段。雖然如此，從成長的趨勢與擴及的教育領域，相信將會有愈來愈多的研究者進行不同領域的相關研究。

3.2 研究議題

為了瞭解將創客教育整合到 STE(A)M 教育的相關研究議題，我們從研究目的進行分析，整理出其所涵蓋的研究目的，包含創客運動對 STE(A)M 的影響、創客運動如何引導教育/學校創新、創客空間文化與價值、創客運動與創造力、課程如何設計與圖書館中的創客空間等(如表 2)。

表 2 研究議題分析

創客運動如何引導教育/學校創新	Peppler & Bender, 2013; Martin, 2015; Bevan, 2017
課程如何設計	Brown, 2015; Flores, 2018
創客運動對 STEAM 的影響	Bevan, Gutwill, Petrich, & Wilkinson, 2015; Clapp & Jimenez, 2016; Letnikova & Xu, 2017; Blackley, Sheffield, Maynard, Koul, & Walker, 2017; Sheffield, Koul, Blackley, & Maynard, 2017; Litts, Kafai, Lui, Walker, & Widman, 2017; Bevan, 2017
創客空間文化與價值	Holbert, 2016; Barton, Tan, & Greenberg, 2016
圖書館中的創客空間	Letnikova & Xu, 2017; Hendrix & Williamson, 2017

創客運動與創造力	Sheffield, Koul, Blackley, & Maynard, 2017; Saorín, Melian-Diaz, Bonnet, Carrera, Meier, & De La Torre-Cantero, 2017
----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

關於創客運動如何引導教育/學校創新部分，相關研究探討如何從組織與教師著手(Peppler & Bender, 2013; Martin, 2015)，為 K-12 的教育提供充滿有趣與探究的跨科整合活動(Martin, 2015; Bevan, 2017)。在課程如何設計部分，研究的重心在於確認創客整合到 STE(A)M 教育時，課程如何安排與設計(Brown, 2015; Flores, 2018)。而這些課程在進行時，如何增加教師教學的信心(Brown, 2015)。在創客運動對 STE(A)M 教育的影響部分是研究的重點，也是本研究進行文獻分析的目的。在這探究的過程中，大多研究皆採用現場觀察與訪談的方式了解學習的面向與自我反思的情形(Bevan, 2017; Bevan et al., 2015; Blackley et al., 2017; Litts et al., 2017)、藝術如何透過創客的理念整合到 STEM 中(Clapp & Jimenez, 2016)、如何提升學生的創造力(Sheffield et al., 2017)以及在圖書館的環境中如何透過相關設備引發學習興趣(Letnikova & Xu, 2017; Hendrix & Williamson, 2017)等。關於創客空間文化與價值部分，兩篇研究(Barton et al., 2016; Holbert, 2016)皆在探討兒童與青少年在創客空間中，他們在這個社群中，如何找到自我價值。此外，也探討在這社群中，大家對於女孩在創客空間中角色的認同問題(Holbert, 2016)。關於圖書館中的創客空間部分，Letnikova & Xu (2017) 和 Hendrix & Williamson (2017) 研究主要在於探討當圖書館建立創客空間，相關的管理制度應如何運作。最後，創客運動與創造力的關係亦是許多學者所關注的。兩篇研究皆在關注將創客教育整合到 STE(A)M 教育時，如何提升學生的想像力與創造力(Sheffield et al., 2017; Saorín et al., 2017)。

從上述研究議題的趨勢可以看出，目前創客教育整合到 STE(A)M 教育大多著重於學校內的教學與學習議題，特別關注於每位學生在進行學習與動手做的過程，自我學習歷程的改變與學得哪些內容。此外，空間的經營與組織的創新亦是相關文獻探討的議題。從此結果看來，能接受創新學習環境的組織才能打造創客空間，進而可以提供教師創新教學的環境與氣氛。最後，學生有場域動手做並有老師的引導，方能達成將創客教育整合到 STE(A)M 教育的目的。這是一連串的過程是不可或缺任意條件的，因此，接下來我們將從文獻探討探討有何研究成果是我們可以學習的。

3.3 學到甚麼

3.3.1 教師教學

創客教育不僅是涵蓋科學或是 STE(A)M 教育，更是一個跨學科的學習 (Bevan, 2017)。從創客教育的精神出發，他涵蓋了建構主義理論 (constructionism)、設計為基礎的學習 (Design-based learning) 與 Dewey 的教育理念等。學生透過學習並不斷的討論他們的想法，並透過假設與驗證去進行設計與修改 (Bevan, 2017)。而創客教育之所以可以讓學生進深入進行探究，有一部分原因是因為這種學習活動可以增進學生之間以及學生與老師之間的對等關係 (DiGiacomo & Gutiérrez, 2016)。從文獻進行內容分析，教師在進行教學活動時，需要確認每一個教學活動重點是甚麼 (Brown, 2015)，在教學中，就需要依據教學重點分析教學流程。此外，應給予不同性別的學童一樣的學習機會 (Barton et al., 2016; Holbert, 2016)，並且提供不斷嘗試錯誤與修改的機會。教師應促進學童在做的過程中社交的互動與鷹架，要避免學童沉迷於工具而非問題解決的歷程 (Bevan, 2017)。

3.3.2 學生學習

在學生學習部分，創客教育整合到 STE(A)M 教育的課程除了可以讓學童學習到不同領域的學習內容外 (Litts et al., 2017)，也幫助學生在教育環境中培養創造力和創新精神 (Peppler & Bender, 2013; Saorín et al., 2017)，提升學生的機智、團隊合作和適應性專業知識的形式 (Bevan, 2017)。透過創客相關工具 (例 3D 印表機) 結合 STE(A)M 的課程內容 (如化學、生物)，實際產出相關作品，可以增加自信心與學習興趣 (Letnikova & Xu, 2017)。因此，從文獻探討可知，創客教育整合到 STE(A)M 教育的課程對於學生的學習獲得是很有幫助的

此外，女孩是可以進入創客領域 (Brown, 2015)。Jaber 和 Hammer (2015) 認為，情感動力在推動科學參與方面發揮著核心作用。最後，我們在文獻中也發現有學者提出，與不同領域的人一起學習對於完成任務是有幫助的 (Blackley et al., 2017)。因此鼓勵學生在進行活動時，除了跨領域的學習之外，也鼓勵跨域的合作學習。

3.3.3 課程發展

學生對於 STE(A)M 教育的學習與學習動機的提升不僅僅來自於創客空間，而更需要課程的安排。許多學者都認為課程的設計必須鼓勵修補 (tinkering)、玩

耍(play)和探索(exploration) (Peppler & Bender, 2013). 那到底課程該如何安排呢? 透過文獻探討, 我們從論文中呈現課程流程與課程內容的設計建議。

在課程流程部分, 以 3D 列印為例, 老師可以依循印刷試驗、設計實驗和工程測試的流程進行設計(Brown, 2015)。印刷試驗(print trials)是開始 3D 列印的第一步, 也是嘗試探索與製造的開始。學生可以先透過 3D 列印的設計與印出增進自信心。接下來, 創意活動從設計實驗開始。老師可以指導學生透過 CAD 軟體進行結構與內容的建構。草稿和修訂是設計實驗過程的重要部分, 這可能需要很多時間, 但卻能提升學生的創造力和技術能力。最後, 一旦有足夠的設計實驗經驗, 學生就可以運用自己的能力進行工程測試。透過工程測試究開始讓學習的過程導向問題解決的過程。

而在課程內容的設計建議部分, Bevan (2017)歸納出三種可行的辦法。第一種是組合包, 目前已有許多現成的套件透過一步步的步驟即可完成的組合包, 像 Lego kits 或 Robotics kits。這種組合包在設計上可以讓教師與學生快速上手, 但在學習知識與應用知識部分較為不足(Resnick & Rosenbaum, 2013)。因此, 教師在引導時需要在組合包外提醒學生可能的 STE(A)M 內涵。第二種是創意建設, 創意建設(creative construction)是指在現有的組裝或是情境下, 提供學生一個目標或方向, 讓學生去思考與嘗試, 並提出可行與不可行的原因, 藉以引導學生發現問題、提出解決方案、進行驗證。第三種是修補, 修補程序強調創造性和即時解決問題的過程(Berland, 2016; Wilkinson & Petrich, 2014)。從課程設計的觀點來看, 它是發明、測試和迭代問題解決的過程, 而不是正在開發的產品(Quinn & Bell, 2013)。

此外, 也有學者提出創客教育的環境中, 將藝術融入到 STEM 教育中。Bequette & Bequette (2012)指出, 教師在設計課程時, 需要明確的將藝術融入到課程中, 形成課程的一環。最後在課程設計時, 還有幾點需要注意。首先, 一下子製作太過複雜的成品有可能讓學生感到挫折感(Blackley et al., 2017), 教師應依據學生的程度規劃適合的課程內容。其次, 教師整合不同領域的學習內容, 並從學生的生活情境為出發點設計內容。

3.3.4 場域建置

最後, 在場域建置部分, 在社區或學校建構創客空間, 需考量包含可以快速

製作原型與低成本的數位工具，可以提供各種資源的社群與造物者的心態，包括社群中普遍存在的審美原則和思維習慣等三個因素(Brown, 2015)。而在創客空間中必須有足夠種類的材料，才可以隨著學生的需求與目的提供即時的使用，以激發想法與解決方案(Sheridan & Konopasky, 2016; Bevan, 2017)。在學校中，Hendrix & Williamson (2017)和 Letnikova & Xu (2017)認為圖書館建置創客空間，可以提升使用者對於圖書館的好感度。然而，圖書館必須要有一個專屬空間之外，服務人員的專業技能與簡化借用流程也很重要。

此外，創客空間應是一個開放並容易進入的空間，並且有著創客精神的概念在裡面(Brown, 2015)。學生在創客空間中，除了探究與製作相關內容外，更是一個交朋友的好地方。透過這種開放、歡樂且樂於合作與分享的環境，塑造出 STE(A)M 教育中跨領域整合的情感與文化(Barton et al., 2016)。

從上述關於教師教學、學生學習、課程發展與場域建置的文獻探討可知，目前創客教育整合到 STE(A)M 教育的環境才剛開始，教育行政機構需要去建構沒有城鄉差距與性別差異的創客教育環境，學校需要去設立創客空間與促發教育人員具備創客的概念，教師須學習如何設計課程與引導學生進行問題的探究與學習內容的整合，讓學生可以從過程中學習多元的能力。

研究限制

在研究限制部分，雖然本研究採用全球最大的索引摘要資料庫進行搜尋，然而確實會有一些期刊未納入到這資料庫，因此所分析的文章可能有缺少。此外，雖然創客運動或是 STE(A)M 的相關研究數量很多，但就同時探討兩者的研究經由搜尋結果筆數不多，雖然這種整合性的研究議題可能剛興起，但因為篇數不多，在分析上可能會有偏誤。最後，因為所分析的文章皆沒有採用量化研究分析，因此本研究只能採用內容分析進行探究。

結論與未來研究建議

為了瞭解創客教育整合到 STE(A)M 教育的研究趨勢，並從研究中學到教師教學、學生學習、課程發展與場域建置的建議，本研究透過文獻探討進行分析與探討。透過設定的條件進行搜尋，總共有 15 篇文章符合分析的條件。

從研究的趨勢來看，目前將創客教育整合到 STE(A)M 教育的研究並不算太

多，且多沒有透過量化分析進行研究。然而，其所接受的期刊與探討的議題很廣大，顯示將創客教育整合到 STE(A)M 教育的研究還有很大的探討空間。

將創客教育整合到 STE(A)M 教育中，不僅是一個跨學科的學習，學校與教師更應該建立一種跨領域、跨文化與尊重不同性別的學習環境，在創客空間的設置上，也應考量使用之方便性、材料的方便取得，並且塑造具有創客理念的學習氣氛。我們可以從文獻中發現這種學習環境的好處，可以增進學生對於創造力、創新精神、自信心、機智、團隊合作和適應性專業知識形式的幫助，亦可以增進學習動機與學習內容的理解。在課程發展時，目前沒有一套課程標準或模式可以供大家參考，然而在課程的設計上須同時考慮到學生的學習興趣、是否符合探究精神與學習知識的獲得。此外，學生在進入創客空間時，常常會受到這些數位工具的吸引，教師應該提醒學生這些機器只是工具，學生應該透過這些工具去解決複雜的問題(Blikstein, 2013)。

在分析完創客教育整合到 STE(A)M 教育的研究趨勢與教師教學、學生學習、課程發展與場域建置的建議後，本研究提出幾點後續研究之建議。首先，就本研究分析的這些文章來看，其研究方法多屬於場域的觀察、作品的評分與參與者的訪談。日後研究者可以多採用量化研究進行探討。其次，將創客教育整合到 STE(A)M 教育的課程應如何設計，需要哪些因素或流程，教師該如何引導，至今沒有一致的看法。日後研究者可就教師教學策略與課程設計加以探討。第三，從研究分析得知，塑造一個具有創客精神的學習環境是很重要的。學習氣氛的營造對於教師教學與學生學習都有幫助。然而，目前卻尚未有研究探討如何塑造一個具有創客精神的學習環境。最後，這幾年學校在推動將創客教育整合到 STE(A)M 教育時，偶會有一些電子裝置與機器人出現在 STE(A)M 的場域中。Wing (2006) 提出運算思維(computational thinking)的概念後，陸續也有一些學者建議將運算思維融入到 STE(A)M 教育中(例如 Jona, Wilensky, Trouille, Horn, Orton, Weintrop, & Beheshti, 2014; Seoane-Pardo, 2016; Weintrop, Beheshti, Horn, Orton, Trouille, Jona, & Wilensky, 2014)。因此，後續研究者可針對此領域加以探究。

參考文獻

- Barton, A. C., Tan, E., & Greenberg, D. (2016). The makerspace movement: Sites of possibilities for equitable opportunities to engage underrepresented youth in STEM. *Teachers College Record*, 119(6), 11-44.
- Bequette, J. W., & Bequette, M. B. (2012). A place for art and design education in the STEM conversation. *Art education*, 65(2), 40-47.
- Berland, M. (2016). Making, tinkering, and computational literacy. In K. Peppler, E. R. Halverson, & Y. B. Kafai (Eds.), *Makeology: Makerspaces as learning environments* (Vol. 2, pp. 196–205). New York, NY: Routledge.
- Bevan, B. (2017). The promise and the promises of Making in science education. *Studies in Science Education*, 53(1), 75-103.
- Bevan, B., Gutwill, J. P., Petrich, M., & Wilkinson, K. (2015). Learning through stem-rich tinkering: Findings from a jointly negotiated research project taken up in practice. *Science Education*, 99(1), 98-120.
- Blackley, S., & Howell, J. (2015). A STEM narrative: 15 years in the making. *Australian Journal of Teacher Education*, 40(7). doi:10.14221/ajte.2015v40n7.8
- Blackley, S., Sheffield, R., Maynard, N., Koul, R., & Walker, R. (2017). Makerspace and reflective practice: Advancing pre-service teachers in STEM education. *Australian Journal of Teacher Education*, 42(3), 22-37.
- Blikstein, P. (2013). Digital fabrication and ‘making’ in education: the democratization of invention. *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*, 4.
- Blikstein, P. (2018). Maker Movement in Education: History and Prospects. In *Handbook of Technology Education* (pp. 419-437). Springer, Cham.
- Brown, A. (2015). 3D printing in instructional settings: Identifying a curricular hierarchy of activities. *TechTrends*, 59(5), 16-24.
- Clapp, E. P., & Jimenez, R. L. (2016). Implementing STEAM in maker-centered learning. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(4), 481.

- Cohen, J., Jones, W. M., Smith, S., & Calandra, B. (2017). Makification: Towards a framework for leveraging the maker movement in formal education. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 26(3), 217-229.
- DiGiacomo, D. K., & Gutiérrez, K. D. (2016). Relational equity as a design tool within making and tinkering activities. *Mind, Culture, and Activity*, 23, 141–153. doi:10.1080/10749039.2015.1058398
- Dougherty, D. (2013). The maker mindset. In Honey, M., & Kanter, D. E. (Eds.), *Design. Make. Play. Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 7–16). New York, NY: Routledge.
- Flores, C. (2018). Problem-based science, a constructionist approach to science literacy in middle school. *International journal of child-computer interaction*, 16, 25-30.
- Hendrix, B., & Williamson, E. (2017). Tinkering with Technology: A Library Workshop to Support 4-H Youth Development. *Journal of Extension*, 55(6), n6.
- Holbert, N. (2016). Leveraging cultural values and “ways of knowing” to increase diversity in maker activities. *International journal of child-computer interaction*, 9, 33-39.
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative health research*, 15(9), 1277-1288.
- Hsu, Y. C., Baldwin, S., & Ching, Y. H. (2017). Learning through making and maker education. *TechTrends*, 61(6), 589-594.
- Jaber, L. Z., & Hammer D. (2015). Engaging in science: A feeling for the discipline. *Journal of Learning Sciences*, 25, 156–202 doi:10.1080/10508406.2015.1088441
- Letnikova, G., & Xu, N. (2017). Academic library innovation through 3D printing services. *Library Management*, 38(4/5), 208-218.

- Litts, B. K., Kafai, Y. B., Lui, D. A., Walker, J. T., & Widman, S. A. (2017). Stitching codeable circuits: High school students' learning about circuitry and coding with electronic textiles. *Journal of Science Education and Technology*, 26(5), 494-507.
- Loertscher, D. V. (2015). Worlds of Making: Best Practices for Establishing a Makerspace for Your School. *Teacher Librarian*, 43(2), 40.
- Martin, L. (2015). The promise of the maker movement for education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 5(1), 4.
- Peppler, K., & Bender, S. (2013). Maker movement spreads innovation one project at a time. *Phi Delta Kappan*, 95(3), 22-27.
- Quinn, H., & Bell, P. (2013). How designing, making, and playing relate to the learning goals of K-12 science education. In Honey, M., & Kanter, D. (Eds.), *Design. Make. Play: Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 17–33). New York, NY: Routledge.
- Resnick, M., & Rosenbaum, E. (2013). Designing for tinkerability. In Honey, M., & Kanter, D. (Eds.), *Design. Make. Play: Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 163–181). New York, NY: Routledge.
- Saorín, J. L., Melian-Díaz, D., Bonnet, A., Carrera, C. C., Meier, C., & De La Torre-Cantero, J. (2017). Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 188-198.
- Seoane-Pardo, A. M. (2016, November). Computational thinking beyond STEM: an introduction to moral machines and programming decision making in ethics classroom. In Proceedings of *the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 37-44). ACM.
- Sheffield, R., Koul, R., Blackley, S., & Maynard, N. (2017). Makerspace in STEM for girls: a physical space to develop twenty-first-century skills. *Educational Media International*, 54(2), 148-164.

- Sheridan, K., & Konopasky, A. (2016). Designing for resourcefulness in a community-based Makerspace. In K. Peppler, E. R. Halverson, & Y. B. Kafai (Eds.), *Makeology: Makerspaces as learning environments* (Vol. 1, pp. 30–46). New York, NY: Routledge.
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M. S., Orton, K., Trouille, L., Jona, K., & Wilensky, U. (2014, July). Interactive assessment tools for computational thinking in High School STEM classrooms. In *International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment* (pp. 22-25). Springer, Cham.
- Wilkinson, K., & Petrich, M. (2014). *The art of tinkering: Meet 150+ makers working at the intersection of art, science, and technology*. San Francisco, CA: Weldon Owen.