

應用悅趣化數位教材於國小學童平面幾何學習成效之研究

Using a Game-Based Learning Courseware to Study the Learning Effects on Plane Geometry of Elementary Students

范丙林¹、王學武^{1*}、李家瑩²、巫家瑜¹

¹ Department of Digital Technology Design, National Taipei University of Education

² Department of Communication Design, Shih Chien University

*hwwang@tea.ntue.edu.tw

【摘要】 本研究目的在設計與開發一套國小平面幾何的悅趣化數位學習教材「米德玩形狀」，教材內容的編排是以 van Hiele 幾何思考層次理論與九年一貫課綱的平面幾何單元為基礎。共設計了七個遊戲關卡與一個測驗關卡，受測對象為國小一年級的學童，有效問卷共 24 份。實驗結果顯示學童在四個思考層次的整體成就是進步且達顯著差異($P=.006$)，表示本教材對於學童學習平面幾何是有正面影響的。就不同思考層次的表現來看，學童在層次三的描述/分析能力($P=0.12$)以及層次四的抽象/關係能力($P=0.15$)的分數也都達顯著差異，這表示本教材確實能有效的提升學童在較高層次的幾何思考能力。

【關鍵詞】 平面幾何；van Hiele 幾何思考層次；悅趣化學習

Abstract: *The purpose of this study is to design and develop a game-based courseware called "ME Plays Shapes" for elementary students on plane geometry learning. The contents of this courseware are based on the van Hiele levels of geometric thought and Grade 1-9 Curriculum Guidelines of plane geometry. Seven different game stages and one challenge stage are designed in the courseware. The subjects of this study are first-grade students. The experimental results show that this courseware promotes students' score and produces significant learning effects on the whole thinking level ($P=.006$). And there are significant differences on level3 description/analysis($P=.12$) and level4($P=.15$) abstraction/relation. Accordingly, this courseware really can effectively enhance students' ability on geometric thinking.*

Keywords: plane geometry, van Hiele Geometric Thinking Levels, digital game-based learning

1. 前言

智慧型手機與以觸控為基礎的平板電腦已經成為國小學童所熟習互動裝置，透過這些載體進行學習當然也成為日常生活的一部分。然而這些載體上所提供數位教材若缺乏了足夠的回饋、競爭與挑戰等遊戲因子是無法對學童產生持續的吸引力，自然也會影響到後續的學習動機(Chen, Yang, Shen, & Jeng, 2007)。如何有效的將遊戲因子有效而且巧妙的融入數位教材之中以引起學童的學習動機與意願，一直是教師所努力的目標。已有許多研究者探討悅趣化教材應用於國小的輔助教學中，研究的成果顯示對於學童在數學概念的學習，如：平面幾何(Chang, Sung, & Lin, 2007)、體積的概念(賴蕙慈, 2009)與空間概念(王學武、黃榆婷、曾舒珮和王嫻茵, 2009)等都能提升學童的學習動機與成效。

平面幾何概念是數學科目中最基礎也是最重要的概念，而 van Hiele (1986) 幾何思考層次理論也成為許多國家在編輯國小幾何單元的核心基礎，然而實際將 van Hiele 幾何思考理論應用在數位教材的例子卻不多，更遑論能針對學習對象在其適合的幾何思考層次上進行內容的整體設計，並加入能引起學習動機的遊戲因子於教材的設計之中。因此本研究的目的是針對

六到八歲兒童，設計並發展一套以 van Hiele 幾何思考層次理論為基礎的悅趣化學習數位教材，取名為「米德玩形狀」，同時探討低年級學童在使用本數位教材之後，在平面幾何的學習成效以及對於數學學習態度的影響。

2. 文獻探討

本研究設計之教材「米德玩形狀」是以 van Hiele 幾何思考層次理論為基礎，並將能引起學習動機的遊戲因子融入教材的設計之中，以下將針對 van Hiele 幾何思考層次理論與悅趣化學習兩個方向進行文獻的探討與回顧。

2.1. van Hiele 幾何思考層次理論與相關研究

van Hiele (1986) 認為兒童的幾何思考分為五個層次，依序為視覺層次、描述層次、理論層次、形式邏輯層次與邏輯法則本質層次，而且經由教師的適當引導，學童可逐漸提升到較高的層次。相關的研究大多在探討國小學童在五層次思考階段的分布情形(吳德邦、馬秀蘭、李懿芳, 2007)，或是應用數位教材來提升學童的幾何思考層次，如 Logo 程式輔助環境 (李奇荃, 2010)、Math Teach Tool III(陳淑貞, 2013) 或 GeoCAL(Chang, Sung, & Lin, 2007)。Battista (2002) 針對國小學童的學習狀況對 van Hiele 的思考層次進行修正，修正後的前四個層次分別為：層次一識別 (recognition)，學童在此階段無法確認幾何圖形為何，教師須教導學童認識簡單的形狀和形狀的術語。層次二視覺聯想 (visual association)，教學上透過生活物品的聯想方式來引導學童，以建立其視覺判斷與聯想能力，而非進行概念分析。層次三描述/分析 (description/analysis)，學童必須能識別形狀如角和邊的屬性，教師須用概念來描述不同形狀的空間關係。層次四抽象/關係 (abstraction/ relation)，培養學童能針對幾何的進階分類以更符合邏輯的方式進行思考。GeoCAL(Chang, Sung, & Lin, 2007) 就是以這四個層次為基礎所設計，並為每一個層次設計了兩個學習活動，其所採用的這四個思考層次架構提供了一個良好的基礎，也是本研究在發展教材時的參考依據。

2.2. 悅趣化學習與相關研究

Kiili 與 Lainema (2008) 基於體驗式學習和建構主義提出雙環式的體驗式遊戲模型 (Experiential Gaming Model) 如圖 1，其目標是透過遊戲描述學習過程，支持教育遊戲的發展並在抽象層級描述遊戲設計的過程，此模型同時具有給設計者參考的設計循環(外環)，及描述學習者學習歷程的遊戲循環(內環)。針對其遊戲循環進行探討，描述學習者的遊戲經驗，玩家受到挑戰時，為了突破困難，會依照之前的經驗解決問題，因此遊戲必須提供清楚明確的目標與回饋給玩家，讓玩家進入心流經驗。

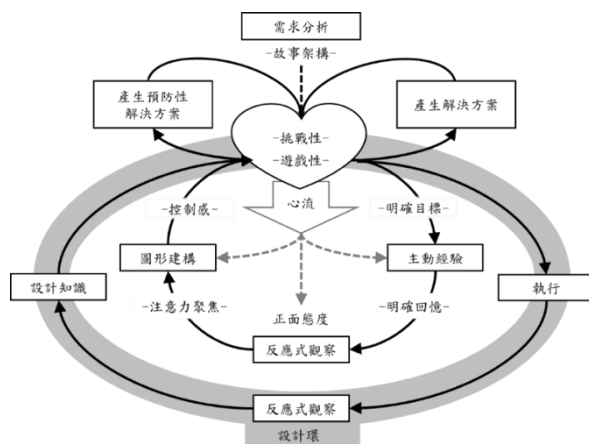


圖 1 體驗式的遊戲模型 (Experiential Gaming Model)

Garris, Ahlers, 與 Driskell (2002) 認為將教學內容和遊戲特性相結合，就能透過遊戲的特質吸引使用者在遊戲過程中自發且反覆學習，而數位遊戲能引起學童內在動機要素包含屬於個體類的挑戰、幻想、好奇心與控制以及與人互動的合作、競爭與認可(Malone & Lepper, 1987)。陳孟君(2009)將挑戰、幻想、好奇心與成就感等遊戲因子融入低年級二進位加減法的數位教材中發現，實驗組在數學成功與數學探究分量上達顯著水準，而沒有融入這些因子的對照組則在答題時出現隨意猜測的情形，並沒有認真的學習，Morán, Rubio, Gallego, Suárez 和 Martín (2008) 的研究也有發現相同的情形。

3. 研究方法

研究方法本研究是以 ADDIE 教學設計模式來開發「米德玩形狀」的教材開發，在學習內容分析上是參考九年一貫學習綱要、現有市售關於平面幾何學習的 APP 教材以及現行六個國小教材版本在低年級平面幾何的課程內容。教材內容與遊戲關卡的設計是以 Battista (2002) 修正 van Hiele 的前四個思考層次為基礎，但排除較難在平板電腦上進行互動與操作的學習內容，本教材的第一版本規劃了七個學習關卡與一個綜合的挑戰關卡，關卡層級依照 van Hiele 幾何思考層次安排，關卡的情境設計則是參考體驗式遊戲模型為每一個遊戲關卡創造學習的情境與目標，以「打怪獸」關卡為例，為了使關卡更有挑戰性與遊戲性，因此將關卡情境設定在被污染的星球上，並給學童「明確的目標」，讓學童以手繪的方式消除怪獸身上的咒文拯救怪物，當消除成功後會給予學童正面的態度、正面的回饋，引導學童更專注在關卡目標學習上，慢慢的建立對於形狀的認知與概念，增加學童對於遊戲關卡的控制感，領導學童進入心流狀態。每個關卡都依照此流程進行設計與開發，各關所安排的故事情境、遊戲目標、對應的學習內容與幾何層次的詳細說明於表 1，而為了讓本教材的提示回饋更加貼近 6 到 8 歲學童的操作習慣，因此進行了使用性測試與學習動機的量測，並依照此次的測試進行修改，製作了第二版的教材。

表 1 米德玩形狀各關的故事情境、操作方式與學習內容的說明

關卡	故事情境	遊戲目標	學習內容與幾何層次
打怪獸	在被污染的星球上，有一群遭受污染的怪獸，身上出現了被詛咒的紋路。	以手繪的方式，在螢幕上畫出怪獸身上出現的形狀，以消除怪獸身上的污染物。	學習各種形狀的圖形描繪，增加層次一識別的能力。
賽跑	賽跑比賽開始了，哪一位跑者可以藉由不同的補給品快速地達到終點。	在跑到終點線前，努力讓賽跑者得到他想要的補給品形狀，幫助他快速到達終點。	藉由選擇形狀，增加層次一的識別能力。 層次四的關卡中，形狀將會旋轉變色，學童只需選出對應的形狀。
抽抽樂	一年一度的大胃王比賽開始了，這次參賽者必須吃掉冰箱裡的食物。	幫助參賽者，根據題目版上的形狀，拖曳符合外型的食物給參賽者。	用生活中的物品作為題目，讓學童學習層次二的視覺聯想。
太空防衛站	隕石出現了，人類派出了火箭保護地球。	選擇與隕石相同形狀的子彈，擊落隕石保護地球。	透過投影與影子的機制，學習層次二體到面的概念。
火柴棒	火材棒們離開自己的崗位，跑出去遊玩了，形狀	幫助形狀找到屬於他們長度的火材棒。	藉由關卡了解形狀的邊長，增加層次三形狀描述與分析能

關卡	故事情境	遊戲目標	學習內容與幾何層次
	因找不到火材棒而苦惱著。		力。層次四關卡中，題目會旋轉，藉此學習形狀的關係。
造型組合	米德不小心將拼圖用亂了，很煩惱不知道該如何用回原狀。	幫助米德將拼圖擺放回去。	利用組合圖形認識形狀的結構、組合，藉此增加層次三的描述與分析能力。
剪紙拼圖	巫婆魔法將動植物的形狀變不見了，米德找到幾張可以切割的紙張，但是不知道該如何切割。	幫助米德切割出動物與植物所需要的形狀。	透過切割學習形狀的分割與組成，增加層次三的描述與分析能力。層次四關卡中會將形狀旋轉，訓練學童的形狀的關係。
冰塊地下城	愣愣誤闖了冰塊地下城，找不到回家的路。	幫助愣愣蒐集路上的物品進入關卡，克服關卡的挑戰離開地下城。	將關卡融入，提供層次一到層次四的綜合練習。

在使用性測試與學習動機的實驗教學過程中，會先為學童簡短的介紹「米德玩形狀」的內容與流程，並引導學童依循著學習理論進行操作，每個測驗關卡中都提供了動態的教學提示，而為了瞭解所提供的教學提示是否能清楚地傳達給學童，再經過了一次內容介紹後，就讓學童自行依照著提示進行操作，在學童提出疑問後再進行協助，時間結束後同時觀察與詢問學童在哪些關卡遇到困難。經過觀察與訪談，發現到各關卡中需要加強與修改的項目，本研究針對此次測驗所遇到的問題進行修正及檢討，進而製作了教材的第二版，第二版教材修改的重點可分三大類，關卡操作與提示上的修正、調整關卡回饋與激勵以及概念描述的增加。

3.1. 關卡操作與提示上的修正

此次修正的重點放在降低關卡操作的難度與提供適當的提示，如打怪獸關卡中，原始設計學童必須一筆畫出怪獸身上的形狀，但這部分對學童來說是困難的，容易有挫折感，因此修正成可以分段繪製形狀，只要能連出指定形狀即可。其餘關卡所遇到的問題與修改方式如表 2 所示，藉由此次測驗修正，讓學童更專注於教材的學習上，各關修正關卡頁面如圖 2 所示。

表 2 關卡發現的問題與修改方式

關卡	問題	修正方式
打怪獸	學童較難一次就畫出完整形狀，容易在未畫完時就放開手指。	提供學童分段繪製形狀，若畫錯也可選擇擦掉形狀重畫一次。
賽跑	碰到炸彈時，學童不易發現對話框轉換題目。	碰到炸彈時，讓角色短暫停，並將對話框放大，同時顯示題目的變化過程。
抽抽樂	學童進入關卡時不知道該協助哪一隻角色。	在學童必須協助的角色身上打上聚光燈，讓學童注意到必須協助角色的位置。
太空防衛站	題目與影子重複不易看出如何操作。雷達中的形狀無法與題目做連結。	將題目與操作影子分開，讓學童更清楚操作的變化。開始操作前，讓掃描器中的形狀與題目一同閃爍，暗示學童兩個形狀是有關聯的。



圖 2 修正關卡畫面

3.2. 收集回饋與激勵

本教材設計了收集系統「音樂盒」，音樂盒中有各關卡空白的拼圖，學童必須在各關卡中收集到完整的 20 片拼圖後，才可完成拼圖，完成拼圖後可以解開該關的音樂盒，聆聽音樂盒中的美妙音樂，藉此激勵學童反覆操作關卡，以達到重複練習平面幾何的概念。但在此次測試時發現學童對於部分關卡的重複操作意願並不高，主要是沒有注意過關後有收集到拼圖以及拼圖與音樂盒間是存在關聯。因此重新設計各關完成後的效果，當學童在完成關卡獲得拼圖後，回到關卡選單時，會明顯看到拼圖會雀躍的跳動後飛往音樂盒，指引學童點擊音樂盒，促使學童收集各關的拼圖。



圖 3 音樂盒效果、拼圖頁面以及音樂盒頁面

為了引起學童的學習動機，本教材依照 Malone & Lepper (1987) 所提出的挑戰與認可，特別重新設計了成就頁面，此頁面以圖示的方式取代了排行榜，學童在各層次的關卡中表現的越出色，對應的層次就會越豐富而且美麗，月亮將會越閃亮如圖 3(a) 所示，而當學童互相分享自己的成就時會發現，有些孩童的圖樣較簡單，月亮也較小如圖 3(b) 所示，此學童發現同儕們圖樣較豐富時，則會激起孩童的競爭與好勝心，促使學童經由不斷練習，提升自己的成績來豐富成就頁面的顯示，進而達到良性競爭與互相鼓勵的效果。

3.3. 增加形狀構成要素的說明

就幾何思考層次三與層次四來說，必須加強學生對於形狀構成要素的記憶與理解，因此在第二版中的火柴棒關卡中，當學童將火柴棒完成指定的形狀後會顯示該形狀構成要素的描述(參考圖 3(d))，在屬於層次四的抽抽樂關卡，則是在進入該關卡時，會先有一個形狀與其構成要素的配對活動，學童必須完全正確的配對成功能，才能進入該關卡進行遊戲(參考圖 3(c))，增加此項功能的主要目的是讓學童可以在遊玩關卡中更了解各形狀的構成要素。

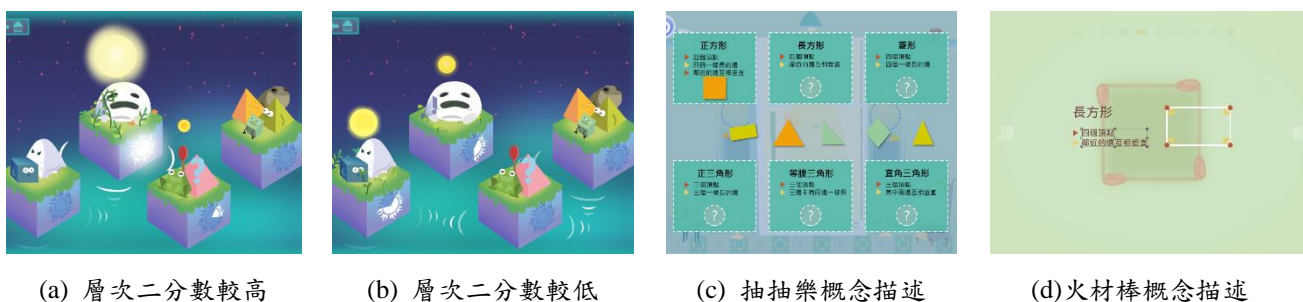


圖 3 成就與形狀構成要素的呈現

4. 資料統計與分析

本研究分為兩個部分，第一部分為學習成就測試，主要探討學童在使用過本教材後，學習平面幾何是否有進步，第二部份為學童的學習態度量表，以了解學童在使用本教材前後對於數學的學習態度。施測對象為新北市某國小一年級 27 位學童，實驗教學前，先填寫前測的學習成就測驗與學習態度量表，經過四次每堂 40 分鐘共 160 分鐘的實驗教學後，再填寫後測的學習成就測驗與學習態度量表。

4.1. 成就測試分析

成就測驗是以林松穎(2004)所設計的前、後測試卷為基礎，先請低年級的老師審視，老師們認為部分題目的文字描述過於複雜對於低年級學童來說反而是在考國語的邏輯而不是形狀的概念，因此將文字描述過於複雜的題目，在維持原題型所針對的形狀認知概念下，改成以形狀的分類或是連連看的方式讓學生作答。本成就測驗共 20 題，依照 van Hiele 幾何思考層次，每個層次都安排了 5 題，前 17 題為選擇題，18、19 題為分類題，20 題為連連看。測驗試卷的內部一致性係數 (Cronbach α) 為 0.79，表示信度佳。前後測的有效問卷共 24 份，其中男生為 10 人，女生為 14 人。表 3 為前後測成績的獨立樣本 t 檢定的結果，學童在整體的平面幾何的學習成就表現上，前、後測分數達顯著差異($P=.006$)，而且後測成績優於前測，由此可知學童在經過本教材的實驗教學後，學童對於平面幾何概念的認知有得到提升，顯示教材內容的設計與關卡的安排確實能有效提升學童在平面幾何概念的理解上。

表 3 平面幾何學習成就測驗的前、後測平均數與標準差的描述統計

項目	前測		後測		P
	M	SD	M	SD	
總分	66.79	8.98	74.08	11.71	.006**
層次一分數	24.38	1.69	24.17	1.90	.664
層次二分數	17.29	2.94	18.96	3.61	.088
層次三分數	13.13	4.62	16.46	5.99	.015*
層次四分數	12.00	3.68	14.50	4.12	.012*

* $p < .05$, ** $p < .01$

觀察前、測後各層次的分數分布，可以發現四個層次的分數剛好依照認知的難度而下降，此結果更加印證了幾何思考層次的難度分層。由於測驗對象為小學一年級學童，幾何思考的層次分布剛好在層次一與層次二階段，比較其前、後測分數也發現這兩個層次的前後測並未達顯著差異，而層次三與層次四都有明顯進步，達到顯著差異，(層次三， $P=.015$ 而層次四， $P=.012$)。由此結果可推論，國小一年級學童已有層次一與層次二的識別能力，經過本教材所提供的形狀概念學習後，學童確實提升了層次三與層次四的幾何思考概念。由此可知本教材對於學童在幾何思考層次三的描述與分析能力以及層次四的抽象與關係能力是有明顯的幫

助。

4.2. 學習態度測試分析

學習態度量表的部分則是參考陳孟君(2009)所設計的問卷進行修正，將此量表關於數學計算的描述修改為學習形狀的概念，此份量表內部一致性係數 (Cronbach α) 為 0.90，表示信度佳；本研究學習態度量表共 25 題，分別測出學習者對學習數學的信心、對數學成功的態度、數學探究動機以及數學焦慮，並讓學童以李克特三點量表方式作答。學習態度量表前、後測的獨立樣本 t 檢定結果顯示於表 4。實驗結果顯示後測分數有進步(前測 M=67.63，後測 M=68.38)，但未達顯著性(p=.429)，在四個分項中以「數學探究動機」進步最多，可堆論本教材讓學生以可利用遊戲的方式來學習平面幾何，對於學童在數學探究動機是有增加的，其餘的分項分數都與前測相似，這與成就測驗的表現有些落差。探究原因應該是學童在進行完實驗教學後，便開始填寫成就測驗問卷，接著再填寫學習態度量表，對小一學童來說，要連續作答兩份問卷確實容易讓學生產生不耐，因此就隨意填答問卷的提問。因此後續如果施測對象為低年級學童時，應盡量避免接續問卷填答。

表 4 學習態度量表前、後測平均數與標準差的描述統計

項目	前測		後測		P
	M	SD	M	SD	
總量表	67.63	5.43	68.38	3.63	.429
數學信心	18.71	1.57	18.79	1.74	.863
成功態度	16.88	1.39	16.42	1.86	.110
探究動機	18.67	2.48	19.25	1.94	.070
數學焦慮	13.38	1.74	13.92	1.14	.173

5. 結論

本研究以 Battista (2002) 修改的 van Hiele 幾何思考層次理論以及體驗式遊戲模型為基礎，設計並完成一套給國小低年級學童學習平面幾何概念的悅趣化數位教材-「米德玩形狀」。教材共規劃了七個遊戲關卡與一個挑戰關卡，經過使用性測試並根據對學童操作的觀察，修正教材在操作上彈性，提供更適當的提示與更多的回饋機制，讓教材更符合學童的操作習慣，而且也讓學童會主動且持續的使用本教材。

實驗教學的結果發現，本教材對於平面幾何理解能力是有正面影響的，學童在四個幾何層次的整體表現上，後測成績優於前測成績而且達顯著差異。而在四個不同層次上，國小一年級學童已具備了層次一與層次二的識別能力，而學童在使用本教材後，在層次三與層次四的學習成就則達顯著差異，此與 Chang, Sung, & Lin (2007)研究結果相符，由此可知本教材對於學童在幾何思考層次三的描述與分析能力以及層次四的抽象與關係能力是有幫助。在學習態度的部分雖然前後測未達顯著差異，但對於數學的探究動機則有較佳的表現，顯示本教材以遊戲的方式來學習平面幾何，是能提升學童對於數學的探究動機的，為了推廣與測試本教材，將會到持續到國小進行試教與施測，並藉由每次的施測結果進行修改，讓本教材更加符合學童學習。

誌謝

本研究成果由科技部贊助部分經費，計畫編號：MOST 103-2511-S-152-007-MY2 與 MOST 103-2511-S-152-008-MY2。

參考文獻

- 王學武、黃榆婷、曾舒珮和王熾茵（2009年，3月）。數位遊戲式正方體展開圖教材於提升國小學生空間能力成效之研究。《教學科技與媒體》，87，20~42。
- 林松穎（2004）。《多媒體輔助兒童幾何學習之設計與應用》。國立臺灣師範大學資訊教育研究所，未出版，台北。
- 吳德邦、馬秀蘭、李懿芳（2007）。編製吳-馬-李氏 van Hiele 立體幾何思考層次測驗之歷程。《測驗統計年刊》，15，15-42。
- 陳孟君（2009）。《遊戲因子對國小二年級學童學習動機之研究-以數學領域數位教材為例》。國立臺北教育大學教育傳播與科技研究所，未出版，台北。
- 陳淑貞（2013）。《國小一年級學童使用六形六色板進行圖形拼排歷程之研究》。中原大學教育研究所論文，未出版，桃園。
- 曾舒珮（2010）。《悅趣化數位教材介面視覺風格設計對使用者操作意願影響之性別差異研究》。國立臺北教育大學玩具與遊戲設計碩士班，未出版，台北市。
- 賴蕙慈（2010）。《應用 Van Hiele 幾何思考層次理論於國小學童體積概念數位教材開發之研究》。國立臺北教育大學教育傳播與科技研究所學位論文，未出版，台北市。
- Battista, M. T. (2002). Learning geometry in a dynamic computer environment. *Teaching Children Mathematics*, 8(6), 333.
- Chang, K. E., Sung, Y. T., & Lin, S. Y. (2007). Developing geometry thinking through multimedia learning activities. *Computers in Human Behavior*, 23(5), 2212-2229.
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441-467.
- Keller, J. M. (1999). Using the ARCS motivational process in computer-based instruction and distance education. *New Directions for Teaching and Learning*, 78, 39-47.
- Kiili, K. & Lainema, T. (2008). Foundation for measuring engagement in educational games. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 469-488.
- Malone, T. W., & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. *Aptitude, Learning, and Instruction*, 3, 223-253.
- Morán, S., Rubio, R., Gallego, R., Suárez, J. & Martín, S. (2008). Proposal of interactive applications to enhance student's spatial perception. *Computers & Education*, 50(3), 772-786.
- Usiskin, Z. (1982). *Van Hiele Levels and Achievement in Secondary School Geometry*. Chicago, IL: University of Chicago, Department of Education.
- van Hiele, P. M. (1986). *Structure and Insight : A Theory of Mathematics Education*. Orlando, FL: Academic Press.