

# 115 年度 第二屆 CCUS 創意教案徵選活動

參賽組別：社會組

## 一、單元基本資料表

單元名稱	 碳吉 TanJi： CCUS 淨零決策模擬器	適用年級	高中職（對應 108 課綱地球科學、公民與社會、資訊科技）及大專通識
教材來源	自編教材、IPCC AR6 報告、自行開發網頁模擬工具	教學時間	100 分鐘，共 2 節。
單元主題	氣候變遷與科技解方（CCUS）、環境倫理與政策評估	設計者	<b>殷可盈</b> 環境部環境教育人員/任職於新系環境技術有限公司

教學準備	<p>1. 教師用：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 簡報（全球暖化數據、CCUS 技術原理、國內外案例）。</li> <li>• 教室投影設備（用於展示「全班決策戰情室」）。</li> <li>• 實作評量規準表。</li> </ul> <p>2. 學生用：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 自帶載具（手機/平板，BYOD）。</li> <li>• 碳吉 TanJi 模擬器（設計者開發，具備 5 角色分權、小組同步功能）。</li> <li>• 角色任務卡。</li> </ul>
學生先備經驗	<p>1. 高中職：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 認知：於基礎地科課程中已了解溫室效應成因，聽過「淨零排放」名詞，但對負碳技術（Negative Emissions Technologies, NET）尚陌生。</li> <li>• 技能：熟悉智慧型手機操作，具備基礎圖表閱讀能力。</li> <li>• 情意：對氣候變遷有焦慮感，但缺乏具體行動策略的概念。</li> </ul> <p>2. 大專通識：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 認知：具備基礎邏輯思考能力，能進行多面向的價值觀辯證，能理解簡單的成本效益分析。</li> <li>• 技能：具備跨領域溝通能力，能將多元觀點進行整合與表達。</li> <li>• 情意：新興科技抱持審慎樂觀的態度，願意參與公共政策的審議過程。</li> </ul>

## 二、設計理念與學理基礎

### 1. 核心概念：從「碳焦慮」到「碳吉 TanJi」的價值轉化

本教案名稱「碳吉」取自台語「賺錢」諧音，寓意將減碳行動從單純的「成本支出」轉化為創造價值的「投資」。傳統環境教育多強調氣候危機的急迫性，容易引發學生的無力感。本教案引入 SROI ( Social Return on Investment, 社會投資報酬率 ) 概念，引導學生計算 CCUS 技術在「經濟」、「環境」與「社會」三方面的綜合效益，培養系統性思考能力。

### 2. CSCL 電腦輔助協作學習 (Computer-Supported Collaborative Learning)

本教案採用「拼圖法 (Jigsaw)」結合數位科技。模擬器內建「小組即時同步」技術，組員在各自的手機上操作不同職務 ( 如工程師調整安全參數、財務長控制預算 )，數據會毫秒級同步至全組畫面。透過「權限鎖定」設計，迫使學生無法單獨完成任務，必須在數位環境中進行口語協商與妥協，解決了傳統分組報告中「搭便車」的問題。

### 3. 戰情室的社會驗證機制

利用 Firebase 雲端技術建置的「教師總覽模式」，能即時抓取全班各組的決策數據，轉化為視覺化的排行榜與雷達圖。這創造了「社會驗證」的學習情境——當學生發現全班 80% 的人都選擇了某個方案時，少數派會產生自我懷疑與反思，進而激發更深層的課堂辯論。

### 4. 遊戲化學習與心流體驗

模擬器介面設計導入了遊戲化元素 ( 點數回饋、即時雷達圖變化、排行榜競爭 )。透過視覺化的「即時回饋」，學生每一次調整參數 ( 如提高監測強度 ) 都能立即看見對 SROI 總分的影響 ( 正向或負向增強 )。這種具備明確目標與立即回饋的機制，有助於引導學生進入「心流」狀態，在高強度的專注中完成複雜的決策任務，提升學習動機。

### 5. 審議式民主

本教案的五大角色設計，具體反映現實社會中的利益關係人 ( Stakeholders )。透過角色扮演，學生不再是站在單一立場喊口號，而是必須在有限資源下，學習與不同立場者 ( 如：財務長與生態員的衝突 ) 進行理性溝通。此過程旨在實踐「審議式民主」，培養學生面對高爭議性科技議題時，具備換位思考、折衝協調與尋求共好的現代公民素養。

### 三、素養與目標架構表

本教案設計緊扣 108 課綱之核心素養，強調跨領域（科學 x 社會 x 科技）的整合應用。

核心素養	學習表現	學習內容
<p><b>1. 社-U-A2 系統思考與解決問題</b> 分析 CCUS 技術在環境、經濟與社會層面的交互影響，並能針對複雜問題提出解決方案。</p> <p><b>2. 自-U-B2 科技資訊與媒體素養</b> 善用工具與數據進行科學論證，理解模型預測的侷限性，並正確解讀資訊。</p> <p><b>3. 社-U-C1 道德實踐與公民意識</b> 探討環境正義，理解不同利害關係人（如居民、業者）在公共政策的立場，培養同理心與責任感。</p>	<p><b>1. 科學認知</b> 能說明 CCUS 的運作原理（捕捉、利用、封存）及其在國家 2050 淨零路徑中的定位。</p> <p><b>2. 科技應用</b> 能操作「碳吉 TanJi」模擬器，透過分權協作完成小組決策，並解讀 SROI 數據圖表。</p> <p><b>3. 公民實踐</b> 能換位思考，扮演不同角色（工程師、財務長、公關等），針對具爭議性的環境設施選址議題進行理性溝通與共識決策。</p>	<p><b>1. 氣候變遷與調適策略</b> 對應地科：全球暖化與氣候變遷、碳循環。</p> <p><b>2. 地球資源的永續利用</b> 對應地科：地質封存條件、環境地質。</p> <p><b>3. 科技發展對社會與環境的影響</b> 對應公民：風險社會、環境正義、科技決策。</p> <p><b>4. 資訊科技應用</b> 對應資訊：資料處理與分析、模擬與模式。</p>

#### 具體學習目標

1. 認知目標：學生能正確解釋碳捕捉、利用與封存（CCUS）的三階段流程，並區分其與自然碳匯的差異。
2. 技能目標：學生能熟練操作「碳吉 TanJi」網頁模擬器，在「角色分權」的限制下，透過團隊協作優化 SROI 總分。
3. 情意目標：學生能透過戰情室數據反思，體認環境決策並非零和遊戲，而是需要在科學證據、經濟成本與社會正義之間尋求平衡的藝術。

#### 四、教學流程設計詳案

##### 單元主題一：科技解方——把碳抓回來

設計理念：透過生活化的提問與視覺化素材，引導學生從「氣候焦慮」轉向「科技解方」，建立對 CCUS 技術的科學基礎認識。

##### 第一節

分組方式	時間	教學活動內容(含提問設計)	評量方式	學習目標
合班 全班授課	5 min	<b>一、引起動機：氣候時光機</b> 1. 教師提問：「同學們，如果不改變現狀，2050 年的夏天會有多熱？除了叫大家少開冷氣（減量），有沒有辦法把空氣中過多的二氧化碳『抓回來』（負碳）？」 2. 投票互動：教師進行一題簡單的「碳直覺」舉手投票。 * 題目：「種樹 100 年」和「打入地底 100 年」，哪個存的碳比較久？ 3. 數據破題：即時呈現投票數據，引出主題——CCUS 是達成淨零排放的關鍵拼圖之一，是人類對抗暖化的「最後一道防線之一」。	參與度 口頭問答	引起興趣，建立對負碳技術的初步想像。
合班 講述問答	20 min	<b>二、發展活動：CCUS 技術解密</b> 1. 原理講述：運用動畫圖解說明三大階段，並結合生活比喻： * Capture（怎麼抓）：像吸塵器一樣，在工廠煙囪安裝「化學吸收」或「物理吸附」裝置。 * Utilization（怎麼用）：把抓到的 CO <sub>2</sub> 變成汽水、建材或合成燃料。 * Storage（藏哪裡）：打入地底 3 公	課堂筆記 口頭問答	了解 CCUS 運作原理與產業應用。

		<p>里深的鹹水層或廢棄油氣田，就像把精靈封印回瓶子裡。</p> <p>2. 連結實務：引用 ISO 14064 溫室氣體盤查概念，說明企業為何不能只靠省電，還需要 CCUS 來抵減製程中無法消除的碳排。</p> <p>3. 案例分享：介紹環境工程產業如何運用「空氣品質模式模擬」技術來監測氣體擴散，確保封存安全（連結設計者在新系環境技術公司的經驗）。</p>		
<p>異質分組 4-6 人</p>	<p>25 min</p>	<p><b>三、綜合活動：鄰避效應大哉問</b></p> <p>1. 拋出議題：「如果政府宣布你家附近的地底下擁有絕佳的碳封存地質條件，你會贊成開發嗎？」</p> <p>2. 小組討論：運用線上白板 Padlet，各組貼上不同顏色的便利貼：  * 紅色便利貼：擔心什麼？（氣體洩漏、引發微地震、房價下跌）。  * 綠色便利貼：期待什麼？（高額回饋金、創造就業機會、減緩暖化）。</p> <div style="text-align: center;">  <p>線上白板 Padlet</p> <p><a href="https://padlet.com/tanji2026/tanji-h7vo160b9bwzdbyc">https://padlet.com/tanji2026/tanji-h7vo160b9bwzdbyc</a></p> </div> <p>3. 教師總結：技術問題通常有科學解方，但「社會溝通」才是最困難的。</p>	<p>小組討論 發表 Padlet 貼 文</p>	<p>辨識科技應用背後的社會風險與鄰避效應。</p>

# 線上白板 Padlet

Padlet  
TanJi · 不到1分鐘  
**破吉 TanJi：鄰避效應大哉問**  
如果政府宣布你家附近的地底下擁有絕佳的碳封存地質條件，你會贊成開發嗎？

老師示範    第一組    第二組    第三組    第四組

我擔心引發微地震  
我希望創造就業機會

氣體洩漏  
高額回饋金

新增評論

## 下載成績冊

Padlet  
TanJi · 21天  
**破吉 TanJi：鄰避效應大哉問**  
如果政府宣布你家附近的地底下擁有絕佳的碳封存地質條件，你會贊成開發嗎？

老師示範    第一組

我擔心引發微地震  
我希望創造就業機會

氣體洩漏  
高額回饋金

新增評論

更多選項

- 詳細資訊
- 語言
- 新增書籤
- 標記為模板
- 轉移看板
- 凍結看板
- 清除貼文
- 將看板移至垃圾桶
- 開發人員
- 自動化
- 成績冊
- 進入全螢幕模式
- 檢舉看板

成績冊

最高分數 100

成績計算  
如果一個學生有多則貼文，應如何計算他的最終成績？ 平均分數

分數 下載

TanJi

老師示範  
我擔心引發微地震  
100 / 100

老師示範  
我希望創造就業機會  
100 / 100

第一組  
氣體洩漏  
100 / 100

第一組  
高額回饋金  
100 / 100

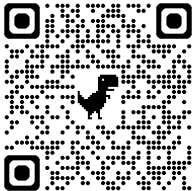
總評分和反饋

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2	已評分的使用者 ID	已評分的使用者名稱	已評分的使用者姓名	總分數	留言														
3	5011664266	tanji2026	TanJi	100															
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			

## 單元主題二：決策模擬——我是環境規劃師

設計理念：運用 AI 輔助開發的模擬器，創造一個「分權協作」的數位場域，讓學生體驗真實的團隊決策過程。

### 第二節

分組方式	時間	教學活動內容(含提問設計)	評量方式	學習目標
合班	5 min	<p><b>一、引起動機：數據驅動決策</b></p> <p>1. 說明：現代環境規劃師在做決策時，不能只憑感覺，必須依賴「環境影響評估（EIA）」的科學數據。介紹本次活動的核心指標——SROI 社會投資報酬率：我們不只看賺多少錢，還要看對社會創造多少價值。</p> <p>2. 教師登入演示：教師在大螢幕上示範操作。在首頁「小組名稱」欄位輸入教師專用代碼（880619），系統按鈕將變色並切換進入「教師總覽戰情室」，準備接收全班數據。</p>	專注聽講	建立科學決策與 SROI 的概念。
異質分組 角色扮演 5 人一組	30 min	<p><b>二、發展活動：選址模擬戰</b></p> <p>1. 登入與分工：</p> <p>* 全組輸入相同的小組名稱（如：A 組），確保進入同一個雲端房間。</p> <p>* 5 位組員認領 5 個角色：工程師、財務長、公關、生態員、分析師。</p> <div style="text-align: center;">  <p>碳吉 TanJi 模擬器</p> <p><a href="https://tanji2026.github.io/ccus/">https://tanji2026.github.io/ccus/</a></p> </div>	模擬器操作 團隊互動 觀察	練習操作數位工具，解讀多變量數據，並進行團隊協商。

		<p>2. 分權操作：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 學生會發現自己的介面上只有「特定滑桿」可以拉動，其他選項鎖定。</li> <li>* 情境模擬：</li> <li>* 財務長（控制預算）：為了省錢拉低預算。</li> <li>* 工程師（控制安全）：發現預算降低導致安全性暴跌，必須立刻抗議：「財務長！你這樣會害工廠爆炸！」</li> <li>* 公關（控制回饋金）：發現選了工業區但回饋金太少，民怨沸騰。</li> </ul> <p>3. 協商與提交：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 組員需透過激烈的口語溝通達成共識（SROI 總分需最大化）。</li> <li>* 由隊長（政策分析師）按下「提交決策」按鈕，將數據上傳至大螢幕。</li> </ul>		
<p>合班 全班共學</p>	<p>15 min</p>	<p><b>三、綜合活動：戰情室解密</b></p> <p>1. 教師解析戰情室。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 圓餅圖分析：全班有多少比例選擇了有鄰避風險的工業區？為什麼？</li> <li>* SROI 分析：全班的平均社會接受度是否及格？如果不從，可能引發什麼後果？</li> </ul> <p>2. 教師回饋：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 強調「沒有完美的選址，只有完美的溝通」。</li> <li>* 總結 CCUS 推動的關鍵在於「社會信任」。</li> </ul> <p>3. 課程重置：教師示範使用後台的「一鍵清除」功能，將數據歸零，展現數位工具的便利性。</p>	<p>口頭發表 參與度評 量</p>	<p>培養溝通 表達、批 判思考與 數據解讀 能力。</p>

# 碳吉 TanJi 模擬器



## 碳吉 TanJi

CCUS 淨零決策模擬系統

小組名稱 / 教師代碼

輸入小組名稱

選擇您的角色

環境工程師

財務長

公關經理

生態保育員

隊長

政策分析師

請輸入小組名稱

115年度第二屆CCUS創想競賽

## 小組分權協作

碳吉 TanJi  
模擬器 | 環境工程師

● 體驗模式(編輯)

1. 廠址決策

海外 工業區 深山

僅分析師可操作

安全監測

工程師

回饋金

公關

生態補償

生態員

預算緊縮

財務長

SROI 預測模型

Team Sync Active

安全性 (Safety) 98  
經濟性 (Economy) 6  
社會性 (Social) 100

> 即時協作紀錄  
[下午01:59:06] 體驗模式：資料僅儲存於本地  
> 系統初始化完成...

115年度第二屆CCUS創想競賽

SROI 綜合評分  
**75.9**

提交決策

## 隊長送出決策

碳吉 TanJi  
碳匯管理 | 碳匯分析師

【體驗模式】決策已送出！(本地模擬)

確定

Team Sync Active

### 1. 選址決策

海外 工業區 深山

安全監測 工務管理 回饋金 公眾關係

生態補償 生態調查 預算緊縮 系統維護

安全性 (Safety) 98  
經濟性 (Economy) 6  
社會性 (Social) 100

即時運作紀錄  
[11/19/2021 06:10:00] 體驗模式：資料僅儲存於本地  
> 系統初始化完成...

119年度第二屆CCUS創發競賽

SROI 綜合評分 **75.9**

傳送中...

## 全班決策總覽

碳吉 TanJi  
負責人

● 體驗模式(繼續)

### 全班決策總覽

即時監控各組決策動態與 SROI 表現

在線組數 **3 (Demo)** 重置課程

#### 選址分佈

● 海外 ● 工業 ● 深山

#### 平均指標

指標	平均分數
安全	~80
經濟	~65
社會	~70

#### 排行榜

排名	組別	SROI
#1	第三組	82.1
#2	第一組	78.5
#3	第二組	65.2

#### 各組即時狀態

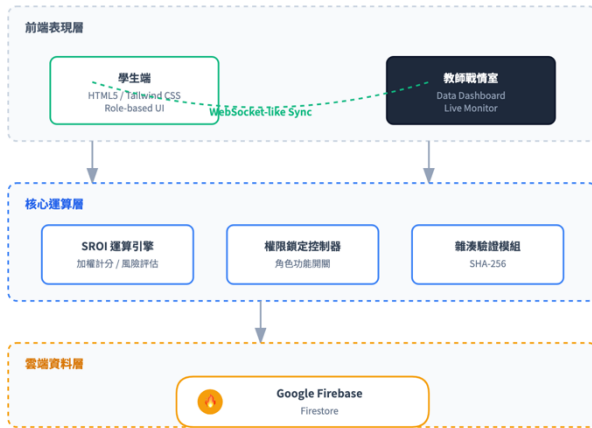
組別	SROI	狀態
第一組	78.5	已連線
第二組	65.2	調整參數中
第三組	82.1	等待中

119年度第二屆CCUS創發競賽

## 五、數位教具開發與操作手冊

本教案所使用之「碳吉 TanJi 模擬器」係由設計者結合環境工程專業與生成式 AI 技術開發。本段落說明其技術架構與後台操作，以利評審與教學者理解其創新性與可複製性：

圖一：系統架構圖



圖一：系統架構展示前端互動、邏輯運算與雲端資料庫的即時整合

圖二：教學互動流程圖



圖二：包含「角色操作」到「數據反思」的完整數位教學互動循環

圖三：教具介面 A - 學生端 (分權協作模式)



圖三：學生端畫面 (以環境工程師為例)，展示「只能操作自己職責」的介面設計

圖四：教具介面 B - 教師戰情室



圖四：教師端後台採用暗色系戰情室風格，突顯數據可視化效果

## 1. 開發技術揭密

本教具並非使用現成軟體製作，而是採用 Modern Web App 架構開發，具備跨平台與輕量化優勢。教師在教學演示時，可直接按 F12 展示網頁原始碼，作為「資訊科技」跨域教學的範例。

- 核心邏輯：HTML5 + JavaScript (ES6 Module)。
- 視覺框架：Tailwind CSS (確保在手機、平板皆能完美呈現，符合 BYOD 趨勢)。
- 數據視覺化：Chart.js (即時繪製動態雷達圖與圓餅圖)。
- 雲端後端：Google Firebase Firestore (實現 NoSQL 資料庫的秒級連線同步)。
- AI 協作：運用 Google Gemini 大型語言模型輔助撰寫前端邏輯與 UI 優化。

## 2. 獨創功能：角色分權機制

為避免「搭便車」效應，系統設計了嚴格的權限鎖定，實現 CSCL (電腦輔助協作學習)：

- 環境工程師：僅能控制 [安全監測]。
- 財務長：僅能控制 [預算緊縮]。
- 公關經理：僅能控制 [回饋金]。
- 生態保育員：僅能控制 [生態補償]。
- 政策分析師：僅能控制 [場址選擇] 與 [提交按鈕]。

這迫使學生必須開口溝通，無法由單一人員獨自完成操作，將「科技互動」轉化為「人際互動」。

## 3. 教師後台管理

為方便不同班級重複使用，本系統設有隱藏式管理介面：

- 隱形入口設計：為避免學生誤觸，系統未設顯眼的登入按鈕。教師只需在首頁的「小組名稱」欄位中，輸入專屬的課程代碼 (880619)，進入按鈕即會自動變色並切換功能，點擊後即可進入「教師戰情室」。
- 後台功能
  - 即時監控：查看各組連線狀態、決策傾向與 SROI 分數排行。
  - 一鍵重置課程：戰情室右上角設有「重置課程」按鈕，點擊後即可透過 Firebase API 清空雲端資料庫中的所有歷史數據，快速還原至初始狀態。

## 4. 雙模式運作機制

- 即時連線模式：當偵測到 Firebase 連線正常時，右上角顯示綠燈。支援全班多人同時互動，數據即時彙整。
- 模擬演示模式：若教室網路不穩或未設定 API Key，系統自動切換為橘燈。此時戰情室會自動產生虛擬的決策數據，確保教學流程不中斷。

# CCUS 碳捕捉、利用與封存

Carbon Capture, Utilization, and Storage

COURSE

當代能源議題解析

FOCUS

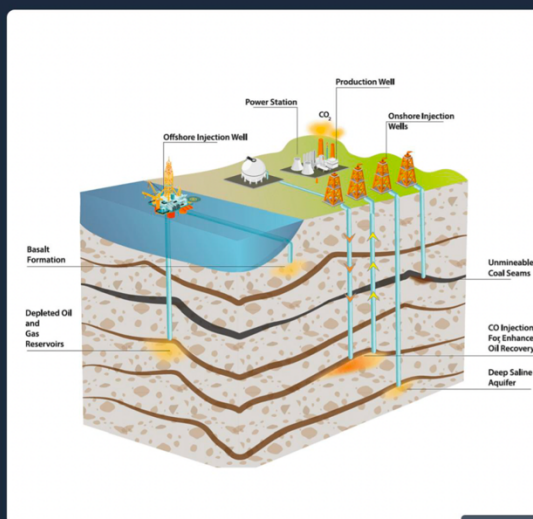
脫碳技術與產業應用

01 / 12

## 下游處置：地質封存安全性

地質封存利用地下 800-3000 公尺深的岩層孔隙來儲存 CO<sub>2</sub>。安全性由四種機制層層保障：

- **1. 構造封存 (Structural)**：利用不透氣的蓋層岩石（如頁岩）進行物理阻擋。
- **2. 殘留封存 (Residual)**：CO<sub>2</sub> 被岩石微小孔隙的毛細管力「卡住」。
- **3. 溶解封存 (Solubility)**：CO<sub>2</sub> 溶解於地層鹽水中，變得比原鹽水重而下沉。
- **4. 礦化封存 (Mineral)**：與岩石發生化學反應生成固態碳酸鹽，永久固化。



07 / 12

七、附件：小組角色任務卡

角色	環境工程師	財務長	公關經理	政策分析師	生態保育員
核心價值	安全第一、科學數據	成本效益、股東利益	社會形象、居民關係	法規合規、政府關係	環境永續、生物多樣性
關注指標	安全性 地質穩定、 監測強度	經濟性 建置成本、 營運利潤	社會性 社會接受、 鄰避效應	綜合 SROI 國家淨零路 徑、合規性	環境衝擊 生態熱點、 棲地破壞
系統權限	控制 [安全監測]	控制 [預算緊縮]	控制 [回饋金]	控制 [選址]	控制 [生態補償]
你的任務	堅持要求將 監測強度調 高，確保無 洩漏風險， 即使這會花 很多錢。	計算成本， 當隊友要求 昂貴設備時， 你要負責 踩煞車， 避免赤字。	評估選址對 居民影響， 爭取合理回 饋金，確保 不發生民眾 抗議。	擔任隊長， 協調各方意 見，確保最 終方案符合 國家政策， 按下提交。	反對在深山 或海洋敏感 區開發，要 求避開保護 區或增加補 償預算。

**ROLE A**  
**環境工程師**

🛡️ 安全第一    📊 科學數據

**你的任務**  
堅持要求將監測強度調高，確保無洩漏風險，即使這會花很多錢。你是團隊的安全守門員。

🔧 系統權限  
控制 [安全監測] 滑桿

"如果洩漏，我們就完了！"

**ROLE B**  
**財務長**

💰 成本效益    📈 股東利益

**你的任務**  
計算總成本，當隊友要求昂貴設備時，你要負責踩煞車，避免赤字。每一分錢都要花在刀口上。

🔧 系統權限  
控制 [預算緊縮] 滑桿

"公司不是做慈善的！"

**ROLE C**  
**公關經理**

👤 社會形象    🗣️ 居民關係

**你的任務**  
評估選址對居民影響，爭取合理回饋金，確保民眾不抗議。你是公司與社區的橋樑。

🔧 系統權限  
控制 [回饋金] 滑桿

"沒有社會許可，工程動不了！"

**ROLE D**  
**政策分析師**

⚖️ 法規合規    🏛️ 政府關係

**你的任務**  
擔任隊長，協調各方意見，確保最終方案符合國家 2050 淨零政策，並在共識後按下提交鍵。

🔧 系統權限  
控制 [選址] 與 [提交]

"我們需要一個平衡的方案。"

**ROLE E**  
**生態保育員**

🌿 環境永續    🌍 生物多樣性

**你的任務**  
反對在深山或海洋敏感區開發，要求避開保護區或增加補償預算。你是無聲大自然的代言人。

🔧 系統權限  
控制 [生態補償] 滑桿

"大自然是無價的！"

**角色分配說明**

分組時，拿到卡片的人即負責該職位，並掃描 QR Code 登入系統。

敬告 TanJi 模擬器 教具附件

八、附件：評量規準表

評量項目	優秀 (3 分)	良好 (2 分)	待加強 (1 分)
模擬決策 (40%) SROI 分析	決策結果之 SROI 總分高於 80 分，且三項指標（安全/經濟/社會）均衡發展，無極端偏廢（例如：安全性雖高但經濟崩盤）。	決策結果及格（60-79 分），但某一指標過低，或未能充分考慮到三者的平衡。	決策結果不及格，或未能完成模擬器操作，數據呈現極端偏差。
口語表達 (30%) 邏輯論證	能清晰說明選址理由，並能引用具體數據（如：「我們選擇 A 場址是因為雖然成本高，但安全性達 95 分...」）來支持論點。	能說明選址理由，但較少引用數據，多憑感覺或直覺陳述（如：「我覺得 A 比較好...」）。	無法清楚說明選址理由，或組員意見分歧無法整合，發言零散。
團隊合作 (30%) 協商溝通	組員分工明確，討論過程中能尊重不同角色的立場（工程師、財務長等），並展現協商與妥協的素養，無一人獨裁現象。	組員有參與討論，但部分成員主導性過強，缺乏充分溝通或某一角色意見被忽視。	缺乏互動，由單一成員操作完成，其他組員狀況外或未參與討論。

九、附件：學生學習單-決策歷程記錄表（以數位表單發放至學生載具或紙本印刷填寫）

## 碳吉 TanJi：CCUS 淨零決策學習單

班級：\_\_\_\_\_ 組別：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 座號：\_\_\_\_\_

### PART 1：角色認同

我在團隊中擔任的角色是：

環境工程師（守護安全）

財務長（守護荷包）

公關經理（守護民意）

政策分析師（守護合規）

生態保育員（守護自然）

用一句話形容我的核心任務：

---

### PART 2：協商戰場

在模擬過程中，我們遇到了哪些困難？

---

---

---

當我想要調整\_\_\_\_\_ 參數時，\_\_\_\_\_ (角色) 表示反對，因為

---

---

為了達成共識，我最後做出了什麼讓步？或者我成功說服了誰？

---

---

---



# 十、附件：教案吉祥物「碳吉」與宣傳海報



115年度 第二屆 CCUS 創意教案

SYS. STATUS: ONLINE  
VER: 13.6.2  
SROI. ENGINE: ACTIVE

# 碳吉 Tan Ji

## CCUS 淨零決策模擬器

**角色扮演與分權**  
獨創「權限鎖定」機制，五位組員各司其職（工程、財務、公關、政策、生態）。不溝通，就無法達成淨零目標！

**SROI 實時運算**  
告別枯燥理論！透過網頁模擬器，將複雜的減碳效益轉化為視覺化的雷達圖。

**教師戰情室**  
隱藏式後台設計，教師可即時監控全班決策傾向，一鍵重置課程進度。

AVAILABLE ROLES

- 工程師
- 財務長
- 公關
- 分析師
- 生態員

TEAM: ALPHA LIVE

82.5  
SROI SCORE

經濟 High    社會 Med    環境 Safe

適用對象  
**高中職、大專院校通識**  
對應 108 課綱：地球科學 / 公民與社會 / 資訊科技

立即體驗  
掃描進入模擬器

## 十一、教學反思與未來展望

本教案試圖跨越「傳統講述」與「數位遊戲」的鴻溝，將複雜的淨零科技議題轉化為具備「社會驗證」機制的互動課程。在設計與實施過程中，歸納出以下反思與建議：

### 1. 設計挑戰：如何避免「遊戲化」稀釋「學習目標」？

在開發「碳吉 TanJi 模擬器」時，最大的挑戰在於平衡「遊戲性」與「知識含量」。

- 挑戰點：學生容易為了追求高分（SROI 數值）而進行無意義的參數試錯，忽略了背後的科學與倫理意涵。
- 應對策略：為此，本教案特別導入了「角色權限鎖定」機制，強迫學生必須透過「口語協商」才能調整參數。這使得模擬器不再只是單純的計算機，而是促進社會溝通的中介工具。未來的教學引導中，應更強調「為什麼這樣調」的口頭論證，而非僅關注最終分數。

### 2. 數位落差與現場技術的應變

推動 BYOD (Bring Your Own Device) 教學時，網路穩定性是最大的不可控變因。

- 現場反思：雖然 Firebase 提供了秒級同步的戰情室體驗，但在部分網路訊號不佳的教室，可能會導致數據延遲。
- 改進方案：目前系統雖已開發「離線模擬模式（橘燈）」，可考慮增加紙本備案機制，確保在完全斷網的環境下，仍能透過實體卡牌進行類似的決策模擬，落實科技平權。

### 3. 議題深度的擴充性：從「選址」到「世代正義」

目前的教案受限於 100 分鐘的教學時間，主要聚焦於 CCUS 的選址與 SROI 計算。

- 潛在改進：若課程時間充裕（如大專通識微學分課程），可增加「公聽會」或「環評大會」的環節。讓不同小組互換立場（例如：原本開發派的組別轉為居民代表），進行更深度的辯論。
- 內容延伸：除了 SROI，未來可加入「代際正義」的變數，例如：現在封存的二氧化碳，是否會在 100 年後洩漏？讓學生思考現在的決策對未來的潛在風險。

### 4. 跨領域應用的可能性

本教案雖以 CCUS 為主題，但其「分權協作」與「多目標決策」的教學模組具有高度可複製性。

- 應用建議：此套模擬器架構可改編應用於其他高爭議性議題，如「再生能源配置（光電 vs 農地）」或「水資源分配（民生 vs 工業）」。透過置換參數與角色卡，即可轉化為公民科或地理科的探究與實作教材，培養學生面對複雜社會問題的系統思考能力。

## 十二、參考資料與延伸閱讀

本教案設計依據國內外氣候變遷權威報告、社會影響評估標準及數位學習理論編撰而成。以下為各領域之關鍵參考文獻：

### (一) 關鍵政策與國際報告

1. 國家發展委員會 (2022)。《臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明》。  
關聯性：本教案之決策背景，明確指出 CCUS 為台灣淨零轉型之關鍵戰略（第 9 項戰略「碳捕捉利用及封存」）。
2. IPCC (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR6)*. Cambridge University Press.  
關聯性：提供全球暖化科學數據基礎，確認負碳技術（NETs）對於控制升溫 1.5°C 的必要性。
3. 經濟部 (2023)。《2050 淨零排放—十二項關鍵戰略行動計畫》。  
關聯性：提供了具體的產業轉型路徑，作為教案中「工業區」與「外海封存」場景設定的現實依據。

### (二) CCUS 技術原理與案例

4. Global CCS Institute (2023). *Global Status of CCS 2023*. Melbourne, Australia.  
關聯性：提供國際最新的 CCS 商業運轉案例（如冰島 Orca 計畫），作為課堂補充教材之國際觀點。
5. 行政院環境保護署（現環境部）(2021)。《碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 技術簡介》。  
關聯性：轉化為學生易懂的「捕捉、利用、封存」三階段圖解教材來源。
6. IEA (2020). *CCUS in Clean Energy Transitions*. International Energy Agency, Paris.  
關聯性：分析 CCUS 在能源轉型中的成本效益，作為財務長角色「預算編列」的數據參考。

### (三) 社會影響與評估方法

7. Social Value International (2019). *The Guide to Social Return on Investment (SROI)*.  
關聯性：本教案核心機制「SROI 雷達圖」之計算邏輯基礎，教導學生將環境與社會價值貨幣化。
8. Ho, M. S., & Wang, J. (2020). NIMBY or NIABY? The Social Acceptance of Green Energy Infrastructure in Taiwan. *Journal of Environmental Planning*.  
關聯性：探討台灣在地的「鄰避效應（Not In My Backyard）」，作為設計「居民

抗爭」與「回饋金機制」的理論依據。

9. 行政院環境部 (2023)。《環境影響評估法規彙編》。

關聯性：引用 EIA 流程中對於「民眾參與」的規定，強調程序正義的重要性。

#### (四) 教育理論與教學設計

10. Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning? In **Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches.**

關聯性：本教案「電腦輔助協作學習 (CSCL)」之理論基礎，強調透過數位工具促進組內協商。

11. Csikszentmihalyi, M. (1990). **Flow: The Psychology of Optimal Experience. Harper & Row.**

關聯性：應用於模擬器之介面設計 (即時回饋機制)，旨在引導學生進入專注的「心流」狀態。

12. Aronson, E. (1978). **The Jigsaw Classroom. Sage.**

關聯性：本教案採用「拼圖法」變體，透過角色分權，迫使每位學生必須貢獻己力才能完成任務，解決搭便車問題。

#### (五) 線上資源與工具

13. 碳吉 TanJi CCUS 模擬器 (本教案自製教具)：<https://tanji2026.github.io/ccus/>

14. 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (TCCIP)：提供在地氣候變遷衝擊數據。

15. Padlet 線上協作白板：<https://padlet.com/tanji2026/tanji-h7vo160b9bwzdbyc>

#### (六) Google Gemini Deep Research 專業研究工具

16. 本工具具備「深度聯網研析」能力，確保教學內容符合以下嚴格標準：

- (1) 研析 CCUS 技術中較為艱澀的物理化學原理 (如超臨界流體特性、胺液吸收機制)，同時檢索 IEEE、ScienceDirect 等學術資料庫與 IPCC 官方報告。
- (2) AI 針對同一科學事實進行多方來源比對，自動剔除網路農場或過時資訊，確保簡報中的數據與定義具有高度學術正確性，大幅降低 AI 幻覺風險。
- (3) 跨語言深度檢索接軌國際前沿：鑑於 CCUS 技術發展日新月異，且多數關鍵報告以英文發布。本教案利用 AI 的跨語言理解能力，研析北歐「Northern Lights」與美國「Department of Energy」的技術白皮書。
- (4) 知識轉譯與視覺化邏輯：運用 AI 的邏輯推演能力，將複雜的工業流程圖轉化為適合高中生及大專通識學生理解的「概念示意圖」架構，確保簡報內容在「專業度」與「可讀性」之間取得平衡。