

三、教案參考格式二：一個單元/一個主題

單元名稱	疑【碳】究竟： CCUS 的百年好合	適用年級	高中二年級
		教學時間	600 分鐘，共 12 節 (建議：課程教師可以彈性調整)。
單元主題	單元一：瘋狂變奏曲 單元二：從 CCS 到 CCUS 單元三：捕捉碳怪大作戰 (探究與實作) 單元四：公民行動與反思 單元五：SDGs 與環境教育的整合 單元六：從台灣到世界， CCUS 的百年好合	教材來源	一、網站資源、學校圖書館圖書及雜誌 二、教師自編(跨科教師含：自然科、公民與社會等)
		設計者	高麗環、賀華興
教學準備	一、硬體設備：教室數位大屏、學生個人平板 二、實驗室設備：自然科探究與實作實驗教室 三、教學軟體：Canva、PPT、Gemini、Google doc & slide 四、網站資源：教師依據單元主題及學生學習目標安排 1. Youtube 相關影片 5 stages of CCUS https://www.youtube.com/watch?v=nEWFEoTctJI (video: 1:49') Carbon capture for a productive and sustainable Europe (文章閱讀) https://www.europeanfiles.eu/environment/carbon-capture-for-a-productive-and-sustainable-europe		

全球暖化（維基百科資料）

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%A8%E7%90%83%E5%8F%98%E6%9A%96>

2. 其他教案參考資料：

TCCIP 平台：<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark.aspx>

科技大觀園：<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=3c760d03-0d2b-41f9-8cc8-178b482133c8>

環境資訊中心：<https://e-info.org.tw/node/231931>

一、先備經驗：以學生從國小三年級起學習自然科學領域相關分析如下：

1. 科學知識：學生已經學習過基礎的物理、化學和生物相關知識。例如，物理包括運動、力和能量的基本概念；化學涉及基本的元素、化合物、化學反應；生物則涵蓋細胞結構、遺傳和生態系統等主題。

2. 實驗技能：高中二年級學生通常有一定的實驗操作經驗，能夠在實驗室中進行基本的實驗，包括使用儀器、記錄數據和觀察現象。

3. 批判性思維：學生在解決問題和進行實驗時，開始培養批判性思維能力，能夠分析資料、提出假設並進行評估。

4. 跨學科連結：隨著課程的深入，學生會接觸到科學與數學、環境科學及資訊科技領域等相關知識，增加學生們能更全面地理解自然科學。

學生
先備經驗

5. 學習態度與興趣的觀察：學生的自然科學學習態度和興趣可能隨著個人興趣和老師的影響而有所不同，一些學生對科學實驗、自然現象有強烈的好奇心，積極參與課堂討論和實驗研究。

二、學生個別化任務：各項實作活動以異質性分組為依循，以建立差異化學習模組。

依據上述先備經驗相關，於課程活動施行之初，建立 google 表單檢測學生已備特質做分組之安排。

1. 學生分組設計：教師依據學生定期評量結果及平時表現，找出適宜之自然科學專長特質、資訊技術能力、個人表達特質等，平均分配至各組，並力求性別平衡，男女學生平均分配，每組 4-5 位學生組成。

2. 學生分組任務：學生職位設定清楚，以指派個別化任務或是實作工作，分別為組長，組員 1、組員 2、組員 3、組員 4。

核心素養	學習表現	學習內容
自 S-U-A1 理解科學的進展與對人類社會的貢獻及限制，將科學事業納為未來生涯發展選擇之一 自 S-U-B2 能從日常經驗、科技運用、社會中的科學相關議題、學習活動、自然環境、書刊及網路媒體中，適度運用有助於探究、問題解決及預測的資訊，進而能察覺問題或反思媒體報導中與科學相關的內容，以培養求真求實的精神。 自 S-U-C3 能主動關心全球環境議題，同時體認維護地球環境是地球公民的責任，透過個人實踐，建立多元價值的世界觀。	Po-Va-1 能從學習活動、日常經驗及科技運用、自然環境、書刊及網路媒體中，進行各種有計畫，有條理、有效率的觀察，進而能察覺問題。 An-Vc-3 體認科學能幫助人類創造更好的生活條件，但並不能解決人類社會所有的問題，科技發展有時也會引起環境或倫理道德的議題。	CMc-Vc-3 化學在先進科技發展的應用 Can-Vc-1 永續發展在於滿足當代人之需求，又不危及下一代之發展 ENb-Vc-4 因應氣候變遷的調適有許多面向與方法

學習目標

單元一：瘋狂變奏曲

- 1-1. 學生能連結已知科學知識和全球暖化關係
- 1-2. 學生能討論或說明氣候變遷相關現象，及對每個人日常生活影響
- 1-3. 學生能統整各類文章及資訊，認知控制二氧化碳的重要性
- 1-4. 學生能習得 CCUS 對二氧化碳排放量控制重要性

單元二：從 CCS 到 CCUS 的時空旅程

- 2-1. 學生能夠認知 CCS 到 CCUS 的進程
- 2-2. 學生能說明金 CCUS 的技術原理、應用範圍
- 2-3. 學生能了解 CCUS 對環境及全球氣候變遷減緩的關鍵及影響

單元三：捕捉碳怪大作戰（探究與實作）

- 3-1. 學生能夠理解碳封存的基本概念和原理
- 3-2. 藉由實驗結果引導學生學習如何模擬 CO₂ 的地下封存過程
- 3-3. 學生能夠理解二氧化碳在水中的溶解與封存原理
- 3-4. 藉由實驗結果，學生能探討海洋作為碳封存場所的潛力與挑戰

單元四：SDGs 與環境教育的整合

- 4-1. 學生能連結聯合國可持續發展目標 SDGs 13 和 SDGs 7 和 CCUS 相關
- 4-2. 藉由環境教育的理念，學生對 CCUS（碳捕捉、利用與儲存技術）的覺知能夠相對提升

單元五：公民行動與反思

- 5-1. 理解公共政策制定過程中的利益衝突及其對社會的影響
- 5-2. 探討企業的社會責任與公民參與在環境保護中的作用
- 5-3. 培養分析社會議題並提出解決方案的能力

單元六：從台灣到世界，CCUS 的百年好合

- 6-1. 認識 CCUS 技術及其在全球減碳計畫中所扮演的重要性
- 6-2. 了解國內外政府及企業與社區合作推動 CCUS 的實例
- 6-3. 探究國內外推動 CCUS 的成功要點與所面臨的挑戰

單元一(Unit 1)：瘋狂變奏曲

第一節

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 1. 瘋狂變奏曲主角- 全球暖化與氣候變遷 教師：對於今天的溫度，有太陽或下雨(假設)，詢問學生 學生：(可能答覆) 2. 播放影片：國家氣候變遷科學報告，揭露全球暖化對台灣的影響！(16:31) https://www.youtube.com/watch?v=MQt_PX4E3pw	20'		1-1
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 1. 閱讀文章(按教師課程流暢度安排，也可以是回家作業的安排)   	20'		1-1 1-2

	正視氣候危機（文章提供：綠色和平網站） https://www.greenpeace.org/taiwan/%E6%B0%A3%E5%80%99/ 2040 年升溫將破 1.5°C 聯合國重磅報告五大重點一次看 （2021 年 08 月 10 日環境資訊中心綜合外電；姜唯 翻譯；趙家緯 審校；稿源：氣候之家） https://e-info.org.tw/node/231931 2. 教師：請同學參考學習單，按照所分組別進行討論並完成學習單。（附件 1. 瘋狂變奏曲單元學習單） 活動主題：升溫控制行不行？			
合班	三、綜合活動－教師統整 1. 全球暖化和氣候變遷 101 氣候教室：氣候變遷的因果關係《國家地理》雜誌 https://www.youtube.com/watch?v=qAu8OhWL8F4&t=93s 想像一下北極的北極熊，它們的家園正因為全球氣候變遷而日益消失。 極地冰層的融化不僅威脅到這些動物的生存，也對全球的生態系統造成了巨大影響。北極熊無法適應快速變化的環境，它們的棲息地逐漸縮小，獵食和繁殖變得越來越困難。	10'		1-1 1-2
第二節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 二氧化碳排放量的控制是減緩暖化的關鍵。碳捕捉、利用與封存（Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS）技術作為一種新興的減碳策略，已成為各國積極發展的重要方向。	5'		1-3
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 1. 閱讀文章（按教師課程流暢度安排，也可以是回家作業的安排） 教師引導：國發會的簡報導入	35'		1-3 1-4

	<u>淨零十二項關鍵戰略>碳捕捉利用及封存(國科會、經濟部、環境部)</u> https://ncsd.ndc.gov.tw/Fore/nsdn/about0/Work6 2. 教師：請同學參考學習單，按照所分組別進行討論並完成學習單。(附件 1. 瘋狂變奏曲單元學習單)			
合班	三、綜合活動 - 教師統整 引言說明：正視氣候危機 縱觀全球，當下最為嚴峻的問題就屬氣候變遷。我們所生活的東亞，是全球溫室氣體排放量最高的區域，居民無不受氣候變遷的影響。在海島的臺灣，極端天氣越見頻繁，我們的家園歷經過多次極端氣候所帶來的天災，減緩氣候變遷刻不容緩。 我們的行動：減碳不能再等 教師： 1. 你是否曾想過，這一切是否能夠改變？ 2. 我們可以怎樣運用現代科技來減緩這些問題呢？ 3. 我們將一起探索一項可能改變未來的技術——碳捕獲、利用與封存 (CCUS)。 4. 透過了解 CCUS 技術如何在減少溫室氣體排放方面發揮作用，你將成為解決這些問題的關鍵一員。	10'		1-4
單元二(Unit 2)：從 CCS 到 CCUS 的時空旅程				
第一節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 1. 教師提問：什麼是 Carbon Capture, Utilization and Storage(CCUS)技術？	15'		2-1

	2. 教師播放影片：溫室效應有救了？把二氧化碳埋進地底吧！ https://www.youtube.com/watch?v=B58HUp5JWdY(12.58')			
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 1. 教師說明：請同學閱讀這二篇指定文章 什麼是碳捕存（CCS）？原理及重要性 106/06/23 李元亨 國立成功大學資源工程學系 https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=2c4ea6d5-28f9-4ded-b61b-fa892a4c033b 面對淨零碳排，碳封存會是臺灣需要發展的關鍵技術嗎？（CCUS）111/03/31 范建得 清華大學科技法律研究所 教授 https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=84b04ff8-4a53-4250-bed8-9758c7a1b25f 2. 學生發表：請同學按照設計方式完成發表	5'		2-1 2-2
合班	三、綜合活動 - 教師統整 碳封存（Carbon Capture and Storage, CCS）是減緩氣候變遷的一項重要技術，通過捕捉二氧化碳並將其儲存於地底深處，防止其排放至大氣中。	10'		2-1 2-2
第二節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 教師：復習之前單元的學習知識 🧐 說明：二氧化碳是造成 #地球暖化、#氣候變遷 的主因，為了生存	12'		2-1 2-2

	環境的永續🌍，國際間紛紛尋求有效減少二氧化碳排放到大氣中的方法。其中，又以「#CCUS」#碳捕捉及封存技術，最受矚目！ https://www.facebook.com/watch/?v=1031066124924576(video time : 2.58')			
合班	二、發展活動 1. 碳捕捉、封存及再利用技術（CCUS）是什麼？詳解其應用技術！-太儀 https://www.taikkiso.com.tw/news/ccus/ 2. 「碳捕捉」是什麼？發電減碳新技術台電如何「捕」CO₂、要封存在哪裡？- 天下 https://www.cw.com.tw/article/5126479	10' 10'		2-2
合班	三、綜合活動 - 教師統整 https://www.facebook.com/MOENV.TW 教師說明： 【🌟 全球暖化救星！#CCUS 🌟】 你知道嗎？二氧化碳可以被捕捉起來儲存在地底！ 為有效減緩氣候暖化，#碳捕存技術 功不可沒！	18'		2-3

#CCUS 在減碳中扮演的角色

■ 自然界中的 #碳捕手

過去發電廠、鋼鐵廠、化工廠等排放的二氧化碳如今能藉 CCUS 收集起來再利用，進而避免排放到大氣中，並可使電廠減少 85-90% 的碳排放。

■ 淨零排放中的偉大功臣

氣候變遷法於 112 年 1 月三讀通過，明定 2050 年達成溫室氣體淨零排放，其中 CCUS 的減量貢獻佔 9%，為貢獻量最大的單一減量技術。

政府宣導 全民知曉 安全沒煩惱

一同邁向淨零碳排最後一哩路！

單元三：捕捉碳怪大作戰(探究與實作)

第一節

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機：根據下圖，對學生提出詢問 	10'		3-1

	教師提問： 			
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 實驗一：模擬地下碳封存 附件 2. 實驗一/ 名稱：模擬地下碳封存	50'		3-1 3-2
合班	三、綜合活動 - 教師統整 附件 4. 二氧化碳與環境影響 (探究與實作) 單元學習單 (利用學習單完成，學生將已學習化學知識探與實作與環境科學相結合，並讓學生能夠將理論知識應用於解決實際問題。)	10'		3-2 3-4
第二節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 碳封存是指將二氧化碳 (CO₂) 永久性地儲存在地下或其他長期封存的地方，以減少大氣中的 CO₂ 濃度。 進行碳封存的實驗可以幫助學生理解這項技術的科學原理和實際應用。	10'		3-3
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 實驗二：CO₂ 封存與海洋酸化模擬 附件 3. 實驗二/ 名稱：CO₂ 封存與海洋酸化模擬	50'		3-3 3-4
異質分組學習-	三、綜合活動	10'		3-2

高中二年級	1. 結果觀察與討論 2. 總結與反思 附件 4. 二氧化碳與環境影響（探究與實作）單元學習單 （利用學習單完成，學生將已學習化學知識探究與實作與環境科學相結合，並讓學生能夠將理論知識應用於解決實際問題。）			3-4
-------	---	--	--	-----

單元四：SDGs 與環境教育的整合

第一節

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 教師： 1. 聯合國可持續發展目標（SDGs）中的第 13 項「氣候行動」和第 7 項「可再生能源」 2. 環境教育的理念，提升學生對 CCUS（碳捕捉、利用與儲存技術）的覺知。	10'		4-1
合班	二、發展活動 從淨零轉型到永續發展（國立成功大學資源工程學系）  https://mp.ncku.edu.tw/%E5%BE%9E%E6%B7%A8%E9%9B%B6%E8%BD%89%E5%9E%8B%E5%88%B0%E6%B0	10'		4-1

	%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95/ 教師：課程可以討論氣候變遷對全球的影響，並介紹 CCUS 如何幫助達成 SDGs，促進學生對環境保護的責任感。			
異質分組學習- 高中二年級	三、綜合活動 教師:如何將 CCUS 技術和 SDGs 觀念宣導教育更多人? 學生: 1. poster 的方式 2. 拍攝短片，設計 Avatar 主角傳達 <u>教師設定資訊傳達要點：</u> 1. 一眼明白 2. 深度說明，展示時間較長，觀賞者需要時間慢慢習得	30'		4-2
第二節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 教師提問：世界地球日相關議題，並由學生找出世界各地的作法簡短問答	10'		4-1
合班	二、發展活動 附件 5. 423 世界地球日學習單 https://www.facebook.com/MOENV.TW	15'		4-2

				
合班	三、綜合活動 附件 6.單元四：SDGs 與環境教育的整合 學習單主題：探索碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 技術與淨零排放目標	25'		4-1 4-2
單元五：公民行動與反思				
第一節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、 引起動機 碳封存是臺灣淨零解方之一，如何兼顧環境及社會、經濟的需求？113/06/28 寒波 科技大觀園特約編輯 https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=3c760d03-0d2b-41f9-8cc8-178b482133c8 (文章閱讀，可以安排為學生回家功課) 教師說明： 高中生作為未來的社會主體，應理解公民行動在推動環境保護中的重要性。此活動設計是為促使學生思考自己如何通過行動支持 CCUS 技術的推廣與應用，並探討政府政策、企業責任及個人行動之間的關係。 此課程以安排模擬公民倡議公聽會，學習目標以鼓勵學生積極參與環保運動，從小型的社區行動開始，實踐對環境的責任。	5'		5-1

異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 學生模擬公民倡議公聽會 進行角色扮演活動，模擬社區聽證會，學生分別扮演政府官員、居民代表、企業負責人和環保團體，針對碳封存計畫進行辯論。 附件 7. 公民行動與反思單元學習單：碳封存 CCUS：科技、環境與公民行動模擬/ 模擬公聽會腳本			5-1 5-2
合班	三、綜合活動 - 教師統整 什麼是「碳捕捉技術」？是氣候危機解方，還是石油業者的漂綠騙局？ https://www.greenpeace.org/taiwan/update/31343/%E4%BB%80%E9%BA%BC%E6%98%AF%E3%80%8C%E7%A2%B3%E6%8D%95%E5%AD%98%E3%80%8D%E7%BC%9F%E6%98%AF%E6%B0%A3%E5%80%99%E5%8D%B1%E6%A9%9F%E8%A7%A3%E6%96%B9%E7%BC%8C%E9%82%84%E6%98%AF%E7%9F%B3%E6%B2%B9%E6%A5%AD/			5-1 5-2
第二節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
異質分組學習- 高中二年級	一、引起動機 教師說明： 請學生查閱與碳封存相關的資料，了解這項技術的利弊，並在課堂上進行分享。 提供相關資源： 1. 清大能源教育資源平台 2. 地球公民基金會藻礁專題 3. IEA 國際案例資料			5-2 5-3
合班	二、發展活動 進行延伸學習			5-2 5-3

	1. 實驗模組或地圖工具（如台灣地質圖查詢系統） 2. 撰寫「給某部會的一封建議信」（google slide） 3. 錄製 1 分鐘短片倡議自己的立場（padlet）			
合班	三、綜合活動 教師的總結與行動呼籲 1. 教師提問學生：今天學到的公民行動對你們來說有什麼啟發？你們是否認為自己能成為積極的公民來參與環境問題的討論和決策過程？（強調每個人都可以發揮作用，通過理性與有效的行動，推動社會變革。） 2. 教師行動呼籲 a. 鼓勵學生將今天學到的知識付諸實踐，積極參與他們所關心的環境或社會議題。 b. 提醒學生，作為負責任的公民，無論是環境保護、社會公義，還是政治決策，公民行動都是重要的一環。	10'		5-3
單元六：從台灣到世界，CCUS 的百年好合				
第一節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 國內外政府與企業在 CCUS 領域與社區合作成功以及面臨之挑戰	5'		6-1
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 國外實例： CCUS 技術實例介紹（各四個案例說明） 附件 8. 單元六：從台灣到世界，CCUS 的百年好合	40'		6-2
合班	三、綜合活動 這些實例展示了國際社會對於碳封存技術的探索與應用，同時也反映出台灣在減碳技術發展中的參與與努力。	5'		6-3
第二節				

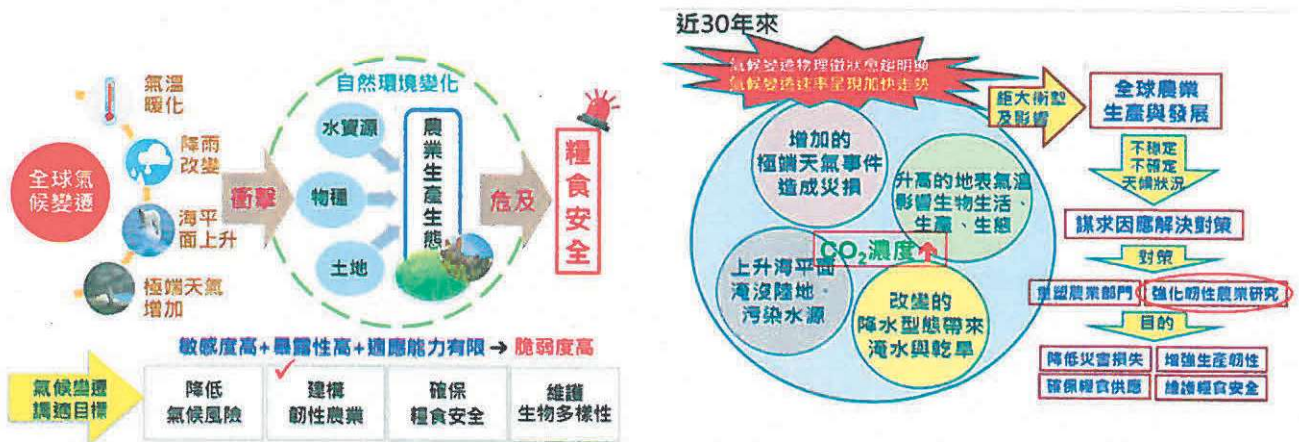
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機 國內外政府與企業在 CCUS 領域與社區合作成功以及面臨之挑戰	5'		6-1
異質分組學習- 高中二年級	二、發展活動 國內實例：CCUS 技術實例介紹 (各四個案例說明) 附件 8. 單元六：從台灣到世界，CCUS 的百年好合 https://www.youtube.com/watch?v=B58HUp5JWdY(video:0.15')	40'		6-2
合班	三、綜合活動 什麼是氣候變遷？全球暖化的原因？有哪些影響？懶人包一次告訴你（作者：Greenpeace 綠色和平） https://www.greenpeace.org/taiwan/update/22703/%E4%BB%80%E9%BA%BC%E6%98%AF%E6%B0%A3%E5%80%99%E8%A%E9%81%B7%EF%BC%9F%E5%85%A8%E7%90%83%E6%9A%96%E5%8C%96%E7%9A%84%E5%8E%9F%E5%9B%A0%EF%BC%9F%E6%9C%89%E5%93%AA%E4%BA%9B%E5%BD%B1%E9%9F%BF%EF%BC%9F 教師： 1. 利用學校圖書館，展示學生海報 2. 利用 423 日，學生倡議公民行動 3. 利用學校週會活動，學生自主學習發表：聚焦推廣 CCUS 技術，發展趨勢，對環境影響。	5'		6-3

附件 1. 瘋狂變奏曲單元學習單

班級：

姓名：

發展活動一、升溫控制行不行－糧食來源，以農業觀點(課程教師可以就個人專業置換)
(網站參考資料：raip.triwa.org.tw)



溫度設定標準	請寫出網站或是圖書相關資料	完成之組員
1. 參考規範		組員 1
2. 氣候變遷可以推估嗎		組員 2
3. 請說明推估的方式		組員 3
4. TCCIP 平台 (教師引導操作學習)	資料服務 ▾ 調適百寶箱 知識服務 ▾ 其他服務 ▾ 互動圖表 過去變遷 資料介紹 未來推估 氣候變遷資料庫商店 氣候變遷降雨頻率分析 資料應用工具 氣候圖集 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark.aspx	全組共同
	a. 由全組同學共同分享操作平台時所觀察到的現象	全組發表
	b. 若溫度升幅大於 1.5 度 C，造成原因有哪些？	全組發表

發展活動二、探「碳」看能夠碳淨零嗎？

1. 教師提問：請同學發表對下方照片的看法（主要是依同學不同科學及跨領域知識背景作答覆或發表，自由表述）



碳能被淨零嗎？	請按主題不同，答覆教師課程上的要求	完成之組員
1. 二氧化碳和地球變暖有關係嗎	Youtube 影片學習：(資料來源：BBC 中文) https://www.youtube.com/watch?v=g4wsE2D2-R8 (2.32')	組員 1
2. 碳排放	資料來源：國發會簡報-臺灣總體減碳行動計畫	組員 2
3. 減碳	資料來源： 1. 國發會簡報-臺灣總體減碳行動計畫 2. 積極設定減碳新目標	組員 3
4. 淨零排放	資料來源：國發會簡報-臺灣總體減碳行動計畫	組員 4

5. 減碳不能再等-
你會怎麼做

以下列三個預設情況來發表

全組發表

a. 積極減碳的方向

b. 維持現況嗎？

c. 減碳失敗，對你的生活會有什麼影響？

附件 2. 實驗一/ 名稱：模擬地下碳封存

實驗一	名稱：模擬地下碳封存		
學生學習目標	1. 學生能夠理解碳封存的基本概念和原理 2. 藉由實驗結果來引導學生學習如何模擬 CO ₂ 的地下封存過程		
實驗時間	50 分鐘		
材料	細沙（土壤模擬物） 小蘇打（碳酸氫鈉） 醋（乙酸） 玻璃瓶 塑膠管 氣球 量杯 砂石或礫石（模擬岩層）		
實驗操作步驟			時間分配
1. 導入	步驟 1：討論碳封存的重要性，並引導學生思考地下碳封存如何幫助減少大氣中的二氧化碳。 步驟 2：簡介地下碳封存技術，解釋如何將 CO ₂ 注入地下岩層進行封存。		（10 分鐘）
2. 實驗設計與操作	步驟 1：將細沙倒入玻璃瓶中，模擬地下的土壤結構。 步驟 2：在沙土中間放入一層小石頭或礫石，模擬地下的多孔岩層（CO ₂ 將在其中封存）。 步驟 3：將小蘇打和醋倒入瓶中，生成 CO ₂ ，並用塑膠管將 CO ₂ 氣體導入瓶底（岩層內）。 [反應方程式： $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COONa}$] 步驟 4：觀察 CO ₂ 在沙土中移動並最終被封存，使用氣球收集部分逸散的 CO ₂ 來觀察未封存的氣體量。		（30 分鐘）
3. 結果觀察與討論	討論 1：討論 CO ₂ 在多孔層中的行為，並讓學生思考如何利用不同的地質條件來增加封存的效率。 討論 2：討論哪些地質結構最適合長期封存 CO ₂ 。		（5 分鐘）
4. 總結與反思	學生分享他們的觀察結果，並思考碳封存的挑戰，如氣體洩漏的風險。		（5 分鐘）
評量方式			
	實驗報告	學生需記錄每個步驟中的觀察結果，並撰寫實驗結論，討論 CO ₂ 封存的優勢和挑戰	按各分組設定，全組發表
	討論參與度	觀察學生在討論中的積極參與度，並鼓勵批判性思考	

附件 3. 實驗二/ 名稱：CO₂封存與海洋碳酸化模擬

實驗二	名稱：CO ₂ 封存與海洋碳酸化模擬		
學生學習目標	1. 學生能夠理解二氧化碳在水中的溶解與封存原理 2. 藉由實驗結果，學生能探討海洋作為碳封存場所的潛力與挑戰		
實驗時間	50 分鐘		
材料項目	透明玻璃杯或燒杯 水 小蘇打（碳酸氫鈉） 醋（乙酸） 氣球 pH 試紙或數位 pH 測量儀 吸管		
實驗操作步驟			時間分配
1. 導入	討論二氧化碳如何溶解在海水中，並引導學生思考海洋封存二氧化碳的潛力與其對海洋生態的影響（如海洋酸化問題）。		（10 分鐘）
2. 實驗設計與操作	步驟 1：將水倒入玻璃杯中，使用 pH 試紙測量初始的 pH 值，記錄作為基準。 步驟 2：用小蘇打與醋產生 CO ₂ ，將氣體引入水中（使用吸管吹入水中，模擬 CO ₂ 溶解的過程）。 步驟 3：再次測量水的 pH 值，並觀察溶解的 CO ₂ 如何影響水的酸度。 [CO ₂ 溶解反應：CO ₂ + H ₂ O → H ₂ CO ₃ （碳酸）→ H ⁺ + HCO ₃ ⁻ （酸化）]		（30 分鐘）
3. 結果觀察與討論	討論 1：討論 CO ₂ 溶解後對水的 pH 值影響（酸化過程），讓學生理解二氧化碳溶解在水中的後果。 討論 2：討論海洋封存 CO ₂ 的優勢與風險，如海洋酸化對海洋生態的潛在影響。		（5 分鐘）
4. 總結與反思	學生分享他們的觀察結果，並思考是否可以依賴海洋作為長期的碳封存方法，討論其他潛在的碳封存方式，如地下封存和植樹造林。		（5 分鐘）
評量方式			
	實驗報告	學生需記錄每個步驟中的觀察結果，並撰寫實驗結論，討論 CO ₂ 封存的優勢和挑戰	按各分組設定，全組發表
	討論參與度	觀察學生在討論中的積極參與度，並鼓勵批判性思考	

學習單設計目標：結合了化學與環境科學，並讓學生能夠將理論知識應用於解決實際問題。

【高中化學與環境科學學習單】

單元主題：二氧化碳與環境影響

題目 1：酸雨的形成與影響 酸雨主要由大氣中的二氧化碳和其他酸性氣體溶解在水中形成。請回答以下問題：

1. 二氧化碳如何參與酸雨的形成？寫出相關的化學方程式。
2. 酸雨對埤塘或湖泊的生態系統會造成什麼影響？試舉一例。

題目 2：二氧化碳的溶解度與亨利定律 二氧化碳在水中的溶解度受亨利定律影響。假設在 25°C 時，二氧化碳的亨利定律常數為 $\text{mol/L}\cdot\text{atm}$ 。

1. 如果大氣中二氧化碳的分壓為 0.04 atm ，計算其在水中的溶解度。
2. 當水體溫度上升時，二氧化碳的溶解度會如何變化？簡述原因。

題目 3：埤塘中的緩衝溶液系統 自然水體（如埤塘）中通常含有碳酸與碳酸氫鹽，形成緩衝溶液。這種緩衝溶液能有效調節水體的酸鹼度。

1. 緩衝溶液如何在水體中維持 pH 穩定？寫出碳酸與碳酸氫根離子在水中反應的方程式。
2. 當酸雨進入埤塘時，這種緩衝系統會如何作用？

題目 4：碳酸解離常數的應用 碳酸的解離分為兩步，第一步的解離常數 為 ，第二步的解離常數 為 。

1. 寫出碳酸在水中解離的兩個反應方程式，並標出每一步的解離常數。
2. 在酸性環境下，碳酸的哪一個解離反應更顯著？為什麼？

題目 5：酸雨對緩衝溶液的影響實驗設計 設計一個簡單的實驗來測試酸雨對含有緩衝溶液的水體 pH 變化的影響。你會使用哪些材料，並如何進行實驗？

教師操作方向及評量參考

題目 1：了解二氧化碳對酸雨的貢獻及酸雨對環境的影響。

題目 2：利用亨利定律計算二氧化碳的溶解度，並討論溫度的影響。

題目 3：理解緩衝溶液的原理及其在水體中的作用，尤其是對抗酸雨的影響。

題目 4：探討碳酸的解離行為，並掌握碳酸的解離常數對水體酸鹼平衡的影響。

題目 5：讓學生設計實驗，進行探究式學習，測試酸雨對緩衝溶液的影響。

每組組員工作設定：

1. 以組員間共同討論為基準
2. 以同組組員共同決定之分享為依準



【地球，請聽我說話】



一封寫給地球的信，是我們共同的承諾，也是環境行動的記錄

親愛的地球：

這些年來，謝謝妳承受我們的無數變化。

我們知道，妳的氣候在發燒、妳的冰川在融化、妳的呼吸越來越困難——我們聽見了，也在行動。

我們啟動了《氣候變遷因應法》，立下 2050 年淨零排放的目標

我們開徵碳費，依據合理原則負擔環境成本，共同為淨零目標努力

我們推動淨零綠領人才培育，培養更多為環境努力的減碳尖兵

我們輔導產業轉型、推動低碳永續家園

我們推行資源循環、減塑政策，讓廢棄物變成永續資源

這些努力，也許還不夠快、不夠多，但我們從未停下腳步。

我們正在改變，也希望讓更多人和我們一起改變。



請再多給我們一些時間，

我們會努力讓妳呼吸順暢、讓妳的四季分明，讓下一代依然能擁有妳溫柔的模樣。

今天，讓我們一起祝妳 生日快樂~!

Love,

學生自己的名字

學習單主題：探索碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 技術與淨零排放目標

一、與碳有關的易混淆名詞理解

1. 請根據下列定義，填寫對應的名詞：

- 碳中和：指的是透過各種手段(如植樹造林、發展碳捕獲技術等)，使得大氣中的二氧化碳排放量和吸收量達到平衡，實現「零排放」。
- 碳交易：是一種市場機制，企業或國家可以通過購買或出售碳配額來達到減少碳排放的目的。
- 碳稅：對碳排放徵收的稅收，旨在激勵企業減少二氧化碳的排放。
- 碳關稅：對進口產品的碳排放徵收的稅收，主要用來防止因為低碳排放標準而損害國內產業的競爭力。

2. 填空題：

- 碳中和的實現，通常需要結合 _____ 以及 _____ 等多種手段。
 - 碳交易市場的運作原理是 _____ 企業通過買賣碳配額來實現碳排放的減少。
-

二、全球降低碳排放的必要性

1. 解釋全球變暖的原因：

- 隨著化石燃料的大量開採及工業革命，二氧化碳的排放顯著增加。二氧化碳在大氣中的積累造成了溫室效應，進而導致氣候變遷。

2. 台灣的碳排放情況：

- 台灣的總二氧化碳排放量為 _____ 百萬公噸，占全球排放的 _____ %。
- 台灣的碳排放密度為 _____ kgCO₂/美元，全球排名 _____。

3. 討論題：

- 台灣與其他國家的碳排放差異反映出哪些經濟及產業特徵？
 - 如何利用現代技術改善台灣的碳排放情況？
-

三、碳捕獲、利用與封存 (CCUS) 技術

1. CCUS 定義與步驟：

- 請簡述 CCUS 技術的三個主要階段：碳捕獲、碳利用、碳封存。

碳捕獲：

- 碳捕獲技術包括哪些方法？例如 _____、_____ 及 _____。

碳利用：

- 碳利用階段的目的是將捕獲的二氧化碳轉化為有價值的產品，請列舉兩種常見的二氧化碳利用方式：

▪

1. _____

▪

2. _____

碳封存：

- 碳封存的常見方法有哪些？請列出三種：

1. _____

2. _____

3. _____

2. 案例學習：

- 請選擇以下其中一個國家的 CCUS 計畫，簡要介紹其內容：

- 挪威 Sleipner CCS
- 加拿大 Boundary Dam
- 美國 Petro Nova 發電廠

四、台灣的碳捕獲與轉化技術

1. 簡答題：

- 台灣有哪些企業或機構在進行碳捕獲與轉化技術的研究或應用？請簡單介紹一個例子。

2. 表格填充：

- 根據所提供的資料，填寫下表的空缺：

產品技術	公司	CO2 消耗量(ton/年)	產製狀況
微藻養殖	台泥	8,000	Pilot Run (1 ton/hr)
乙烯碳酸酯	東聯化工	30,000	Mass Production (60k/year)
聚碳酸酯	奇美樹脂	140,000	Mass Production (140k/year)
醋酸	長春石化	150,000	Mass Production (600k/year)

五、淨零排放的實現

1. 選擇題：

- 下列哪一項不是實現淨零排放的策略？
- A) 部署再生能源
- B) 提高能源效率
- C) 增加碳排放
- D) 使用可持續交通方式

2. 討論題：

- 在日常生活中，你可以如何幫助達成淨零排放的目標？請列出三項行動。
-

六、總結與反思

1. 簡答題：

- 根據今天所學的內容，碳捕獲、利用與封存 (CCUS) 技術對於應對氣候變遷及實現淨零排放有何重要意義？

2. 小組討論：

- 如果你是政府官員，你會如何推動碳捕獲技術在台灣的应用？請討論可能的政策與支持措施。
-

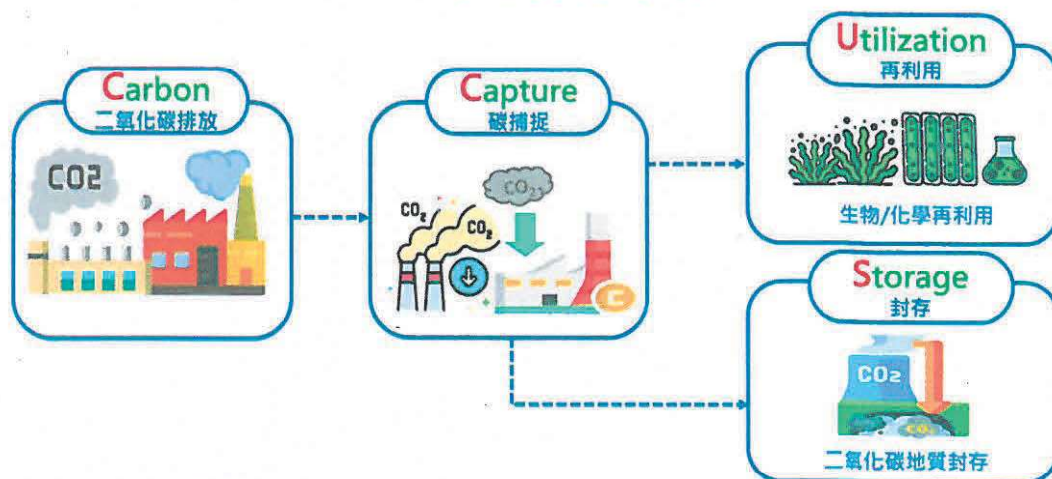
學習反思：

- 完成本學習單後，請回答以下問題：
 - 你認為 CCUS 技術是否能夠有效減緩氣候變遷？為什麼？
 - 如何將學到的知識應用到實際生活中來促進環境保護？

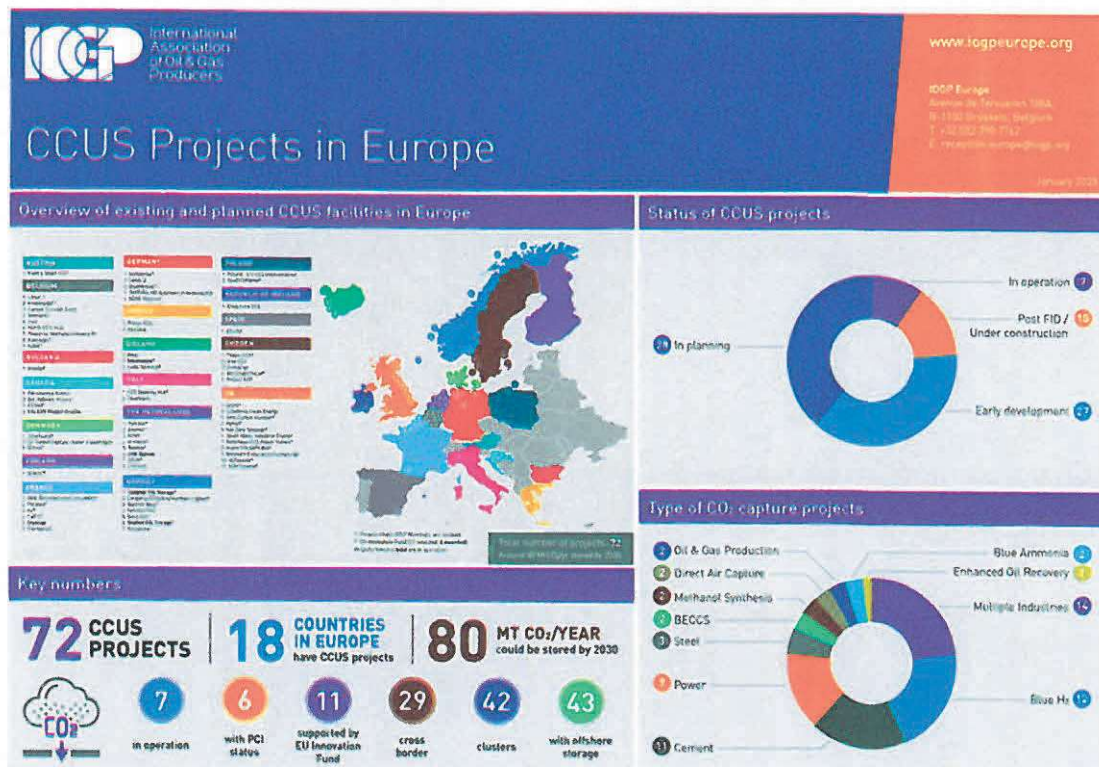
說明：這份學習單的設計旨在讓學生了解碳捕獲、利用與封存（CCUS）技術的基本概念及其在全球減碳目標中的角色，並鼓勵學生反思如何在日常生活中實現淨零排放目標。

補充資料：

CCUS是什麼呢？



CCUS 在歐洲



情境背景簡介（教師唸讀）

2028 年，台灣政府為達成 2050 淨零碳排，決定在 X 縣海岸 A 區進行海底碳封存試驗。地層測試顯示 A 區具備良好封存條件，但鄰近藻礁、漁場與居民區。政府邀請地方居民(組員 1)、企業(組員 2)、學者(組員 3)、公民團體(組員 4)與學生代表參與說明會，討論是否應推動此計畫。

角色設定（分組由教師給予）

公聽會流程設計（建議 90 分鐘）

1. 開場簡報（由教師扮演主持人，5 分鐘）

說明情境、目標、每組發言次序

2. 各組立場發言（每組 3 分鐘）

可使用學生預寫的「立場聲明書」

3. 自由問答時間（15~20 分鐘）

各組可向他組提出質疑或回應

4. 共識工作坊（15 分鐘）

每組提出兩個可接受的妥協方案（例如監測公開平台、教育基金、在地回饋條款）

5. 高中生評論（發言，5 分鐘）

說明學生的觀察、關注與建議

6. 總結（教師主持，5 分鐘）

（教師必需回顧對話價值、爭議與學習重點）

二、教師教學及評量建議

【教學目標】

1. 學生理解碳封存技術原理與科學風險
2. 透過案例學習分析技術與社會互動的複雜性
3. 體驗多方利益協商與公民參與決策的模擬過程

【學習評量建議】

事前：科學與政策概念測驗（形成性評量）
進行中：角色參與觀察表（合作與表達能力）
事後：反思單與提案單（思辨與創意能力）

【教師主持公民議題時建議】

- (A)教師提問什麼是公民行動？
(B)公民行動對於社會改革的重要性有哪些。
(C)身為一位公民該如何落實公民行動。

建議其他活動範本（教師可以依據學生特質做選擇）

二、發展活動

情境設定：臨海的港口社區擁有豐富的海洋資源。當地居民主要依賴漁業維生，並以此維護生態環境。然而，愛心鋼鐵公司計畫在該區進行海底地質勘查，以研究是否適合進行二氧化碳的碳封存工程。此工程旨在減少大氣中的二氧化碳，但居民擔心這可能會破壞地層，導致地震、海洋生態系統受損，甚至二氧化碳封存不良外泄的風險。

問題分析與討論：

題目 1：公共政策的利益衝突分析

1. 試分析愛心鋼鐵公司的碳封存計畫中，涉及的不同利益團體有哪些？這些利益團體各自的立場和需求是什麼？（提示：考慮政府、企業、社區居民、環保團體等）
2. 你認為政府在這種情境下應該扮演什麼角色？如何在保護海洋資源與促進減碳政策之間取得平衡？

題目 2：企業社會責任與環境保護

1. 根據你的理解，愛心鋼鐵公司在這個計畫中應如何履行企業的社會責任？他們應該如何回應居民的擔憂？
2. 除了碳封存，企業還有什麼其他方法可以減少對環境的影響？試提出兩種可行的替代方案。

題目 3：公民參與與決策過程

1. 如果你是港口社區的居民，為了表達對這項計畫的擔憂，你會如何參與政策討論或決策過程？試列舉三種可行的公民參與方式。
2. 公民參與是否有助於促進更公正的決策過程？為什麼？

題目 4：環境保護與經濟發展之間的抉擇

1. 請列出此計畫對經濟發展與環境保護各自可能帶來的正面與負面影響。
2. 你認為在這樣的情況下，經濟發展和環境保護哪一方應該優先考量？為什麼？

題目 5：建議與解決方案

1. 假設你是政府的环境顧問，如何提出一個平衡各方利益的建議，以解決此爭議？考慮技術、政策、社會影響等因素。
2. 試設計一個能夠促進居民、企業與政府之間溝通合作的計畫，減少衝突，推動可持續發展。

每組需回答以下問題並設計行動計劃：

- (A)行動目標：你們希望達到的具體目標是什麼？（例如：要求政府進行更詳細的環境影響評估、促使公司暫停該計劃、或者要求改善封存技術等）
- (B)行動形式：你們將如何實現這個目標？（如：組織集會、發起請願、向當地政府提出意見等）
- (C)行動計劃的時間表：這些行動會如何分階段實施？
- (D)預期影響：你們希望這些行動達到哪些結果？（例如：提高社區對碳封存計劃風險的認識，迫使政府進行更多環境保護措施等）

這個學習單旨在促進學生對複雜社會問題的理解與反思，並提升他們作為未來公民參與公共事務的能力。

第四部分：總結與行動呼籲（10 分鐘）

- (A)教師提問學生：今天學到的公民行動對你們來說有什麼啟發？你們是否認為自己能成為積極的公民來參與環境問題的討論和決策過程？
- (B)強調每個人都可以發揮作用，通過理性與有效的行動，推動社會變革。

行動呼籲

- (A)鼓勵學生將今天學到的知識付諸實踐，積極參與他們所關心的環境或社會議題。
- (B)提醒學生，作為負責任的公民，無論是環境保護、社會公義，還是政治決策，公民行動都是重要的一環。

附件 8. 單元六：從台灣到世界，CCUS 的百年好合

國外實例：CCUS 技術實例介紹

(A)ExxonMobil (美國德州)	案例：美國石油公司埃克森美孚(ExxonMobil)全力推進排碳計劃，該公司簽署了規模最大的商業性碳捕捉和封存協議，目標是每年封存高達 200 萬公噸的二氧化碳，相當於 70 萬輛汽車排放量。			
成功之處	獲得社區和州政府的支 持。	企業的 CCUS 先進技術。		
困難之處	先進 CCUS 技 術的成本較 為高昂。	部分社區居 民對環境影 響存有疑 慮。	相關法規的 限制。	
(B)Shell (荷 蘭)：Portos CCUS 項目	案例：Shell 在鹿特丹港與當地工業園區及政府合作，進行二氧化碳捕獲與儲存，將二氧化碳儲存在北海下的空氣田中，投資額為 13 億歐元，預計將於 2026 年完成桿計 畫。			
成功之處	(A)多方協 作。	(B)政府支 持。		
困難之處	相關 CCUS 基 礎設施建設 成本過高。	設施長期的 維護挑戰。		
(C)Equinor (挪 威)：	案例：北極光計畫為挪威政府與 Equinor 公司，在北海推動碳儲存項目，把在歐洲工廠煙囪捕捉到的二氧化碳，注入海底的地下儲集層，這座設施設有 12 個儲存槽，這將是全球首個提供二氧化碳運輸和儲存的商業服務，避免碳排進入大氣，從而協助減緩氣候變遷。			
成功之處	技術創新	政府資助		
困難之處	跨國之間合 作難度	法律協調困 難		

(D) TotalEnergies (法國)		案例：法商能源巨頭 TotalEnergies 在歐洲多國展開 CCUS 計畫，參與挪威北海「Luna」計畫 40%，積極擴張其海底碳封存量能，並以 2030 年前實現每年儲存 1 千萬噸工業二氧化碳為目標。		
成功之處	跨國合作	資金充裕		
困難之處	法規及政策 協調不易	當地居民的 接受度低		

國內實例：CCUS 技術實例介紹

(A) 台灣中油		案例：配合臺灣 2050 淨零排放路徑圖，國內推動淨零轉型除加大再生能源布局，也積極以零碳發電為導向，致力於擴大石化業二氧化碳回收利用，中油與地方政府合作，在台南進行碳捕獲與再利用項目。		
成功之處	政府支持	企業技術發展		
困難之處	當地社區對 新技術的接 受度有限			
(B) 台電西門子、三菱、IHI、GE 之 CCUS 計畫		案例：台電進行燃氣機組之碳捕捉、利用與封存技術，並與西門子、三菱、IHI、GE 等國際大廠簽署合作備忘錄，推動二氧化碳捕獲與存儲		
成功之處	技術創新	政府補助。		
困難之處	社區宣傳不足	成本控制困難		
(C) 台塑企業		案例：台塑企業在雲林麥寮、高雄仁武廠區，因石化製程需		

	有足夠且穩定的蒸汽及電力，自設汽電共生廠，因此碳排放大，為加速以碳捕捉（CCS）技術研發，於麥寮及仁武廠區設置碳捕捉試驗工廠			
成功之處	雲林麥寮廠區利用 30%wt 醇胺吸收液煙道氣內 CO ₂ (約 14%)，通過超重力旋轉床，每日可捕獲 CO ₂ 為 1 噸、高雄仁武廠區以羧酸鹽類捕獲煙道氣內 CO ₂ (約 11~15%)，每日可捕獲 CO ₂ 為 0.1 噸			
困難之處	經試驗後，碳捕捉捕捉量小、成本高及額外增加碳排放等問題需克服，另碳封存也處於封存場址探勘與可行性研究，也會影響民生，需要政府協助制訂相關法規、及社會接受度等問題。			
(D)中鋼公司	案例：中鋼在高雄工業區與地方政府及學術機構合作，2022 年完成建置「鋼化聯產先導線」(可減碳 4,900 噸/年)，並與工研院合作建立包含：甲烷、甲醇等綠色化學品之產製技術，及完成鋼化聯產技術可行性驗證。			
成功之處	企業與學術界的合作	加速技術研發		
困難之處	高成本投入	技術成熟度有限		