

中小學氣候變遷教學模組細部設計

一、中小學氣候變遷教學模組名稱：

碳向未來：科學事實、解方與新希望

二、模組摘要：(請就模組主題與設計提供300字以內的摘要說明)

本模組由「數據佐證的科學事實」、「不嘆息的新契機」、「面向未來的碳經濟」三部分組成，帶領學生以科學、社會以及經濟三面向學習氣候變遷。

科學部分重點在溫室效應及碳循環的概念釐清，利用視覺化數據資料帶領學生理解氣候變遷現況、氣候模型預測、和人類世的影響。社會面向聚焦在碳交易與碳匯的認識，透過資訊類比及模擬市場，引導學生思考達成淨零目標的運作與經濟挑戰。經濟向度進一步讓減碳行動由被動至主動，從碳封存討論到未來職業可能性。

課程設計除了結合線上密室解謎、分站遊戲、實作模擬以及繪畫創作等多元學習模式，更透過「導學-自學-共學-互學」的過程，培養學生自主學習與合作與合作意識。

三、模組內容與氣候變遷和永續發展的關係：(請提供300字以內的摘要說明，若能以系統圖輔助表達更好)

本模組設計對齊永續發展的環境、社會與經濟三面向。

模組從科學事實出發，帶領學生了解氣候變遷的成因、現況、衝擊與科學預測，也探討衝擊下的調適與減緩措施。第二單元課程重點為氣候變遷事實下的社會運行，延伸出人類面對挑戰時的因應目標與共識，討論碳交易與碳匯，以及這些模式運作如何協助各國家達到淨零目標。第三單元以經濟面為切入點，認識更積極的極碳捕捉技術，市場機制如何推動企業追求負碳技術的發展，也放眼未來，了解新興產業的可能性。

有別於以往著重氣候變遷科學相關知識的教案設計，本模組嘗試聚焦在因應氣候變遷而發展出的各種社會運作及未來展望，期許學生在課程結束後，對未來抱有希望感，而不是在衝擊與時間倒數中感到絕望。

環境

數據佐證的
科學事實

溫室效應與
碳循環

危機與生機

社會

不嘆息的
新契機

買碳賣碳，
一碳究竟

碳匯會不會？

經濟

面向未來的
碳經濟

二氧化碳
你回來～

碳經濟的未
來

數據佐證的科學事實

說明

設計者	沈彥甫、陸安	融入領域 連結議題課程	自然領域、社會領域、環境教育、國際教育、能源教育
建議教學時間	80分鐘(2節課)		
總綱核心素養	A2 系統思考與解決問題 C1 道德實踐與公民意識 C3 多元文化與國際理解		
領綱核心素養	自-E-C3 透過環境相關議題的學習，能了解全球自然環境的現況與特性及其背後之文化差異。 社-E-A2 敏覺居住地方的社會、自然與人文環境的變遷，關注生活問題及其影響，並思考解決方法。		
學習重點	學習表現	tc-III-1 能就所蒐集的數據或資料，進行簡單的記錄與分類，並依據習得的知識，思考資料的正確性及辨別他人資訊與事實的差異。 po-III-1 能從學習活動、日常經驗及科技運用、自然環境、書刊及網路媒體等察覺問題。 ai-III-3 參與合作學習並與同儕有良好的互動經驗，享受學習科學的樂趣。 ah-III-1 利用科學知識理解日常生活觀察到的現象。	
	議題	學習主題	環境教育-永續發展、氣候變遷、能源資源永續利用 能源教育-能源意識、能源概念、行動參與
		實質內涵	環 E4 覺知經濟發展與工業發展對環境的衝擊。 環 E5 覺知人類的生活型態對其他生物與生態系的衝擊。 環 E10 覺知人類的行為是導致氣候變遷的原因。 環 E14 覺知人類生存與發展需要利用能源及資源，學習在生活中直接利用自然能源或自然形式的物質。 環 E16 了解物質循環與資源回收利用的原理。
SDG	SDG 13 氣候行動：採取緊急行動，以對抗氣候變遷與其衝擊。 SDG 14 保育海洋生態：保育及永續利用海洋生態系，以確保生物多樣性並防止海洋環境劣化 SDG 15 保育陸域生態：保育及永續利用陸域生態系，確保生物多樣性並防止土地劣化 SDG 17 多元夥伴關係：建立多元夥伴關係，協力促進永續願景		
氣候變遷教育學習目標	1. 透過課程，了解溫室效應的概念。 2. 透過課程，了解加劇溫室效應的因素。 3. 透過課程與實作，了解碳循環概念。 4. 透過課程與實作，了解人類活動影響碳循環平衡。		

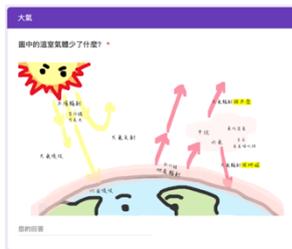
學習活動	教學時間	教學資源	教學評量
<p style="text-align: center;">第一節課開始</p> <p>第一節課 溫室效應與碳循環</p> <p>零、課前準備：</p> <p>一、上課物品</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 教師準備：溫室效應密室解謎表單、圖畫紙、平板、教學圖卡 2. 學生準備：平板、筆記本 <p>二、學生先備經驗：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 學生已有自行上網查詢資料(以關鍵字搜尋)的能力。 2. 學生能辨別天氣、氣候的不同。 3. 學生已有基本圖表判讀技巧(長條圖、折線圖、圓餅圖)。 4. 學生已知氣候變遷基本知識。 <p>壹、引起動機：</p> <p>一、畫出變化(你畫我猜)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 教師請學生畫出指定課程相關圖像(30~60秒完成一張圖片) <p>如：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 氣候變遷 (2) 溫室效應 (3) 全球暖化 (4) 二氧化碳 (5) 光合作用 (6) 節能減碳 (7) 永續發展 <ol style="list-style-type: none"> 2. 教師請學生將自己的畫作依關鍵字張貼在黑板上，並且請學生欣賞與分享。 	5 min	圖畫紙、授課簡報	實作評量 課堂參與度
<p>貳、發展活動：</p> <p>一、溫室效應是什麼(自主學習與線上密室解謎)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 教師依照學生人數分成小組，每組3~4人。 2. 每組派一人登入 google 帳號進行密室逃脫遊戲，其餘同學為智囊團，負責找答案。 3. 教師將線上密室解謎「溫室效應是什麼」連結傳給學生。 <p>https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScFHp4V-FXpw-rnPdbbFg1wLa1NTolgNphE0B8HvP-28Zze8w/viewform</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 學生進行「溫室效應是什麼」密室逃脫遊戲： <ol style="list-style-type: none"> (1) 一開始學生可以選擇探索太陽、大氣、或是地球。 	10 min	線上解謎表單	實作評量



(2) 教師鼓勵學生利用平板在網路上找到答案 (主動學習), 並且完成學習單。

(3) 密室解謎問題:

- i. 太陽的陽光是以什麼形式來到地球? (可見光和紫外線)
- ii. 太陽光照射到地球, 使地表變溫暖, 請問能量的轉換形式為 (光能轉換為熱能)
- iii. 地球變溫暖了, 然後以什麼樣的形式將熱再次輻射給大氣? (紅外線)
- iv. 圖中的溫室氣體少了什麼? (二氧化碳)



v. 所以這張圖告訴我們什麼概念 (溫室效應)



5. 教師鼓勵先完成解謎的小組, 並且請已完成的小組協助設計後續的解謎題目。

二、碳循環與平衡

1. 提問:

(1) 生活中哪裡有「碳」? (鼓勵學生集思廣益 (brainstorming), 想到最多的和碳有關的名詞)

學生擬答: 二氧化碳、碳水化合物、木炭、一氧化碳、碳酸飲料、節能減碳……

(2) 節能減「碳」, 減的是什麼「碳」? 為什麼要減碳?

-學生擬答:

a. 二氧化碳, 因為二氧化碳是溫室氣體之一。

b. 碳排放, 因為碳排放造成溫室效應

5 min

授課簡報

口頭評量

<p>→ 教師小結：碳是一種化學元素，地球上所有的生物都含有碳，包括你我。就像所有元素一樣，碳不會憑空出現，也不會突然消失。一切都是轉換與循環來的。</p> <p>2. 偵「碳」</p> <p>教師出示碳循環圖，並詢問：</p> <p>(1) 碳在哪裡？</p> <p>(2) 教師解釋，碳不同的形式存在在海洋、岩石、大氣、以及不同的生物間，並且持續循環。其中以存在在岩石與海洋中的碳最多，其次為生物，佔比例最小的部分為大氣。</p> <p>(3) 碳循環的路徑：</p> <p>-火山作用與風化作用</p> <p>-陸地與大氣間的交換</p> <p>-海洋與大氣之間的交換</p>	5 min	授課簡報	口頭評量
<p>3. 碳循環模擬遊戲</p> <p>(1) 教師給予學生一人一骰子</p> <p>(2) 教師在教室中佈置七個角落，分別為大氣、深層海洋、表層海洋、化石、植物、動物、土壤</p> <p>(3) 教師請學生一律從大氣開始投擲，依照投擲出的數字^{*2}來到指定角落。</p> <p>(4) 遊戲持續五分鐘，教師暫停請學生紀錄每個站點的人數</p> <p>(5) 教師宣布工業革命來臨，請2/3 化石區、1/4 植物區、1/4 岩石區的學生來到大氣區。</p> <p>(6) 請學生紀錄各站人數</p> <p>(7) 教師帶領討論遊戲結果</p>	10 min	授課簡報 教學圖卡	實作評量 口頭評量
<p>參、綜合活動：</p> <p>一、嘆息或是讚嘆？</p> <p>1. 教師帶領學生再次閱讀課堂一開始大家的畫作，並且歸類各畫作對這些名詞的看法偏樂觀或是悲觀</p> <p>2. 教師解釋個種氣候變遷名詞，並且提出觀點：最重要的，是維持平衡。</p> <p>3. 學生筆記時間</p> <p style="text-align: center;">第一節課完 第二節課開始</p> <p>第二節課：危機與生機</p> <p>零、課前準備：</p> <p>一、上課物品：</p> <p>1. 教師準備：上課講義、授課簡報</p> <p>2. 學生準備：筆記本、筆、</p> <p>二、學生先備經驗</p> <p>1. 學生了解溫室效應基本知識</p> <p>2. 學生已知二氧化碳為溫室氣體之一</p>	5 min	授課簡報	口頭評量

3. 學生具有基本的讀圖能力（折線圖、直方圖、長條圖、圓餅圖）

壹、引起動機

一、氣候變遷的影響

1. 教師請學生在5分鐘內腦力激盪，在黑（白）板寫出最多氣候變遷的影響的小組獲勝。

學生擬答：海平面上升、冰山融化、極端天氣現象、北極熊沒有家、洪水、乾旱……

教師同時在黑（白）板上寫下：新興行業的出現、國際共識、收入增加、收入減少、海水變酸、可以農耕的面積變多、國家戰爭……等答案加入學生的答案中。

2. 教師帶領學生瀏覽黑（白）板上的答案，並且請學生思考自是是否同意以上觀點。並且將自己不熟悉的氣候變遷後果紀錄在筆記本中。

貳、發展活動

一、氣候科學家與氣候模型

1. 氣候科學家與他的模型

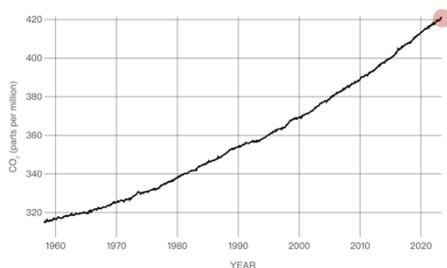
(1) 教師出示下列圖表與模型，並請學生推理與配對，並且詢問：

-請利用你看得懂的資訊，將圖表與標題配對。

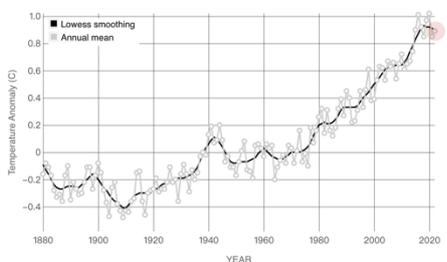
-這些圖是否有關聯？

-如果有，有什麼關係？

-如果要為這些圖排序，你會怎麼排？



平均二氧化碳濃度



全球平均溫度

5 min

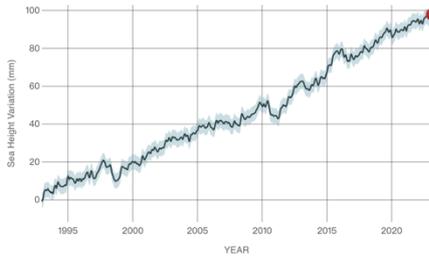
授課簡報

實作評量
參與度評量

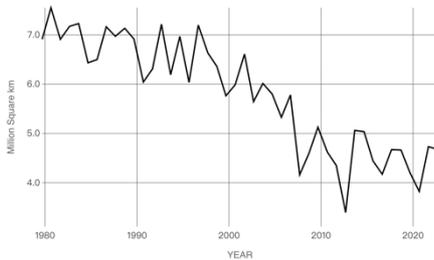
15 min

授課簡報

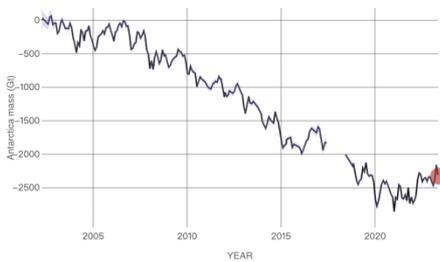
口頭評量



海平面高度



北極海冰最小範圍



南極陸冰總量



不同政策之下的溫度變化模型

(2) 教師介紹氣候模型與氣候科學家的工作

-氣候模型是科學家根據各種氣候資料計算出來的模擬，雖然沒有一種模型可以百分之百預測未來，但是這樣的模型卻可以幫助決策者決定接下來的政策該如何制定。

二、結果與原因 (自主學習)

(1) 教師將氣候變遷影響寫在紙上並分配各組學生 (一組一個)，並且請學生上網搜尋並且回答下列問題

- 是否贊成是氣候變遷造成此後果?
- 身為人類，可以怎麼應對?
- 身為動物，該怎麼面對?

陳述 (可從下列選取):

- 海水變酸
- 收入增加

15 min

授課簡報
平板 (筆
電)

口頭評量
實作評量
參與度評
量

<p>-洪水與乾旱 -國家戰爭 -物種消失 -耕地面積增加 -開發新航道 -新病毒崛起</p> <p>(2) 請學生在分享時，引用至少一張科學數據圖。</p> <p>(3) 小組分享 *依學生程度決定是否給予口頭發表模板： 如：因為以下____點原因，我們這組認為氣候變遷造成____（國家戰爭）是可能的。 首先，從科學家的數據資料，我們看到近年來北極海冰融化的事實。北邊的國家可能會為了爭奪原本沒有價值的北極領土而引發戰爭……</p> <p>(4) 教師小結： -氣候變遷帶來的影響大部分都是間接影響，如連鎖反應。 -氣候變遷難以在段時間內停止。</p> <p>參、綜合活動 一、危機與生機</p> <ol style="list-style-type: none"> 人類是唯一可以執行氣候變遷減緩行動的動物。 人類世的意義。 <p>第二節課結束</p>	5 min	授課簡報	口頭評量
<p>參考資料</p>	<p>ClimateScience https://climatescience.org/zhTW Scientific Consensus: Earth's Climate Is Warming https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/ Science on a Sphere https://sos.noaa.gov/ Climate Kids https://climatekids.nasa.gov/ How Do Carbon Emissions Affect the Environment? https://www.greenmatters.com/p/how-do-carbon-emissions-affect-environment#:~:text=The%20amount%20of%20carbon%20emissions,side%20effects%20that%20are%20dangerous 循環經濟：循環低碳材料新發展 https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=df768058-ff0e-4a4e-92f2-62b3aa6be654 暖化的科學（四）：失控的碳循環？ https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=466fc18a-91ca-4d93-8187-111f286a9595</p>		

*1 學習單

班級： 姓名：

溫室效應是什麼？

一、請完成下面的溫室效應示意圖



二、回答問題

1. 太陽要如何使地球變溫暖？
2. 溫室效應和氣候變遷有什麼關係？

三、請小組討論後，在下列敘述下寫上自己的觀點：

1. 你是否同意「氣候變遷是不平等的」
2. 你是否同意「要減緩氣候變遷很花錢」
3. 你是否同意「人類要對目前的氣候變遷負起責任」

*2 擲骰數值表

大氣

數值	動作
1	碳與氧結合成二氧化碳，持續留在大氣圈
2	碳與氧結合成二氧化碳，持續留在大氣圈
3	碳與氧結合成二氧化碳，持續留在大氣圈
4	成為光合作用的原料，移動至「植物」
5	成為光合作用的原料，移動至「植物」
6	成為光合作用的原料，移動至「表層海洋」

植物

骰子數值	動作
1	以碳水化合物的形式，作為植物養份，持續留在植物
2	以碳水化合物的形式，作為植物養份，持續留在植物
3	以碳水化合物的形式，作為植物養份，持續留在植物
4	以碳元素的形式，存在木材中，持續留在植物
5	植物的樹葉等有機物掉在土壤上，並被微生物分解。移動至「岩石與土壤」
6	以碳水化合物的形式，成為動物的食物。移動至「動物」

岩石與土壤

骰子數值	動作
1	以碳酸鹽的形式，持續留在岩石與土壤
2	以碳酸鹽的形式，持續留在岩石與土壤
3	以碳酸鹽的形式，持續留在岩石與土壤
4	經過風化作用，以碳酸的形式被沖刷至「表層海洋」
5	經過風化作用，以二氧化碳的形式移動至「大氣圈」
6	因為高溫高壓，以碳氫化合物的形式形成化石。移動至「化石」

化石

骰子數值	動作
1	持續留在化石
2	持續留在化石
3	持續留在化石
4	持續留在化石
5	人類燃燒化石燃料，以二氧化碳的形式移動至「大氣圈」
6	人類燃燒化石燃料，以二氧化碳的形式移動至「大氣圈」

動物

骰子數值	動作
1	作為動物的養分與能量來源，以碳水化合物的形式持續留在動物
2	成為掠食者的食物，成為其他動物的養分與能量來源。以碳水化合物的形式持續留在動物
3	動物屍體經由分解作用，移動至「土壤」
4	透過呼吸作用，以二氧化碳的形式移動至「大氣圈」
5	透過呼吸作用，以二氧化碳的形式移動至「大氣圈」
6	透過呼吸作用，以二氧化碳的形式移動至「大氣圈」

表層海洋

骰子數值	動作
1	以碳酸鈣的形式形成海洋動物的殼，持續留在表層海洋
2	以碳酸鹽的形式，持續留在表層海洋
3	海洋生物死亡後，屍體沉降至海洋底部。移動至「深層海洋」
4	以碳酸鈣形式沉降至海洋底部。移動至「深層海洋」
5	海洋動物的呼吸作用，以二氧化碳形式移動至「大氣圈」
6	由於空氣和海洋中的溫度、鹽度等差異，釋放到空氣中。移動至「大氣圈」

深層海洋

骰子數值	動作
1	持續留在深層海洋
2	持續留在深層海洋
3	因為海洋溫度、洋流等因素，移動至「表層海洋」
4	因為海洋溫度、洋流等因素，移動至「表層海洋」
5	因為海洋溫度、洋流等因素，移動至「表層海洋」
6	被海洋中的動物吸收，以碳酸鈣形式成為動物的殼。移動至「動物」

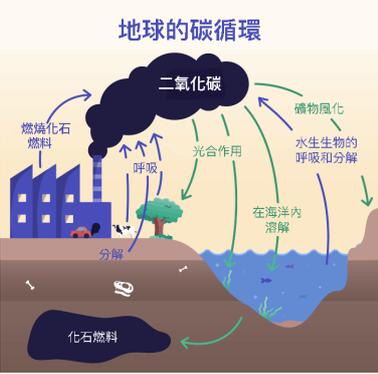
不嘆息的新契機

請使用以下表格撰寫

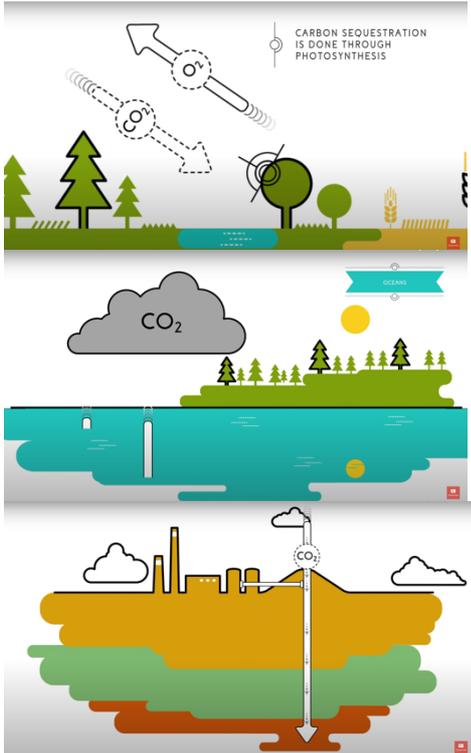
設計者	沈彥甫、陸安		融入領域 連結議題課程	自然領域、社會領域、環境教育、國際教育、能源教育	
建議教學時間	80分鐘(2節課)				
總綱核心素養	A2 系統思考與解決問題 C1 道德實踐與公民意識				
領綱核心素養	<p>自-E-C3 透過環境相關議題的學習，能了解全球自然環境的現況與特性及其背後之文化差異。</p> <p>自-E-A2 能運用好奇心及想像能力，從觀察、閱讀、思考所得的資訊或數據中，提出適合科學探究的問題或解釋資料，並能依據已知的科學知識、科學概念及探索科學的方法去想像可能發生的事情，以及理解科學事實會有不同的論點、證據或解釋方式。</p> <p>社-E-A2 敏覺居住地方的社會、自然與人文環境的變遷，關注生活問題及其影響，並思考解決方法。</p>				
學習重點	學習表現		<p>tc-III-1 能就所蒐集的數據或資料，進行簡單的記錄與分類，並依據習得的知識，思考資料的正確性及辨別他人資訊與事實的差異。</p> <p>po-III-1 能從學習活動、日常經驗及科技運用、自然環境、書刊及網路媒體等察覺問題。</p> <p>ah-III-1 透過科學探究活動解決一部分生活週遭的問題。</p>		
		議題	學習主題	<p>環境教育-永續發展、氣候變遷、能源資源永續利用</p> <p>能源教育-能源意識、能源概念、行動參與</p>	
			實質內涵	<p>環 E4 覺知經濟發展與工業發展對環境的衝擊。</p> <p>環 E5 覺知人類的生活型態對其他生物與生態系的衝擊。</p> <p>環 E10 覺知人類的行為是導致氣候變遷的原因。</p> <p>環 E14 覺知人類生存與發展需要利用能源及資源，學習在生活中直接利用自然能源或自然形式的物質。</p>	

		環 E16 了解物質循環與資源回收利用的原理。		
	SDG	SDG 8 合適的工作及經濟成長：促進包容且永續的經濟成長，讓每個人都有一份好工作 SDG 12 責任消費及生產：促進綠色經濟，確保永續消費及生產模式 SDG 13 氣候行動：完備減緩調適行動，以因應氣候變遷及其影響 SDG 16 和平、正義及健全制度：促進和平多元的社會，確保司法平等，建立具公信力且廣納民意的體系 SDG 17 多元夥伴關係：建立多元夥伴關係，協力促進永續願景		
氣候變遷教育學習目標	1.能透過資料蒐集與比對，了解碳權與碳交易。 2.透過實際操作與模擬，了解碳循環與自然為本的解方。 3.透過遊戲操作，了解現行碳匯形式與其效能比較。			
學習活動		教學時間	教學資源	教學評量
第一節課開始 第一節課：買碳賣碳，一「碳」究竟 零、課前準備： 一、上課物品： 1. 教師準備：上課簡報、詞卡 2. 學生準備：文具用品、筆記本 二、學生先備經驗： 1. 學生已有碳循環基本概念 2. 學生已知過度的溫室氣體排放會造成過度的暖化，進一步導致氣候變遷。 3. 學生有買東西的經驗。 壹、引起動機 一、買東西，賣東西 1. 教師提問，請學生發表意見。 什麼是買賣？什麼東西都可以買賣嗎？租車子、租房 子算不算買賣？沒有錢可不可以買賣東西？ 2. 教師提出案例，請學生回答這是用_____購買_____ _____ 如： -買菜→用錢和攤販購買青菜 -看電影→用錢和電影院購買看電影的權力 -租車子→用錢和店家購買使用車子的權力與時間 -補習→用錢和老師購買知識與學習引導 -剪頭髮→用錢和設計師購買他的技術與服務 3. 教師歸納：所有能夠買賣的東西都是有形的物品。 無形的東西（權力、時間、服務）也可以買賣。 貳、發展活動		5 min	教學簡報	口頭評量

<p>一、目標與共識</p> <p>1. 抑止暖化的共識：2015年 COP21後，巴黎協定成為全球應對氣候變遷的主要框架之一。巴黎協定確保全球溫度上升控制在2°C以下，並努力實現1.5°C的目標。</p> <p>2. 淨零 (Net Zero) 目標：指的是在將溫室氣體排放量減至極低水平，並不代表再也不排放溫室氣體，而是透過減排與吸收兩種手段，努力減少溫室氣體排放，也同時透過自然吸收和技術吸收來增加大氣中的溫室氣體的去除量。</p> <p>二、買碳？錯！買碳權</p> <p>1. 師情境模擬：</p> <p>在火鍋店 A 喝飲料無上限，火鍋店 B 則是有規定喝飲料的的上限，最多只能喝一杯，如果想要多喝，就要另外買；</p> <p>所以在火鍋店 A，客人可以無限制地喝很多飲料，但是在火鍋店 B 因為多喝飲料要錢，所以客人可能選擇不要多喝飲料，喝完自己的那份額度就好了。</p> <p>教師請學生將上述句子中的「飲料」替換成「二氧化碳」，「客人」替換為「企業」、「火鍋店 A」替換成「國家 A」，「火鍋店 B」替換為「國家 B」，「喝」替換成「排放」，「一杯」替換成「一單位」；然後再把句子唸一次。</p> <p>在國家 A 排放二氧化碳無上限，國家 B 則是有規定排放二氧化碳的上限，最多只能排放一單位，如果想要多排放，就要另外買；所以在國家 A，企業可以無限制地排放很多二氧化碳，但是在國家 B 因為多排放二氧化碳要錢，所以企業可能選擇不要多排放二氧化碳，排放完自己的那份額度就好了。</p> <p>2. 碳排放權 (Carbon Credit)</p> <p>教師定義：碳權基本上可以被視為排放一定量二氧化碳或其他溫室氣體的許可證。是一種為了要減少碳排放而制定的政策工具。這個權利是可以買賣的。</p>	15 min	詞卡 教學簡報	實作評量 口頭評量
<p>二、模擬碳交易：</p> <p>1. 學生分組，每組代表一虛擬國家，有不同的企業決策者 (組員)。每個國家有自己資金、工業產能和一定的碳排放配額 (教師隨機指定)。</p> <p>2. 各組組長將這些配額分配給組員。</p> <p>3. 每一輪遊戲中，每個組員都可以決定他們要如何運用他們的產能。他們可以選擇全力生產 (導致碳排放超過配額)，或者節約能源 (碳排放低於配額)。</p> <p>如果一個企業的碳排放超過了他們的配額，他們就需要去「碳市場」購買其他國家的碳排放權，使自己的碳排放不超過配額。如果一個國家的碳排放低於他們的配額，他們就可以在「碳市場」上銷售他們的碳排</p>	15 min	教學簡報	實作評量

<p>放權。</p> <p>4. 每輪遊戲以碳交易市場結尾，學生可以在市場買賣幾的排放配額。</p> <p>5. 有企業破產或是全體碳排放超過一定總額時遊戲結束（教師可依課程時間調整數值）</p> <p>參、綜合活動</p> <p>一、提問與思考：</p> <p>1. 碳權是擁有什麼「權」？</p> <p>2. 為什麼將碳定價可以控制碳排放量？</p> <p>3. 這樣的政策設計有什麼風險？</p> <p style="text-align: center;">第一節課完</p> <p style="text-align: center;">第二節課開始</p> <p>第二節課：淨零排放與碳匯</p> <p>零、課前準備：</p> <p>一、上課物品：</p> <p>1. 教師準備：鑷子、夾子、筷子、小糖果（或替代物品）數個</p> <p>2. 學生準備：文具</p> <p>二、學生先備經驗</p> <p>1. 學生了解過多的排放二氧化碳為造成氣候變遷的主要原因</p> <p>2. 了解碳循環的基本概念</p> <p>壹、引起動機</p> <p>一、概念複習：碳循環</p> <p>1. 教師出示碳循環圖並詢問：</p>	5 min	討論筆記	實作評量
 <p>1. 圖中有哪些方法會增加大氣中的二氧化碳？</p> <p>2. 圖中有哪些方法可以減少大氣中的二氧化碳？</p>	5 min	教學簡報	實作評量
<p>貳、發展活動</p> <p>一、行動，要怎麼做？</p> <p>1. 碳匯是什麼？碳匯是儲存二氧化碳的天然或人工「倉庫」，地球最會儲存二氧化碳的天然倉庫為森林、海洋、土壤。</p> <p>2. 學生思考，誰是綠碳、藍碳、黃碳。</p> <p>綠碳 森林中的碳倉庫</p> <p>藍碳 海洋中的碳倉庫</p>	10 min	教學簡報	口頭評量

黃碳 泥土中的碳倉庫



二、碳匯能力大拼比

1. 教師邀請學生分組，選擇要探索哪一種碳匯（綠碳、藍碳、黃碳）
2. 選定之後，依照碳匯類別得到碳封存的工具
綠碳：夾子
藍碳：筷子
黃碳：鑷子
3. 教師在桌面上放置許多小糖果（迷你咖啡糖）
4. 教師規定，在30秒內，各組別分別使用自己得到的工具去夾取糖果
5. 遊戲完成後教師帶領學生完成

碳匯能力分析表：

	綠碳	藍碳	黃碳
吸收 CO ₂ 位置			
吸收 CO ₂ 總量比較			
吸收 CO ₂ 速度比較			

參、綜合活動

一、自然碳匯與自然為本的解方：「人」的影響力

1. 發給學生一人一骰子
2. 教師出示下圖，並發給學生一人一骰子

15 min

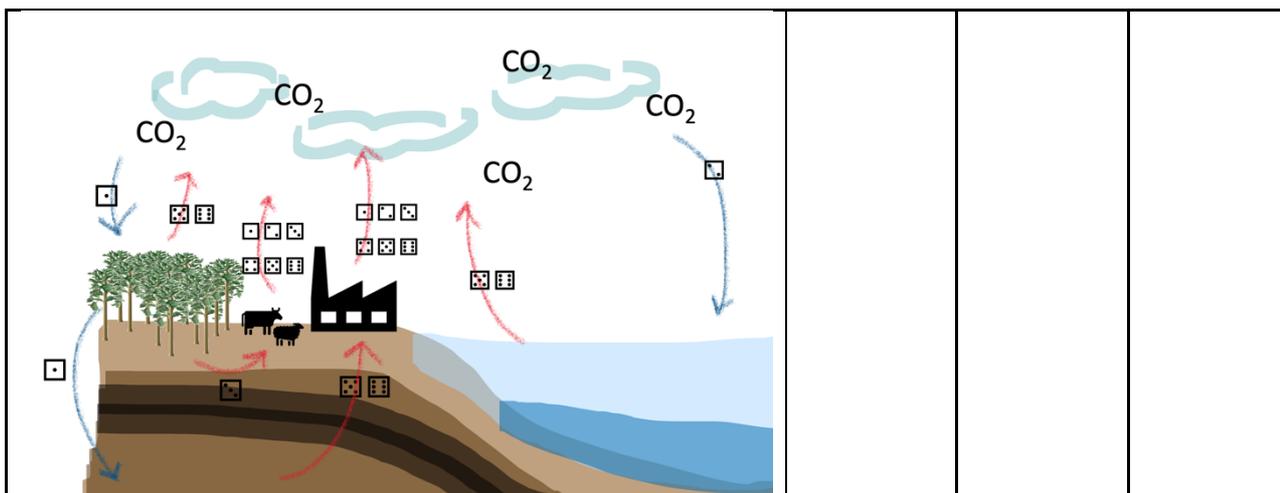
夾子、鑷子、筷子、小糖果

實作評量

10 min

學習單

實作評量



3. 學生由大氣開始擲骰子，擲到指定數字即依照指令進入該站。最快達到「停留在『森林』、『海洋』、『土壤』三輪」目標者獲勝。

4. 人的影響力：當學生付出代價（在遊戲中以開合跳30下為例），則可以在森林、海洋、或泥土階段多增加一骰子，兩顆骰子中，只要其中一顆骰子擲出指定數值即可（如：在森林的碳原本需要投擲出數值2、3、4才能停留在森林，但增加一骰子，只要其中一顆骰子擲到指定數值即可。）

教師小結：碳匯是依賴大自然的力量自己將大氣中過多的二氧化碳固定回森林、海洋、或是土壤中，但是這樣的過程需要時間，所以人類藉由投資不同的碳匯，例如透過增加森林面積，進一步期待森林碳匯可以更有效率的固碳。但除了這樣的方法，還有什麼辦法可以讓過多的二氧化碳回到該有的地方呢？

第二節課完

參考
資料

ClimateScience <https://climatescience.org/zhTW>

低成本又低碳產製的潔淨能源「粉紅氫」為何有人熱愛有人嫌？

<https://www.delta->

[foundation.org.tw/blogdetail/8392?fbclid=IwAR2xR1M0YnyEAlx14xxeVrkZtjsAZ8GMfUhraYThjbTEdDDYLX29wEwJ_3g](https://www.delta-foundation.org.tw/blogdetail/8392?fbclid=IwAR2xR1M0YnyEAlx14xxeVrkZtjsAZ8GMfUhraYThjbTEdDDYLX29wEwJ_3g)

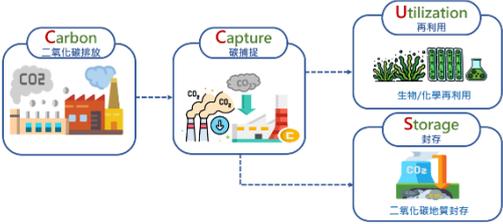
What is carbon sink_? <https://www.youtube.com/watch?v=0oW2PlvMpZs>

面向未來的碳經濟

設計者	沈彥甫、陸安		融入領域 連結議題課程	自然領域、社會領域、環境教育、國際教育、能源教育
建議教學時間	2節課，80分			
總綱核心素養	A2 系統思考與解決問題 A3 規劃執行與創新應變 C1 道德實踐與公民意識			
領綱核心素養	<p>自-E-B2 能了解科技及媒體的運用方式，並從學習活動、日常經驗及科技運用、自然環境、書刊及網路媒體等，察覺問題或獲得有助於探究的資訊。</p> <p>自-E-C3 透過環境相關議題的學習，能了解全球自然環境的現況與特性及其背後之文化差異。</p> <p>社-E-A2 敏覺居住地方的社會、自然與人文環境的變遷，關注生活問題及其影響，並思考解決方法。</p> <p>社-E-A3 探究人類生活相關議題，規劃學習計畫，並在執行過程中，因應情境變化，持續調整與創新。</p> <p>綜-E-A2 探索學習方法，培養思考能力與自律負責的態度，並透過體驗與實踐解決日常生活問題。</p>			
學習重點	學習表現	<p>tc-III-1 能就所蒐集的數據或資料，進行簡單的記錄與分類，並依據習得的知識，思考資料的正確性及辨別他人資訊與事實的差異。</p> <p>po-III-1 能從學習活動、日常經驗及科技運用、自然環境、書刊及網路媒體等察覺問題。</p> <p>ai-III-3 參與合作學習並與同儕有良好的互動經驗，享受學習科學的樂趣。</p> <p>ah-III-1 利用科學知識理解日常生活觀察到的現象。</p>		
	議題	學習主題	<p>環境教育-永續發展</p> <p>環境教育-氣候變遷</p> <p>國際教育-國際素養</p> <p>國際教育-全球責任感</p> <p>能源教育-能源概念</p> <p>能源教育-行動參與</p>	
	實質	<p>環E4 覺知經濟發展與工業發展對環境的衝擊。</p> <p>環E9 覺知氣候變遷會對生活、社會及環境造成衝擊。</p>		

	內涵	環E14 覺知人類生存與發展需要利用能源及資源，學習在生活中直接利用自然能源或自然形式的物質。 家E9 參與家庭消費行動，澄清金錢與物品的價值。 國E4 認識全球化與相關重要議題。
氣候變遷教育學習目標	SDG	目標7 可負擔的潔淨能源：確保所有人能夠取得可負擔的、可靠的、永續的現代能源。 目標9 產業創新與基礎設施：建設具有韌性的基礎設施，促進包容性和永續的工業化，推動創新。 目標12 負責任的消費與生產：確保永續的消費與生產型態。

學習活動	教學時間	教學資源	教學評量
<p>➤ 第一節課：二氧化碳你回來～</p> <p>[教師導學]</p> <p>目前國際間共同目標，朝向2050年達成淨零排放的目標，前面單元提到了碳的相關議題，</p>  <p>臺灣2050淨零轉型十二項關鍵戰略</p>  <p>對於目前已排放或難以削減的二氧化碳，選擇用碳匯來抵減，本單元則要來介紹更主動積極的作為-<u>碳的捕捉、利用與封存</u> (Carbon Capture, Utilization and Storage；簡稱CCUS)：</p> <p>根據統計，2020年台灣每人每年平均排放二氧化碳當量約為10.92 公噸／人。10公噸大約等於一台大卡車的重量，聽起來有點難理解。</p> <p>如果用樹木來換算，大約等於燒掉20棵大樟樹所固定的碳，這麼驚人的數字，是將全台灣工業、製造業排放量都一起平均，對於一般民眾來說，可能有點不公</p>	5分鐘	PPT 簡報	學習態度形成性評量

<p>平，不過不可否認，這樣的數字仍然很驚人。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 碳的捕捉、利用與封存(CCUS)是什麼？(圖片說明：<u>從發電廠或工業場所等，甚至直接從空氣中捕集二氧化碳，經轉化為化學產品或其他應用，或是儲存於地質結構中</u>) <p style="text-align: center;">CCUS是什麼呢?</p>  <p>溫室氣體中的二氧化碳，從不同的來源製造並排放到大氣中，既然排放到大氣中會對未來造成影響，那你會考慮做什麼事情來因應？</p>			
<p>[學生自學] 觀看影片並且完成學習單。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 冰島世界最大碳捕捉封存工廠將落成 估每年轉換4000噸二氧化碳 20210914 公視晚間新聞 https://www.youtube.com/watch?v=iAH9oAQ1SB0 ● 減碳成全球顯學! 澳洲"碳封存技術"先進 CO₂深埋地下2公里尋找理想地質 二氧化碳回收大有妙用 碳捕碳存成氣候暖化救星 【消失的國界】 20220627 三立新聞台 https://www.youtube.com/watch?v=U90Nxz61fH0 (學習單可用紙本呈現，或是改以平版電子檔作答) 	15分鐘	影片學習單或平版	實作評量 學習態度 活動參與
<p>[組內共學] 將已完成的學習單，進行組內意見交流與分享，統計以下兩個問題的答案有哪些，並討論每個人回答的差異之處。</p> <p>[影片中的碳捕捉技術，你認為真的有效果嗎？請說出你的理由。] [目前臺灣的現況，有可能推動碳捕捉政策嗎？]</p>	10分鐘	學習單或平版	口頭發表 學習態度 活動參與 實作評量

■ 國際示範計畫



加拿大Boundary Dam

2014年將CCS技術導入燃煤電廠，累計至2022年碳捕捉量已達4,370,715公噸，捕捉後的CO₂主要進行提高油氣生產(Enhanced Oil Recovery, EOR)及封存



日本苦小牧

2016年至2019年間向海床以下近1,000m和近2,400m的地下層注入CO₂，共注入30萬噸CO₂。

資料來源：經濟部 (2022)；IEA (2020)；IEA, CO₂ emissions；Global CCS Institute；國科會彙整。

7

[組間互學]

教師提問：為什麼進行碳捕捉，請各組提出一個最主要的理由，補充說明論點，並依照組別進行分享。
(以下可能論點，參考使用)

- 1.減少空氣中的二氧化碳
- 2.保護環境，還我乾淨地球
- 3.降低地球暖化的影響
- 4.成本太高
- 5.緩不濟急，沒什麼太大的效果
- 6.製造的速度比回收快太多
- 7.其他(請列舉非上面的5個因素)

CCUS技術推動待解決問題

碳捕捉

- 1) CO₂捕捉成本仍偏高(50~70美元/噸)，尚無法普及應用，且技術能效有待提升
- 2) 需透過逐級放大規模的驗證，以確認技術的可實施性。
- 3) 相關基礎設施尚未完備
- 4) 尚無封存場址，影響廠商提升捕捉規模意願

碳利用

- 1) 成本較高且缺少低反應溫度及高轉化效率之觸媒
- 2) 須開發CO₂轉換為碳氫化合物之觸媒技術，再製成高加價值石化等原料
- 3) 未來需搭配穩定氫氣來源，才可擴大CO₂利用規劃

碳封存

- 1) 場址環保、安全等議題
- 2) 欠缺碳封存法規與標準
- 3) 海域深部鹽水層之碳封存應用需地質探勘、海事工程及監測運維技術，本土能量尚待建立

資料來源：經濟部 (2022)，2050淨零排放路徑圖與行動策略，軌跡6-碳捕捉利用及封存；政府科技發展計畫(2018)，第二期能源國家型科技計畫中期報告彙整

10分鐘

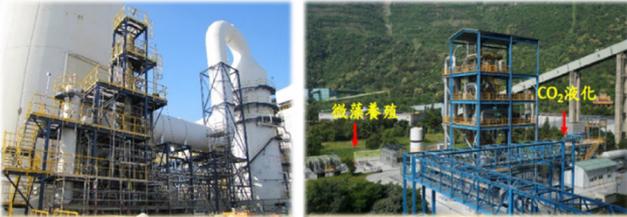
學習單或
平版

口頭發表
活動參與
實作評量

<p>[教師總結] 對報告的各組給予簡要的正向鼓勵與評價。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● COP26：冰島工廠將二氧化碳變成石頭 能否緩解全球暖化？—BBC News 中文 https://www.youtube.com/watch?v=4QjQ7jaQCas  <p>結語： 學習過往的知識，不一定能面對未來的問題；引用BBC News 的影片，說明新科技尚有很多討論的空間。</p>	5分鐘	影片	學習態度 形成性評 量
<p>➤ 活動二：碳經濟的未來。 [教師導學]</p>  <p>前一個單元，我們談到了將空氣中的二氧化碳捕捉下來，固定到地底下儲存，用意在於減少空氣中的二氧化碳，除了儲存，還有其他的可能用途嗎？比如說用</p>	5分鐘	PPT 簡報 口頭說明	學習態度 形成性評 量

來製造可樂或是汽水？

碳捕捉及利用示範



**台塑/成大合作高雄仁武
汽電共生廠**
CO₂捕捉量約30噸/年，以鎳基觸媒轉換CO₂成為甲烷，產量約10噸/年

台泥鈣迴路碳捕捉先導廠
與工研院合作建置捕捉3,000噸/年先導廠，規劃2030年放大至10萬噸/年，可供微藻養殖固碳，轉製高值化蝦紅素

碳利用示範



長春石化CO₂轉製醋酸
將大連化工及南亞廠的製程高濃度CO₂尾氣運送至長春化工，再由長春化工轉化為CO，再與甲醇合成醋酸，年產能80萬噸，每年可去化16萬噸CO₂

[學生自學]

觀看影片並且完成學習單。

- 紐約公寓轉向碳捕捉 液化CO₂水泥封存 | 方念華 | FOCUS 全球新聞20230516 (1:51開始)
<https://www.youtube.com/watch?v=gxGxH6YrukY>



- 釀酒也能愛地球 碳捕捉技術製造伏特加 | FOCUS 午間新聞 20220701
https://www.youtube.com/watch?v=OdGsILv_J7E

中油和台電2025年啟動碳封存 環團憂造成海水酸



化 | 20230726 公視中畫新聞

<https://www.youtube.com/watch?v=8hjD9L3dPMI>

10分鐘

學習單或平版

口頭發表
學習態度
活動參與
實作評量

 <p>(學習單可用紙本呈現，或是改以平版電子檔作答)</p>			
<p>[組內共學] 觀看影片後上網搜尋資料，並且進行組內討論概念澄清、解題共識，討論二氧化碳捕捉之後還有哪些實際用途與可能的應用。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 吸碳神器！微藻固碳是樹的6倍 還能淨化廢水 護海行動 TVBS新聞 @TVBSNEWS01 https://www.youtube.com/watch?v=2IIQ06oUGeA ● 碳排變綠金！正港欸台灣技術現在國外搶著問- 揭秘「成大負碳工廠」【ESG 永續台灣】EP04 (1:51~3:40) https://www.youtube.com/watch?v=HKi00we_gs 	15分鐘	平版	口頭發表 活動參與 實作評量
<p>[組間互學] 先前個人完成學習單，各組討論完成，依序與其他組分享，並且提出各組可能提出的疑問。 教師可給予提示，針對學習單內的特定題目各組是否能提出值得思考討論的答案，例如：<u>「你覺得未來可能因為這些改變，而產生什麼新的工作？（新能源開發、評估顧問、維修保養專業人才）」</u></p>	5分鐘	平版	口頭發表 活動參與 實作評量
<p>[教師總結] 做個小測驗，概念反思、回饋評估，歸納學習成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 碳利用：我們可以用捕獲的二氧化碳做什麼？ https://climatescience.org/zhTW/advanced-carbon-utilisation <p>➤ 結語：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. CCUS 雖然未來有希望，但現在其實有很大的挑戰，可能有困難待解決的挑戰，例如：成本昂貴、場地限制、接受度待提升、生活型態改變。 2. 當減少碳排放已達到目前科技與能力的極限時，如何找到新的解決方法、走出新的道路，還需多方考量；也許未來從這個過程當中，可能發展出新的工作機會，甚至突破性的科學發展，對全人類做出貢獻的「諾貝爾獎」得主，下一位可能就是妳！ 	5分鐘	線上測驗	總結性評量 學習態度

參考
資料

CCUS 是什麼呢？

https://ghg.tgpf.org.tw/ZeroKnowledge/ZeroKnowledge_more?id=2a06b02776074c27a3ae5b157dc8d5b3

國家溫室氣體排放清冊報告(2022年版)

https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/2022nir/download_figure.php

你一年的碳排放量，要用幾棵樹來抵？單木材積及固碳量計算

https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=37857#_ftn1

冰島世界最大碳捕捉封存工廠將落成 估每年轉換4000噸二氧化碳 |

20210914 公視晚間新聞 <https://www.youtube.com/watch?v=iAH9oAQ1SB0>

COP26：冰島工廠將二氧化碳變成石頭 能否緩解全球暖化？-BBC News 中文 <https://www.youtube.com/watch?v=4QjQ7jaQCas>

減碳成全球顯學！澳洲"碳封存技術"先進 CO2深埋地下2公里尋找理想地質
二氧化碳回收大有妙用 碳捕碳存成氣候暖化救星 | 【消失的國界】

20220627 | 三立新聞台 <https://www.youtube.com/watch?v=U90Nxxz61fH0>

紐約公寓轉向碳捕捉 液化 CO2.水泥封存 | 方念華 | FOCUS 全球新聞
20230516@tvbsfocus(1:51開始)

<https://www.youtube.com/watch?v=gxGxH6YrukY>

釀酒也能愛地球 碳捕捉技術製造伏特加 | FOCUS 午間新聞 20220701

https://www.youtube.com/watch?v=OdGsILv_J7E

吸碳神器！微藻固碳是樹的6倍 還能淨化廢水 | 護海行動 | TVBS 新聞

@TVBSNEWS01 <https://www.youtube.com/watch?v=2IIQ06oUGeA>

負碳排工廠啟用 捕捉 CO2轉甲烷成能源

<https://www.youtube.com/watch?v=-4tzwFaSQY>

碳排變綠金！正港欸台灣技術現在國外搶著問-揭秘「成大負碳工廠」【ESG
永續台灣】EP04

(1:51~3:40)https://www.youtube.com/watch?v=HKi00we_gs

可可豆殼成生物炭抵碳排 農業與建築都可應用 | 20230625 全球現場漫遊天
下 <https://www.youtube.com/watch?v=v6TwYxewstw>

碳利用：我們可以用捕獲的二氧化碳做什麼？

<https://climatescience.org/zhTW/advanced-carbon-utilisation>

石化產業減碳路徑：(一) 碳捕捉與封存 (Carbon Capture and Storage)

<https://rsprc.ntu.edu.tw/zh-tw/m01-3/en-trans/1736-1102-carbon.html>

「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？ <https://www.cw.com.tw/article/5126479>

國際碳捕捉技術專利趨勢分析研究 <https://www.tipo.gov.tw/tw/dl-283563-e20c9f3c9b9b4f55b09cf13d152f2200.html>

碳捕捉的發展及運用 <https://taise.org.tw/post-view.php?ID=447>

負碳技術新知 <https://ghg.tgpf.org.tw/CarbonNewTech/?p=1>

碳捕捉利用及封存(國科會、經濟部、環保署)

https://ncsd.ndc.gov.tw/ofu/FileDatabase/8f85a27a-fe8c-441e-b212-2137ab9cd726/06_%E7%A2%B3%E6%8D%95%E6%8D%89%E5%88%A9%E7%94%A8%E5%8F%8A%E5%B0%81%E5%AD%98.pdf

中油台電 2025年啟動碳封存

<https://www.chinatimes.com/newspapers/20230726000350-260110?chdtv>

	中油和台電2025年啟動碳封存 環團憂造成海水酸化 20230726 公視中晝新聞 https://www.youtube.com/watch?v=8hjD9L3dPMI
--	---

學習單1：自主學習規劃單

項目	任務
觀察及紀錄 (W)	<input type="checkbox"/> 請觀看教師提供之教學影片，完成請打勾。
	請依據影片內容，完成以下問題： 1.從空氣中捕捉二氧化碳，存放到哪裡？ 2.這樣的技術稱為「碳□□」？ 3.用影片中的技術封存二氧化碳之後，碳還會跑掉嗎？
	請記錄其他，你覺得應該要注意的重點
總結 (S)	根據你已知的資訊，請進行總結。 1.影片中的碳捕捉技術，你認為真的有效果嗎？請說出你的理由。 2. 目前臺灣的現況，有可能推動碳捕捉政策嗎？
提問 (Q)	回想你的學習過程，你有發現那些不了解的地方嗎？請在以下列出 1~2 個你想提出的疑問。

學習單2：九宮格學習單

觀看影片資料&找出關鍵			SDG12：負責任的消費與生產
碳捕捉如何進行？	碳儲存有哪些形式？	碳的再利用有哪些用途？	
這樣的技術可能有哪些費用支出？	你覺得今天提到的應用，印象最深刻的是哪一種？	為什麼這項應用讓你印象深刻？	
碳的捕捉、再利用、儲存之後，長期而言有哪些優勢？	你覺得未來可能因為這些改變，而產生什麼新的工作？	你會選擇未來怎麼做？	

參考答案：

觀看影片資料&找出關鍵			SDGs12：負責任的消費與生產
碳捕捉如何進行？ (從空氣中直接收集二氧化碳 DAC、燃燒前處理、燃燒後處理、富氧燃燒)	碳儲存有哪些形式？ (可以打入地底儲存)	碳的再利用有哪些用途？ (製作建材、酒或飲料或日用品)	
這樣的技術可能有哪些費用支出？(技術開發、設備建造、人力成本)	你覺得今天提到的應用，印象最深刻的是哪一種？ (依個人而定)	為什麼這項應用讓你印象深刻？(依個人而定)	
碳的捕捉、再利用、儲存之後，長期而言有哪些優勢？(減少空氣中的二氧化碳，降低暖化影響，讓地球升溫減緩)	你覺得未來可能因為這些改變，而產生什麼新的工作？(新能源開發、評估顧問、維修保養專業人才)	你會選擇未來怎麼做？ (依個人而定)	