

115 年度 第二屆 CCUS 創意教案徵選

課程名稱	氣候變遷的銀色子彈？	適用年級	國小高年級
	解方與現實	教學時間	200 分鐘，共 5 節。
教材來源	自編	設計者	陸安
教學準備	1. 教學簡報 2. 器材： 模擬碳循環：透明水缸、礦泉水瓶數個、滴管、水杯、水桶、海綿、角色任務卡、角色名牌 模擬點源捕捉與直接空氣捕捉：澄清石灰水、燒杯、吸管、打氣筒 酚酞實驗：酚酞指示劑、燒杯、加熱盤、吸管 鹽氣泡水實驗：氣泡水機、鹽水、小碎石、燒杯、水 3. 教學圖卡與海報（新創公司宣傳海報）		
學生 先備經驗	1. 學生已了解溫室效應的基本原因。 2. 學生了解人類活動是目前氣候變遷加劇的主因。 3. 學生了解二氧化碳為溫室氣體之一。 4. 學生能自獨立/小組操作平板並且透過關鍵字搜尋資料。		
核心素養		學習表現	學習內容
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 領剛核心素養 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。		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。	INa-III-1 物質是由微小的粒子所組成，而且粒子不斷的運動。 INa-III-2 空氣由各種不同氣體所組成，空氣具有熱脹冷縮的性質。氣體無一定的形狀與體積。 INa-III-4 空氣由各種不同氣體所組成，空氣具有熱脹冷縮的性質。氣體無一定的形狀與體積。 INa-III-5 不同形式的能量可以相互轉換，但總量不變。 INg-III-4 人類的活動會造成氣候變遷，加劇對生態與環境的影響。 INg-III-5 能源的使用與地球永續發展息息相關。
學習目標			
1. 學生能解釋碳循環的動態性。 1-1 學生能區分自然界碳循環中的長循環與短循環。 1-2 學生能指出碳元素如何在大氣、動植物、與自然環境中流動。			

- 1-3 學生能說出不同自然碳匯的特徵與限制。
2. 學生能理解，人類活動破壞了碳的長循環平衡。
- 2-1 學生能解釋化石燃料的開採，使碳從地底轉移到大氣的過程。
- 2-2 學生能指出人類排碳的速度，遠大於自然系統吸收的碳的速度。

課程架構圖

氣候變遷的銀色子彈？
解方與現實

主題：碳循環

40 min

碳循環的平衡與失衡

主題：碳捕捉

80 min

碳捕捉，怎麼做（1）？

碳捕捉，怎麼做（2）？

主題：碳捕集再利用

40 min

來買二氧化碳！CCU

主題：碳捕集與封存

40 min

修復地球的長循環：
CCS碳封存

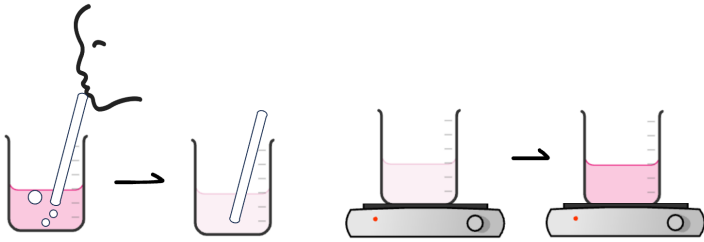
第一節：碳循環的平衡與失衡

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
不分組	一、引起動機：關鍵字造句 教師出示多個關鍵字，各組使用關鍵字造句。思考時間 30 秒，能用到最多關鍵字、且造句內容也正確的組別得分。 關鍵字：二氧化碳、溫室氣體、溫室效應、全球暖化、氣候變遷、人類活動、化石燃料、極端天氣事件、節能、未來、排放、淨零、綠能、減排、減緩、調適等。 範例： -工業革命後，人類活動大量使用化石燃料，排放大量的溫室氣體如二氧化碳進入大氣，加劇了溫室效應，也造成了現在的全球暖化現象。（使用 6 個關鍵字，得 6 分）。 教師小結：大家在造句中都提到了造成氣候變遷的原因，雖然溫室氣體不只有二氧化碳，但因為其排放量佔的比例最高以及在大氣中停留的時間很長，所以是目前減排的目標。而大自然也有一套複雜的機制，可以調節氣候的變化。	5'	口頭評量 課堂參與	2-2
不分組 邀請志願者上台	二、發展活動：碳循環模擬 教師引導：要了解這個大自然調節氣候變化的機制，我們透過透明防水箱和水模擬大氣以及大氣中的二氧化碳。此外，我們還需要邀請 10 位志願者上台扮演大自然的關鍵角色（抽牌決定/教師指定）。下為物品定義： - 桌上的透明防水箱→內裝有 1/3 滿的水，模擬大氣 - 水→模擬碳元素（碳的不同型態非本課堂與本學習階段重點。因此在此以「二氧化碳（大氣裡）」、「生命碳/有機碳（植物、動物裡）」、環境碳/無機碳（岩石裡、海洋裡）命名） - 綠色水桶（小）：森林 - 黃色水桶（中）：土壤 - 藍色水桶（大）：海洋 - 礦泉水瓶：放置於桌底下，表示化石燃料 教師介紹分組角色與任務：扮演角色的學生得到角色任務卡並依指令完成指定任務（下為角色分配與角色任務）。 ♦ 好吃青菜：用海綿將防水箱的吸出，擠到水杯內。	5'	口頭評量 課堂參與	1-1 1-2 1-3

	愛吃菜的小孩：用滴管從好吃青菜的水杯吸出水後，滴回防水箱。 • 石化作用：用滴管吸取防水箱與三個水桶（來自碳匯組）中的水，繞教室走一圈後滴入桌底下的礦泉水瓶 風化作用：用滴管將桌底下的礦泉水瓶中的水吸起，並繞教室走一圈後將滴管中的水滴入防水箱。 火山活動：依老師指示將桌底下的礦泉水瓶倒入防水箱內。一回合只活動一次。 • 森林碳匯：用洗碗海綿（小）將防水箱的水吸出後，將海綿放入綠色水桶當水桶滿了就不能再放入更多海綿。 海洋碳匯：用海綿（大）將防水箱的水吸出後，將海綿放入藍色水桶。當水桶滿了就不能再放入更多海綿。 土壤碳匯：用科技泡棉（三聚氰胺泡棉）將防水箱的水吸出後，將海綿放入黃色水桶，當水桶滿了就不能放入更多海綿。 • 石油公司：聽老師指令，每分鐘從桌子底下拿一瓶水瓶，倒入防水箱中。 • 突發事件：聽老師指令：當聽到「野火」時，將一半綠色水桶中的海綿的水擠回防水箱。當聽到「濫墾」時，將兩塊綠色水桶中的海綿的水擠回防水箱。 （一）碳循環模擬（工業革命前：自然的平衡） - 教師邀請除了「石油公司」與「突發事件」之外的所有角色上台依照指定任務演示。演示時間為5分鐘。 入水（排碳）：愛吃菜的小孩、火山活動、風化作用 出水（減碳）：石化作用、森林碳匯、海洋碳匯、土壤碳匯 - 教師提問並引導學生填寫觀察單（下為題目與擬答）： -在這次的演示中，哪一個角色一次排出最多二氧化碳到大氣中？（擬答：火山活動） -在這次的演示中：哪兩組將二氧化碳從大氣中吸走，然後再倒回去？而這兩組角色中，哪一組讓二氧化碳從大氣離開再回到大氣的速度比較快？（擬答：好吃青菜與愛吃菜的小孩、風化作用與石化作用/ 好吃青菜與愛吃菜的小孩） -哪一組角色很勤奮的將大氣中的二氧化碳吸出並且放在自己的儲存水盆裡（擬答：碳匯組） - 教師小結： （1）這個時候的地球，因為這個大自然的平衡機制，所以大氣中的二氧化碳濃度保持穩定。 （2）愛吃菜的小孩與好吃青菜形成了小小的循環：大氣中的二氧化碳因為植物光合作用被吸收，然後被吃掉，最後被人類再次排放出來。這個循環相對快速，稱為「短循環」。 （3）石化作用與風化作用也形成了一個循環，但是這一組小朋友每吸取一滴水或是滴回一滴水，都需要更久的時間，因此這個循環稱為「長循環」。 （二）碳循環模擬（工業革命後，平衡被破壞） - 教師邀請所有角色上台演示。演示時間為5分鐘。 入水（排碳）：愛吃菜的小孩、火山活動、風化作用、石油公司、突發事件。 出水（減碳）：石化作用、森林碳匯、海洋碳匯、土壤碳匯。 - 教師提問並引導學生填寫觀察單（下為觀察單題目與擬答）： -在這次的演示中，大氣中的二氧化碳濃度有什麼變化？（擬答：防水盆中的明顯比第一次升高，表示大氣中的二氧化碳濃度變高了） -在這次的演示中，哪一個角色一次排出最多二氧化碳到大氣中？（擬答：石油公司，每分鐘都排出一整瓶的水到防水箱（大氣）中） -當突發事件發生時，發生什麼事？（擬答：有人把森林碳匯儲存好的碳又放回大氣裡了） -當碳匯的儲存空間滿了，會發生什麼事？（擬答：無法再吸收大氣中更多的二氧化碳了） -在演示中，代表碳元素的水會在哪些地方停留？（大氣中（二氧化碳）、生物（有機碳（好吃蔬菜、小孩或是森林）、與環境（無機碳（土裡、海裡）中） - 教師小結： （1）工業革命後，人類大量使用化石燃料，石油公司將地底的	10' 10'	口頭評量 課堂參與 實作評量 課程工作單	1-1 1-2 1-3 2-1 2-2
--	---	-----------------------	--	--

	化石燃料抽出並且燃燒，排放了大量的二氧化碳。此時大自然原本吸收二氧化碳的速度已經比不上人類排放的速度。 (2) 除了石油公司之外，突發事件(野火)也讓好不容易儲存好的碳被迫回到大氣中。這也代表了森林碳匯雖然很有效，但是也容易受到突發事件影響。 (3) 當碳匯組的儲存空間滿了，就不能再放入更多的碳了。大自然的儲存空間有限，且儲存的速度也比不上排放的速度。 (4) 演示中的水可以在三種不同的地方停留，而碳元素也會因為在不同的地方以不同形式存在。在大氣中主要以二氧化碳與甲烷的形式、在生物內主要以有機碳的形式，而在環境中主要以無機碳的形式。(補充，教師可依學生程度決定是否加入)			
不分組	三、綜合活動：提問與討論： (一) 教師引導學生發表自己從遊戲中的觀察。 (二) 教師提問： 1. 在好吃青菜與愛吃菜的小孩這組循環是否有讓大氣中的二氧化碳總量變多？(擬答：沒有，青菜從大氣中吸取二氧化碳，被小孩吃掉後，小孩在將二氧化碳排回大氣。起點與終點都是大氣) 進階問題：為什麼人類呼吸不會造成暖化，但是開汽車上班會？(短循環對大氣的二氧化碳總量幾乎沒有改變。呼吸呼出的碳，是原本就存在在大氣中的碳。但是開車使用的汽油，原本為存在於地底的化石燃料) 2. 石油公司、火山爆發、與風化作用同樣都是取地底的化石燃料然後排放到大氣，這三者有什麼不同？(擬答：不同的量。石油公司每分鐘都會倒一寶特瓶到防水箱，火山活動久久才發生一次。而風化作用雖然一直在發生，但是他一次只能搬運一滴，實在太慢了) 3. 在第二輪的演示，我們明顯看到了平衡被打亂了。應該怎麼做才能讓平衡再次維持？(擬答：可以減少排碳或是增加減碳) 教師總結： 人類活動加速了碳從地底來到大氣的速度。但是將大氣中的碳送回地底的速度卻沒有增加。為了找回碳的平衡，科學家們發展出了一種技術，能將大氣中的碳送回地底。	10'	口頭評量 課堂參與 課程工作單	1-2 2-2
第二節：碳捕捉，怎麼做？				
教學目標：				
1. 碳捕捉來源的不同。 1-1 學生能辨識「點源捕捉」與「直接空氣捕捉」在二氧化碳濃度的差異。 1-2 學生能透過實驗歸納出「點源捕捉」與「直接空氣捕」捉效率上的差異。 2. 三大捕捉技術(化學吸收、物理吸附、膜分離)法 2-1 學生能以自己的方式說明不同二氧化碳捕捉的方式 2-2 學生能透過實驗理解捕捉介質再生需要能量				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
異質能力分組	一、 引起動機：量感比較 1. 教師引導：阿婷一家人今年冬天決定到德國拜訪姐姐。經過航空公司官網計算，從台北飛到法蘭克福的二氧化碳當量為1.13噸/人，(補充說明：飛機排放的氣體不只二氧化碳，由於每一種氣體	7'	課堂參與 口頭發	2-1

	對溫室效應的影響不同。科學家定義二氧化碳當量(CO₂e)為：這台飛機排放的所有氣體，相當於1.13公噸二氧化碳對暖化的影響程度) (1)一同出遊的四位家人，四人坐飛機來回所排放的二氧化碳當量為？(1.13 x 4 = 4.52 公噸) (2)一棵成年健康的樹一年約可以吸取 20公斤的二氧化碳。這趟旅行所排放的二氧化碳當量，需要多少樹工作一年才能吸收完？ (4520 (總公斤) ÷ 20 (每棵樹一年吸收的公斤) = 226 棵樹) 2. 教師小結：在越來越國際化的現代社會，出國旅遊、工作、學習越來越普遍。也就是說，阿婷一家在兩天(去程、回程)內排放的二氧化碳當量，需要226棵樹花一整年才能吸收。好消息是，科學家研發出一種技術，可以從空氣中捕捉二氧化碳，或是在二氧化碳排放前先把它收集起來！ *華航計算碳足跡網頁：https://china-airlines.co2analytics.com/calculate-your-footprint-2		表																					
異質分組	二、 發展活動：矽谷銷售員與投資顧問 (一)情境介紹：在繁忙的華爾街上，「富捷投資顧問公司」收到四家公司寄出了產品說明海報(如附圖)，請求幫忙找到投資股東。專案小組請求科學家進行專業評估。而細心的秘書將這四家公司的產品說明書整理成表(為符合學生程度，部分理論以簡化形式呈現)。 <table><tr><th>公司名稱</th><th>技術與產品</th><th>規模(年)</th><th>特點</th></tr><tr><td>挪威寬闊小灣公司 BrevikCCS</td><td>化學吸收法(液體，二氧化碳和化學液體反應。用液體去洗氣體，把裡面的二氧化碳洗出來) 從哪捉：從工廠的煙囪 商品：煙囪過濾服務：你的煙囪會排放二氧化碳，我幫你把二氧化碳擋住，讓你不會超標</td><td>40 萬噸 CO₂</td><td>大幅減少工廠的二氧化碳排放。 使用工廠廢熱使化學溶劑再生。</td></tr><tr><td>冰島氣候工作公司 climeworks</td><td>化學濾網(固體，二氧化碳和固體塗料反應後，二氧化碳被黏在塗料上) 從哪捉：從大氣直接捕捉 商品：碳移除額度：我先把碳補起來，如果你無法減碳，我減碳的額度可以賣給你，讓你排碳不超</td><td>4000 噸 CO₂</td><td>從大氣中實際補碳後在注入地底。有實際減少大氣中的CO₂ 接觸面積比液體多，可以捕捉稀薄的二氧化碳</td></tr><tr><td>德國林德公司 Linde</td><td>物理吸收法(如氣泡水原理，透過壓力將廢氣中的二氧化碳溶入液體中，再透過減壓釋放二氧化碳) 從哪捉：從工廠的煙囪 商品：煙囪過濾服務</td><td>9600 萬噸 CO₂</td><td>在你的工廠旁邊蓋一個「氣泡水工廠」，讓你的煙囪不會排放過量的二氧化碳。 捉下來的二氧化碳我幫你處理。</td></tr><tr><td>法國法液空公司 Air Liquide</td><td>透膜分離法：廢棄經過透膜時，二氧化碳會被擋住。 從哪捉：從工廠的煙囪 商品：煙囪過濾服務</td><td>10 萬噸 CO₂</td><td>擋下來的二氧化碳會處理成液體或是固體，讓你再次利用。</td></tr></table>	公司名稱	技術與產品	規模(年)	特點	挪威寬闊小灣公司 BrevikCCS	化學吸收法 (液體，二氧化碳和化學液體反應。用液體去洗氣體，把裡面的二氧化碳洗出來) 從哪捉 ：從工廠的煙囪 商品 ：煙囪過濾服務：你的煙囪會排放二氧化碳，我幫你把二氧化碳擋住，讓你不會超標	40 萬噸 CO ₂	大幅減少工廠的二氧化碳排放。 使用工廠廢熱使化學溶劑再生。	冰島氣候工作公司 climeworks	化學濾網 (固體，二氧化碳和固體塗料反應後，二氧化碳被黏在塗料上) 從哪捉 ：從大氣直接捕捉 商品 ：碳移除額度：我先把碳補起來，如果你無法減碳，我減碳的額度可以賣給你，讓你排碳不超	4000 噸 CO ₂	從大氣中實際補碳後在注入地底。有實際減少大氣中的CO ₂ 接觸面積比液體多，可以捕捉稀薄的二氧化碳	德國林德公司 Linde	物理吸收法 (如氣泡水原理，透過壓力將廢氣中的二氧化碳溶入液體中，再透過減壓釋放二氧化碳) 從哪捉 ：從工廠的煙囪 商品 ：煙囪過濾服務	9600 萬噸 CO ₂	在你的工廠旁邊蓋一個「氣泡水工廠」，讓你的煙囪不會排放過量的二氧化碳。 捉下來的二氧化碳我幫你處理。	法國法液空公司 Air Liquide	透膜分離法 ：廢棄經過透膜時，二氧化碳會被擋住。 從哪捉 ：從工廠的煙囪 商品 ：煙囪過濾服務	10 萬噸 CO ₂	擋下來的二氧化碳會處理成液體或是固體，讓你再次利用。	10'	課堂參與 口頭發表	1-1 1-2
公司名稱	技術與產品	規模(年)	特點																					
挪威寬闊小灣公司 BrevikCCS	化學吸收法 (液體，二氧化碳和化學液體反應。用液體去洗氣體，把裡面的二氧化碳洗出來) 從哪捉 ：從工廠的煙囪 商品 ：煙囪過濾服務：你的煙囪會排放二氧化碳，我幫你把二氧化碳擋住，讓你不會超標	40 萬噸 CO ₂	大幅減少工廠的二氧化碳排放。 使用工廠廢熱使化學溶劑再生。																					
冰島氣候工作公司 climeworks	化學濾網 (固體，二氧化碳和固體塗料反應後，二氧化碳被黏在塗料上) 從哪捉 ：從大氣直接捕捉 商品 ：碳移除額度：我先把碳補起來，如果你無法減碳，我減碳的額度可以賣給你，讓你排碳不超	4000 噸 CO ₂	從大氣中實際補碳後在注入地底。有實際減少大氣中的CO ₂ 接觸面積比液體多，可以捕捉稀薄的二氧化碳																					
德國林德公司 Linde	物理吸收法 (如氣泡水原理，透過壓力將廢氣中的二氧化碳溶入液體中，再透過減壓釋放二氧化碳) 從哪捉 ：從工廠的煙囪 商品 ：煙囪過濾服務	9600 萬噸 CO ₂	在你的工廠旁邊蓋一個「氣泡水工廠」，讓你的煙囪不會排放過量的二氧化碳。 捉下來的二氧化碳我幫你處理。																					
法國法液空公司 Air Liquide	透膜分離法 ：廢棄經過透膜時，二氧化碳會被擋住。 從哪捉 ：從工廠的煙囪 商品 ：煙囪過濾服務	10 萬噸 CO ₂	擋下來的二氧化碳會處理成液體或是固體，讓你再次利用。																					
異質能力分組	(二)點源捕捉與空氣直接捕捉(澄清石灰水小實驗) 1. 教師引導：在這份秘書整理的表格中「從哪捉」這部分明顯分成兩類：從工廠煙囪或是從空氣直接捕捉。因此我們來做個實驗比較兩種方法的難度。 2. 實驗準備：各組兩個燒杯，內裝有 100 ml 的澄清石灰水，分別標示「點源捕捉」與「直接空氣捕捉」。吸管數根、打氣筒一個 3. 實驗流程(如圖示)： (1) 學生將吸管插入「點源捕捉」燒杯中的澄清石灰水液面下並吹氣，直到澄清石灰水混濁。	15'	實驗操作	1-1 1-2																				

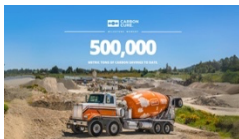
	(2) 將變成透明的液體在加熱盤(或酒精燈)上加熱,直到顏色變回紅色。紀錄溫度與時間。  4. 教師小結:目前使用化學吸收法的公司主要使用一種鹼性的溶液(胺類溶劑)進行捕捉,也就是說,這種捕捉二氧化碳的介質可以下畫成下面這個循環。然而,加熱也需要能量,因此科學家持續努力找到可以不用加熱到那麼高溫便可以再次使用的物質。也就是說,碳捕捉並不是「把碳抓起來」就好,真正的挑戰在於,「如何用最少的能量,完成多次的循環」。 <pre> 紅色 (高 pH) -----> 吹氣捕捉 -----> 無色 (低 pH) (藥劑準備好了) (碳被鎖在裡面) ↑ ↓ 再生完成 -----> 加熱 100°C -----> 準備再生 (紅色回歸) (趕走 CO2) </pre>		書寫	
異質能力 分組	三、綜合活動: (一) 投資顧問的兩難: 1. 教師引導:回到秘書整理的表格,我們已經了解點源與直接空氣捕捉的差別,我們也了解到不同捕捉方法的重點除了在於可以捕捉多少二氧化碳,「如何用最少能量完成多次循環」是重點。 2. 觀察挪威寬闊小灣公司:這家公司的強大優勢在哪?(用工廠廢熱使化學溶劑再生) 3. 投資顧問的兩難:這些公司都非常優秀,但是他們提供的商品也非常貴。一般投資人無法負擔,但這些對地球有幫助的公司,該怎麼存活? 4. 學生討論並發表想法 教師引導點:投資對公司的信譽、向政府請求補助、向消費者透明化補碳流程。 (二) 碳捕捉公司的策略:碳捕捉,然後呢 1. 教師引導:在秘書整理的表格「特點」那欄,有些公司會幫你將捕捉到的二氧化碳再次利用。生活中有哪些地方需要使用到二氧化碳?(冷凍運輸的乾冰、氣泡水等) 2. 因此,這些公司也思考如何將二氧化碳作為商品販賣。	10'	口頭評量 課堂參與	1-1 2-1 2-2

第四節：來買二氧化碳！CCU

教學目標

1. 認識石化輕工業與其產品。
 - 1-1 學生能說出生活中與石化工業的關聯
 - 1-2 學生能理解石化工業產品核心皆為碳的組成
2. 認識 CCU 的商業化案例
 - 2-1 學生能舉出並說明 CCU 在不同領域的商業化案例
 - 2-2 學生能分析 CCU 商品在市場所面臨的挑戰

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標										
不分組	一、引起動機：我們住在石油裡？石油依賴的社會。 1. 生活中哪些物品和石油有關？（原子筆桿、塑膠鉛筆盒、球鞋、運動服、牆壁塗料、洗手乳、防摔手機殼、寶特瓶、肥料、化妝品等） 2. 教師引導學生歸納這些物品的相關性，並介紹石化輕工業產品。 3. 傳統石化工業製程：石油→輕油裂解→碳分子→塑膠與其他產品 4. 這個工業和我們學到的二氧化碳有什麼關係？教師引導：二氧化碳不是只能造成暖化，也是地球上最豐富且便宜的碳原子來源。如果你是碳捕捉公司，你從工廠中捕捉了許多二氧化碳，你可以怎麼使用它？	5'	口頭評量 課堂參與	1-1 1-2										
異質分組	二、發展活動：碳捕捉後再利用 （一）新創公司的碳主意： 1. 教師引導：富捷公司再次收到不同公司開發的減碳商品。但是秘書正好休假不在，請學生整理以下商品資訊，並上網收尋資料（學生依照老師給的資訊，提取關鍵字後上網收尋），並製成比較表格： （1）Aether Diamonds：全球第一個獲得認證的「負碳鑽石」，時尚與環保的結合。 （2）Valser：負碳汽水。從空氣中提取氣泡的汽水，每一口都疼愛地球一點點。 （3）CarbonCure Technologies：負碳混凝土。將二氧化碳加入混凝土中，可以減少傳統水泥使用，也讓強度提升同時減碳。 （4）漢莎航空與 e-fuels：永續航空燃料，讓碳排大戶航空業不再罪惡！ 2. 比較表格案例（示範填寫）： <table border="1"> <thead> <tr> <th>公司名稱</th><th>商品</th><th>價格（勾選）</th><th>碳在商品的時間</th><th>建議與想法（能賺錢嗎？可行嗎）</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aether Diamonds:</td><td>負碳鑽石</td><td>☐ 低 ☒ 中 ☐ 高</td><td>☐ 短 ☒ 中 ☐ 長</td><td>可以透過時尚影響</td></tr> </tbody> </table>	公司名稱	商品	價格（勾選）	碳在商品的時間	建議與想法（能賺錢嗎？可行嗎）	Aether Diamonds:	負碳鑽石	☐ 低 ☒ 中 ☐ 高	☐ 短 ☒ 中 ☐ 長	可以透過時尚影響	10'	口頭評量 課堂參與 工作分析單 書寫	1-1 2-1
公司名稱	商品	價格（勾選）	碳在商品的時間	建議與想法（能賺錢嗎？可行嗎）										
Aether Diamonds:	負碳鑽石	☐ 低 ☒ 中 ☐ 高	☐ 短 ☒ 中 ☐ 長	可以透過時尚影響										

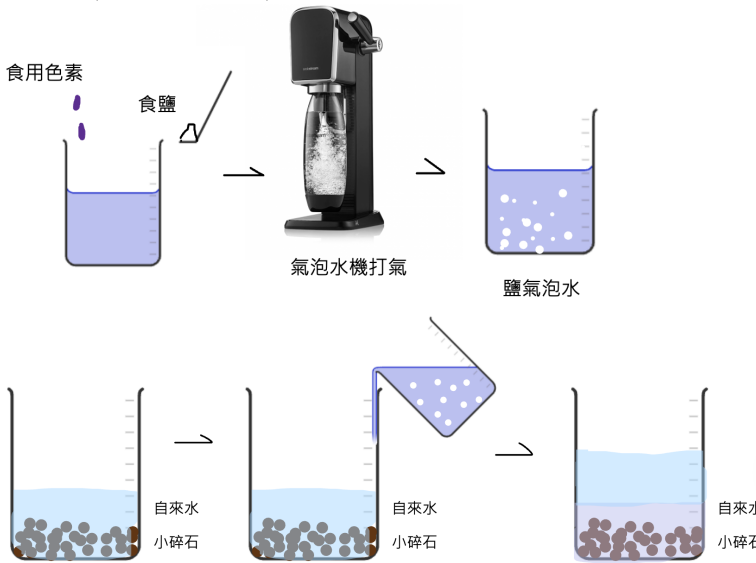
異質分組	Valser	負碳汽水	☒低 高	■中	☒短 長	■中	喝完打嗝又排出了	7'	口頭評量 課堂參與	2-1
										2-2
異質分組	* 產品海報：							10	課堂參與	2-1
	 (二) 二氧化碳是「沒電的石油」？ 1. 教師引導：氧化碳不是只能造成暖化，也是地球上最豐富且便宜的碳原子來源，碳捕捉再利用和傳統石化工業有什麼差別？ 教師出示以下比較，請學生發表想法 傳統路徑：地底→商品→大氣 CCU 路徑：大氣→商品→大氣 2. 二氧化碳是沒電的石油： 地底的化石燃料：是很久封存的太陽能量，所以如果用電池比喻的話，是滿格的電，充滿能量。 大氣中的二氧化碳：是化石燃料燃燒後的產物，也就是能量已經被釋放了，以電池比喻的話，電量已經用完。 3. 教師引導，沒電的電池需要充電，但電要從哪來？拿沒有電的電池再次製成商品也需要能量，這些製成商品的過程是否也會產生排碳？ (三) CCU 產品經理行銷大會 1. 學生抽籤，抽到不同的 CCU 商品，並化身產品經理推銷產品。 2. 教師引導： -目標客群分析：有錢人、企業、政府、一般百姓 -行銷手段：永續環保？時尚富裕？品牌形象？ 3. 學生選出最佳商品與最佳銷售員									2-2
不分組	三、綜合活動：思考與討論							8'	口頭評量 課堂參與	2-1 2-2
1. 教師引導：在整理的表格中，有一欄「碳在商品中的時間」，為什麼這個資訊很重要？ 2. 產品經理人的秘密：其實要製成一個 CCU 商品，要花非常多能量，如果為了節省成本，不使用綠能，會有什麼後果？如果為了保護環境，堅持使用比較貴的綠電，因此讓商品價格上升，會有什麼結果？ 3. 消費者的想法：如果我們都買得起 CCU 商品，購買 CCU 商品是為了擁有這個商品，還是為了避免未來可能發生的氣候災難？										

第五節：修復地球的長循環：CCS 碳封存

教學目標

1. 碳的長循環與短循環
 - 1-1 學生能辨析 CCS 屬於修復碳的「長循環」的策略
2. 碳儲存的形式
 - 2-1 學生能說碳可以儲存在地底、岩石與海洋中
3. 地下鹽水層作為碳封存區域
 - 3-1 學生能透過鹽氣泡水實驗，了解地下鹽水層的碳儲存原理

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
不分組	一、引起動機：課程複習與提問 1. 教師引導：上幾堂課我們學到有公司從空氣或是從工廠煙囪捕捉二氧化碳，然後也有公司再次利用這些捕捉到的二氧化碳再次做成商品販賣。然而，做成商品販賣，很有可能只是「延後」二氧化碳回到大氣的時間。對大氣的二氧化碳總量的影響有限，甚至可能在製造商品的過程製造更多排碳。 2. 提問： (1) 所以說，CCU 商品，比較偏向於碳的長循環還是短循環？為什麼？ (2) 如果石油廠商加速了地底的碳進入大氣的過程，是否有方法可以再將大氣中的碳放回地底？ (3) 空氣那麼輕？怎麼放回地底？	5'	課堂參與 口頭評量	1-1
異質分組	二、發展活動：把空氣放回石頭裡？ (一) 地下世界：教師出示圖片，並且詢問： 1. 圖片觀察：在這張圖片看到什麼？有幾層？這張圖中有幾個黃色的管道，分別通向哪？這些不同的管道可能是用來做什麼的？  (圖片來源：地質綠能與減碳(1)：引言-地質工程應用於綠能及減碳) 2. 教師小結：這張圖代表的是科學家評估，有機會變成碳的儲存地的地方。其中今天我們討論的是最下方的地下鹽水層。距離地表大約八百公尺，這時候的壓力非常大，能夠讓二氧化碳的體積壓縮的很小。	5'	課堂參與 口頭評量	2-1
異質分組	(二) 鹽氣泡水實驗 1. 教師引導：空氣很輕，我們要怎麼把它放到地下的鹽水層？ 2. 實驗準備：氣泡水機、鹽水 (200 ml 冷水加入30 g 食鹽)、自來水、藍色食用色素、大燒杯兩個 (或長型水壺，透明為佳)、小碎石 (選用)	15'	實驗記錄表 課堂參與	3-1

	3. 實驗流程（如圖示）： （1）使用氣泡水機，將鹽水打入氣泡後倒入第一個燒杯，並且用色素染色。觀察鹽氣泡水內是否有小氣泡？ （2）將燒杯底部加入小碎石後，倒入自來水 （3）將鹽氣泡水加緩慢的、沿著杯壁倒入裝有小碎石與自來水的燒杯（或使用滴管）  4. 教師引導觀察： （1）氣泡水機將氣泡打入鹽水後，可以觀察到鹽水中有許多小氣泡。 （2）染了色的鹽氣泡水，雖然裡面含有很輕的氣泡，但卻可以沉到一般自來水之下。 （3）在碳封存的技術中，也是透過這樣的做法，透過比一般水還重的鹽水乖乖地沉在地底。不會往上跑。且在真實地表上，在這個鹽水層之上還有不透水層以及許層岩石與泥土。讓碳不容易從地底下跑走。 （4）在大自然中，鹽水會滲進小碎石裡，經過好幾百年或好幾千年後，會慢慢變成碳酸鈣（帶酸性的鹽水侵蝕岩層，岩層釋出金屬離子，金屬離子與二氧化碳反應）		口頭評量	1-1 2-1 3-1
異質分組	三、綜合活動：思考與討論： 1. 冰島的Carbfix 公司就是用這個方法將捕捉到的二氧化碳放回地底。達到讓他回到漫長的碳的長循環列車中。 2. 然而，不管是哪一種新技術，都不可能獨自面對暖化大魔王。在最開始的碳循環模擬中，我們了解要讓大氣中的二氧化碳保持平衡，需要減少排放以及增加減碳。新科技與科學家很努力在增加減碳這部分研發技術，而坐在教室的同學也可以透過日常生活的淨零綠生活行動，從減少排碳的角度守護地球與未來。 3. 延伸討論： （1）現實與理想：阿拉伯石油大國在各國氣候公約後會面臨什麼影響？ （2）阿拉伯石油國家近年來積極投資 CCUS 技術。但同時也有人質疑，這些石油大國是為了延續化石能源產業，確保能源出口國的地位，所以才以天然的地理優勢（碳的儲存空間、資	10'	口頭評量	2-1 3-1

	金)投資 CCUS,石油大國在能源與氣候變遷的局勢下,扮演什麼角色? (3) 身為小學生的我們無法直接參與政治、無法參與研發,我們除了努力減少碳排,還可以怎麼做? 4. 延伸活動:國際碳手印(Carbon Handprint):發聲的重要性			
--	---	--	--	--

參考資料:

1. 地質綠能與減碳(1):引言-地質工程應用於綠能及減,張貽斐
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=3a632f82-78c4-4f3b-88a9-59121e2dbcbc>
2. 汽車大廠保時捷也看好 碳中和燃料 e-fuels 是什麼? <https://e-info.org.tw/node/237549>
3. 漢莎航空網站:為什麼要支持使用永續航空燃料? <https://www.lufthansa.com/xx/hk/discover-lufthansa/carbon-offsetting/saf.%E7%82%BA%E4%BB%80%E9%BA%BC%E8%A6%81%E6%94%AF%E6%8C%81%E4%BD%BF%E7%94%A8%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E8%88%AA%E7%A9%BA%E7%87%83%E6%96%99>
4. Geologische CO₂-Speicherung: [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung-tieferer-Untergrund/CO₂-Speicherung/co2-speicherung_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung-tieferer-Untergrund/CO2-Speicherung/co2-speicherung_node.html)
5. Becht, A., Spitzer, J., Grapsas, S., van de Wetering, J., Poorthuis, A., Smeeke, A., & Thomaes, S. (2024). Feeling anxious and being engaged in a warming world: climate anxiety and adolescents' pro-environmental behavior. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 65(10), 1270-1282.
6. Breitenmoser, P., Hauenschild, K., & Wulfmeyer, M. (2025). Klimabildung im Sachunterricht der Grundschule. In *Handbuch Klimabildung* (pp. 165-187). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
7. Hoffmann, T. (2021). How to teach global challenges? a solution-focused approach. *Southern African Journal of Environmental Education*, 37.
8. Ojala, M. (2012). Regulating Worry, Promoting Hope: How Do Children, Adolescents, and Young Adults Cope with Climate Change?. *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(4), 537-561.Chicago
9. Siegmund Space & Education gGmbH (2021). Klimabildung zukunftsfähig gestalten. 20-Punkte-Plan für Schulen, Hochschulen und die berufliche Bildung. <https://www.siegmund-se.de/klimabildung/>. Zugegriffen: 14. Jan. 2022.
10. Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E., & MacGregor, D. G. (2007). The affect heuristic. *European journal of operational research*, 177(3), 1333-1352.