

解析國際自然保育聯盟 IUCN 《減輕太陽能與風能發展對生物多樣性之影響》指引

邱雅暄

工業技術研究院綠能與環境研究所

中文摘要

因應氣候變遷，全球對再生能源需求日益提高；由於再生能源的特性，分散設置於國土空間中，因此無論是在陸地或海洋，皆將與既有的生態、住民與社區產生更為密切的關聯。文獻指出，若未妥善評估與規劃，再生能源設施可能對既有的棲地造成侵擾、棲地損失與破碎化，以及對周遭生物產生噪音、撞擊與其他間接影響。

有鑑於此，為了提供能源領域一套可依循的評估架構與操作方法，國際自然保育聯盟 (IUCN)、英國生物多樣性諮詢服務機構 (The Biodiversity Consultancy) 於 2021 年 2 月共同發布《減輕光電和風電發展對生物多樣性之衝擊：給開發者的指引》，期望透過事前評估、擬定適當因應措施，來降低可能的風險。本評析說明該指引之重點，針對潛在影響、評估方法、減輕措施之原則與具體作法進行摘要分析，並指出未來挑戰與對台灣能源政策發展的啟示。

關鍵字：再生能源、生物多樣性、太陽光電、風力發電、減輕措施

英文摘要 (Abstract)

Large-scale expansion of renewable energy play a critical role in meeting the world's growing energy demands and in the fight against climate change. However, the renewable energy projects can have significant unintended impacts on the environment if they are poorly sited or managed. The projects can impact the species directly through habitat interference, habit loss or fragmentation, and place them under indirect risk such as collision and noise. Moreover, there may be conflicts with the surrounding residents and communities.

To manage risks, International Union for Conservation of Nature and Natural Resource and The Biodiversity Consultancy published a set of guidelines on mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development for the developers. In this article, we summarized the key messages from the guidelines, including the potential impacts, effective tools for early project planning, the mitigation hierarchy and the effective mitigation measures. Lastly, we pointed out the future challenges and suggestions.

Keywords: renewable energy, biodiversity, solar energy, wind energy, mitigation hierarchy,

一、背景

因應氣候變遷、降低碳排放，全球對再生能源需求日益提高；由於再生能源的特性，分散設置於國土空間中，因此無論是在陸地或海洋，皆將與既有的生態、住民與社區產生更為密切的關聯。文獻指出，若未妥善評估與規劃，再生能源設施可能對既有的棲地造成侵擾、棲地損失與破碎化，以及對周遭生物產生噪音、撞擊與其他間接影響。

有鑑於此，為了建立一套評估架構與方法，提供能源領域遵循，國際自然保育聯盟 (International Union for Conservation of Nature and Natural Resource, IUCN)、英國生物多樣性諮詢服務機構 (The Biodiversity Consultancy) 於 2021 年 2 月共同發布《減輕光電和風電發展對生物多樣性之衝擊：給開發者的指引》(Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers)。該本指引帶領讀者評估光電和風電設置對生態棲地與社區的潛在影響與風險，期望透過事前評估、擬定因應措施，來降低可能的衝擊。

值得一提的是，該報告的撰寫者除了前述的保育智庫，亦有能源產業的夥伴參與，包含法國電力公司(EDF)、葡萄牙電力公司 (EDP)、殼牌公司 (Shell Group) 等三大企業。盼鼓勵投資者、開發商、營運商，於能源與環境的共榮，扮演更積極的角色。

為讓更多使用者閱讀，該計畫亦提供摘要版，於同年 8 月發布指引的《摘要與關鍵訊息》(synthesis and key messages)，以及供產業使用之《生物多樣性風險篩檢指引》(Industry guidance for early screening of biodiversity risk)，分為太陽光電、陸域風電、離岸風電等三份精簡文件。

本評析將於第二章說明該指引本文之章節架構與重點，於第三章針對潛在影響、評估方法、相關名詞進行摘要分析，於第四章指出未來挑戰與對台灣能源政策發展的啟示。

二、指引章節架構

該指引分成 3 大部分、10 個章節，如圖 1，以下說明各章節安排與重點：

第一部分背景、脈絡與原則：第 1 章界定再生能源、何謂生物多樣性，第 2 章定義直接、間接、及累積影響，接著介紹本報告採用之減輕架構，遵循 IUCN 過去提出之「迴避、縮小、復育、補償」四個原則，將開發案以生命週期概念，切割為「前置規劃、專案設計、開發、營運、除役」等階段；第 3 章強調前置規劃作業、工具與方法。

第二部分探討個別能源技術：第 4 至 6 章分別針對太陽光電、陸域風電、離岸風電，探討其潛在影響與減輕對策。

第三部分良好作法實踐：第 7 章討論補償原則與實務；第 8 章介紹監測方法；第 9 章說明良好作法；第 10 章從循環經濟與生命週期評估的角度，討論再生能源設施從原料至製程的供應鏈潛在衝擊。

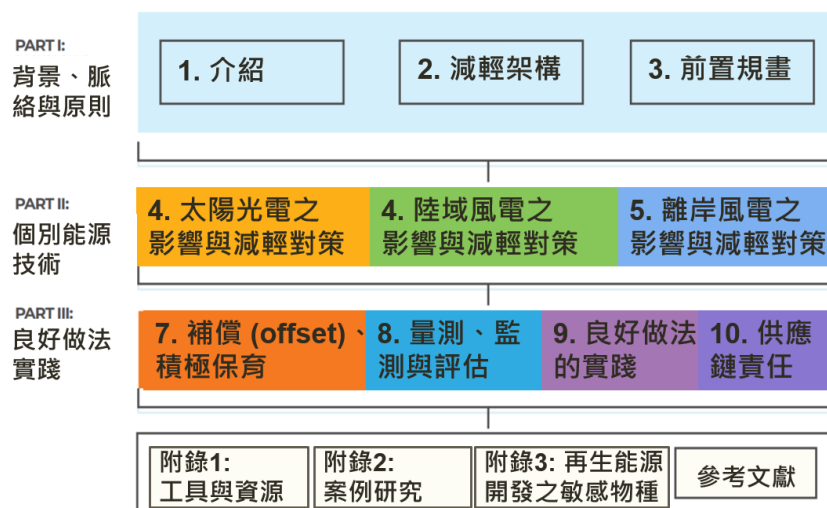


圖 1、指引章節架構

三、指引內容分析

本評析整理重點內容，主要引用第一至四章之重要觀念與因應做法，期冀讓讀者瞭解：再生能源設施有何潛在影響？如何事前評估風險？何謂減輕原則？有哪些減輕措施？

（一）再生能源設施之潛在影響

指引指出潛在影響對象可能包括對生物多樣性 (biodiversity) 與對生態系統服務 (ecosystem services) 的影響。生物多樣性的元素包括基因、物種、生態系等，當生物數量、基因變異性、物種多樣性、族群有所下降，即是生物多樣性損失。

生態系服務則是人類從自然資源中獲得的利益和價值，包括食物和水供應等服務、休憩、文化（包括地方感和歸屬感）、其他非物質利益。規劃者需要特別注意依賴上述服務以維持日常生活與就業的當地人，避免因設施的開發影響到其生計和福祉。因為，在世界各地，一旦能源開發讓這些生態系服務受損，便極可能引起民眾反對與衝突，例如對景觀和人們的視覺感受產生影響。

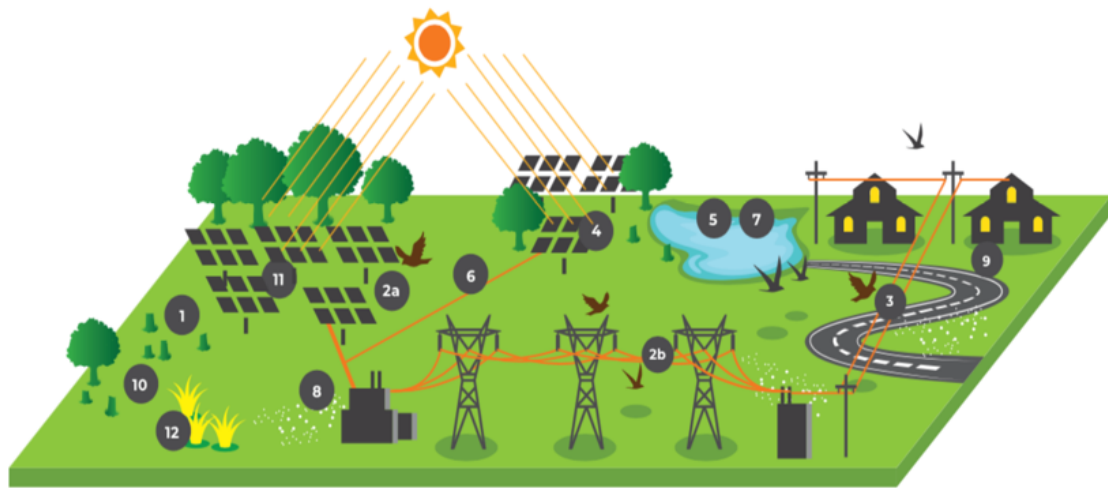
影響的類別可分為直接、間接、與累積影響，如圖 2 所示。直接影響係指棲地損失、棲地破碎化、物種干擾或死亡，或者是影響生態系服務，如可使用來獲取自然資源的土地受到限制或減少。間接影響是指因案場活動而對該區域產生的影響，例如工作機會增加造成人口移入、新闢道路等，可能對當地生物多樣性造成壓力。累積影響則是較常被忽略，可能來自一區域內多個案場或其他開發案，對該生態系統最高乘載量的威脅。

具體而言，太陽光電案場對生物多樣性與生態系服務的潛在影響，如圖 3 所示。



來源：IUCN 與 TBC, 2021

圖 2、直接、間接與累積影響



- 1 因植被或表土移除或置換造成之**棲地喪失** [施工/營運]
- 2 鳥類**撞擊**光電板或電線 [營運]
- 3 鳥類與蝙蝠**觸電**死亡 [營運]
- 4 受光電板反光吸引造成之**物種錯置** [營運]
- 5 受蒸發池吸引造成隻野生動物死亡 [營運]
- 6 **屏障效應** [施工/營運]
- 7 因水文和水資源質或量改變造成之**棲地劣化** [施工/營運]
- 8 **污染** (塵土、光線、噪音、振動、廢棄物) [施工/營運]
- 9 間接影響 [施工/營運]
- 10 相關**生態系服務**影響 [施工/營運]
- 11 **微氣候**變化造成之**棲地環境改變** [營運]
- 12 **外來種**引入[施工]

資料來源：IUCN 與 TBC, 2021; 本文翻譯

圖 3、太陽光電案場對生物多樣性與相關生態系服務之影響

(二) 前置規畫評估方法

前置規畫 (early project planning) 是指開發商依據多個條件、對潛在場址的可行性評估, 這些條件通常包含是否具發電潛力、土地是否易取得、

饋線與可併網容量是否足夠、是否有環境與社會議題須考量。指引特別將前置規畫獨立成一章，顯見事前選址與評估之重要性，更勝於後續的任何階段。

該指引提出了三種常見的前置規畫方法：空間規劃 (spatial planning)、敏感地圖 (sensitivity planning)、風險篩檢 (risk screening)，這三者之定義、關聯、地理範疇、與主要執行者，可參考圖 4 及 圖 5。此外，利害關係人和社區的參與也是前期的重要工作，指引亦提供溝通之原則，建議開發商確保過程中之利害關係人指認、溝通、有效參與。

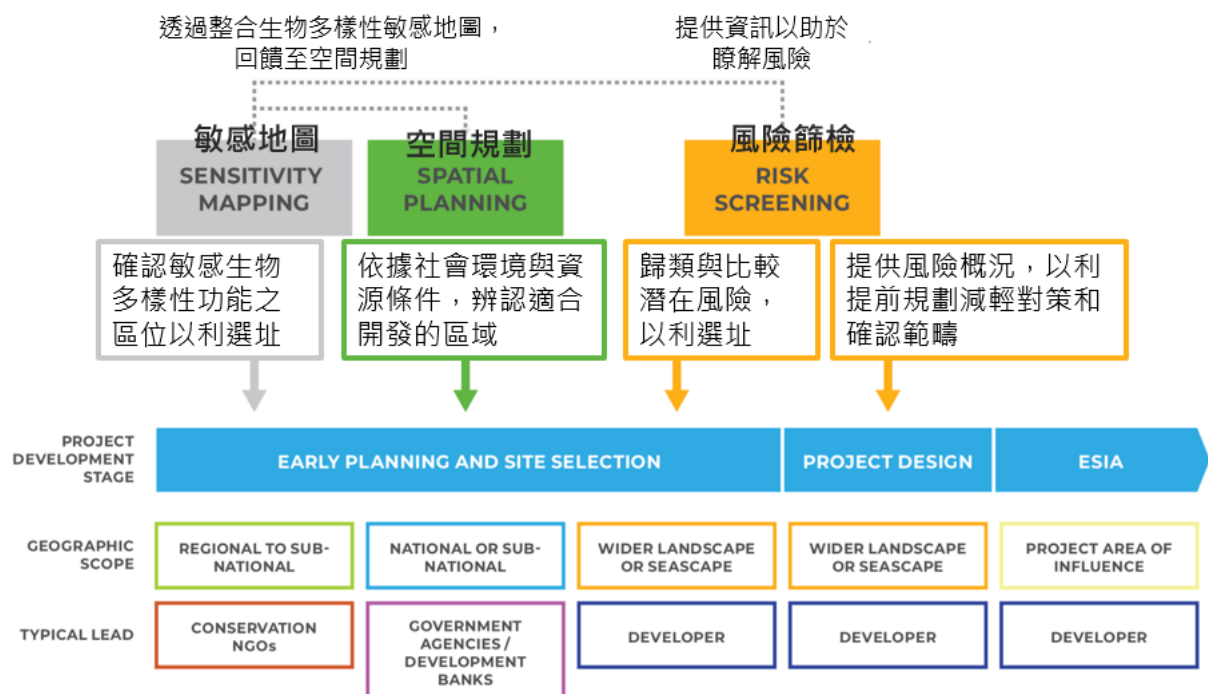


圖 4、空間規劃、敏感地圖、風險篩檢之關聯

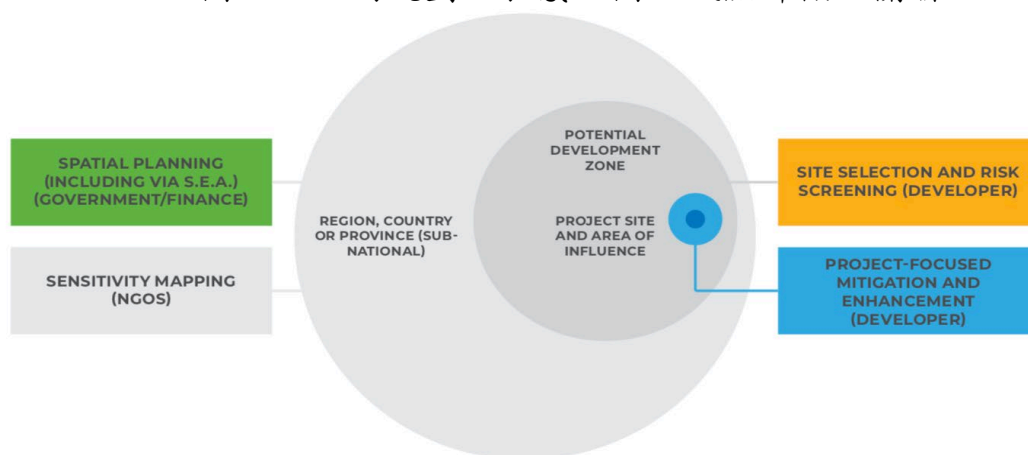


圖 5、空間規劃、敏感地圖、風險篩檢之範疇

指引指出，許多國家已有完善的國土規劃或空間規劃程序，理想上有效的選址應依據既有空間規劃進行；不過，既有計畫時常缺乏能對應到太陽光電和風力發電之處，且由於再生能源對國土空間的大量需求，由政府機構發起的策略空間規劃 (strategic spatial planning) 或是策略環境評估 (strategic environmental assessment)，整合社會與環境議題與資源條件，辨認出適宜開發之區域，會是相當重要的。

若是缺乏上位空間治理計畫，可透過生物多樣性敏感地圖 (sensitivity maps)，初步排除應避開之敏感區位。敏感地圖指將多筆敏感圖層套疊而成的地圖，例如法定保護區、生物多樣性圖資（如敏感物種紀錄或預測分布）等等。開發者在使用敏感地圖過程需要注意，資料限制（某區域可能因為資料不足，而導致地圖呈現低風險）、資料精確度（國家尺度的地圖可能不能直接適用於細部選址）。

對於開發商檢視個別案場時，則應透過風險篩檢 (risk screening)，評估個別潛在場址的風險，操作步驟可參考圖 6。透過一連串的風險提問，掌握案場周遭有哪些關鍵風險，表 1 例舉最常見的關鍵風險與可能需要掌握的資訊。

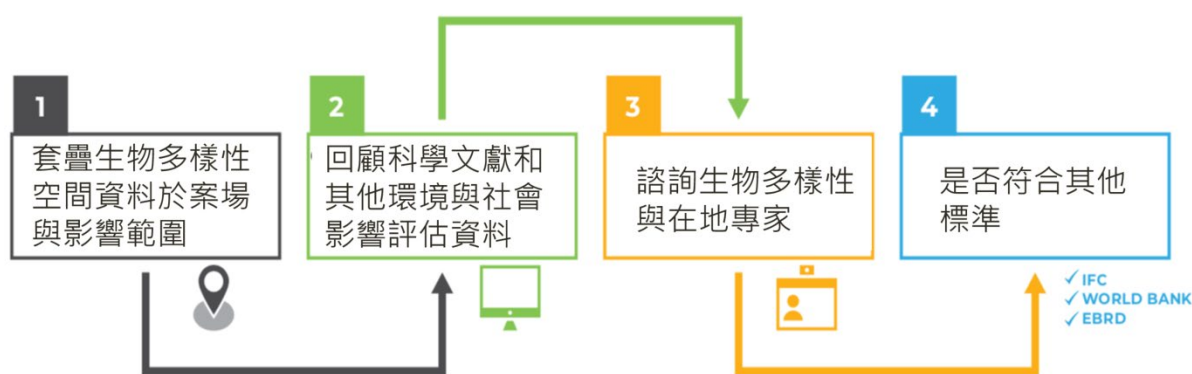


圖 6、風險篩檢的常見流程

表 1、風險篩檢須考量的關鍵風險與資訊例舉

關鍵風險	資訊例舉（光電）	篩檢成果
1.保護區與國際認證生物多樣性高之區域	<ul style="list-style-type: none"> 國家或國際資料庫的空間資料（保護區、文化遺產、原住民保留區等） 	於地圖標註經認證之區域
2.受脅生態系與大尺度中的自然棲地	<ul style="list-style-type: none"> 敏感的陸域生態系，包含濕地、森林、河川和其他自然棲地 	較大尺度的棲地地圖
3.受脅物種與極脆弱物種	<ul style="list-style-type: none"> 一定範圍內的水鳥、食蟲蝙蝠、昆蟲 已知物種群聚或棲息處 	<p>物種清單，包含受脅狀態、範圍、棲地、利用行為</p> <p>較大尺度的地圖，標註物種群聚、鳥類覓食與遷徙路線</p>
4.生態系服務的依賴程度、利用、價值	<ul style="list-style-type: none"> 提供服務之區域，如林業、農業、狩獵 自然元素相關之文化、旅遊、社會價值 在地水資源利用和供水壓力之資訊 	於地圖標註可能依賴服務的社群、及依賴資源的地區
5.累積性影響	<ul style="list-style-type: none"> 專案所需之公共設施，如饋線 較大尺度中的既有或規劃中的公共設施（尤其是光電或風電設施） 該地區的敏感地圖 	較大尺度的既有與規劃中專案或公共設施之地圖

（三）減輕措施的階層架構

針對再生能源設施可能造成的影響，該指引提出了減輕階層架構 (Mitigation Hierarchy)，包含迴避 (avoidance)、縮小 (minimisation)、復育 (restoration)、補償 (offset)」四個原則，本文摘要了各項原則的重點，由採取手段的優先性排序，如表 1。

表 2、減輕原則之重點

減輕原則	說明
迴避 (avoidance)	<ul style="list-style-type: none"> • 是最優先、重要的步驟，預先防範或避開預期的影響
縮小 (minimisation)	<ul style="list-style-type: none"> • 針對無法完全迴避的影響，降低其影響時間、強度、或影響範圍的措施 • 分為物理防治 (Physical controls)、作業防治 (Operational controls)、污染防治 (Abatement controls)
復育 (restoration)	<ul style="list-style-type: none"> • 針對無法迴避或縮小的影響，於現地嘗試修復某項特定的生物多樣性功能 (biodiversity features) 或生態系服務 (ecosystem services) • 廣義也包含重建 (rehabilitation)、矯正 (reclamation)、修復 (remediation) 等
補償 (offset)	<ul style="list-style-type: none"> • 生物多樣性補償是最後不得已進行的彌補手段，在用盡方法仍無法避免或減低環境衝擊，仍有重大不可回復的損失時才採用 • 需要有可衡量的目標與成果 • 屬於積極保育作為

從操作面來說，我們可以將一再生能源設置專案分為「前置規劃、設計、開發、營運、除役」等階段，並依據其與當地環境之干擾形式、範圍與程度，擬定出各階段建議採取之原則，如圖 7。其中，對於生物多樣性敏感度較高的地區，由於可能造成不可回復的損失，一旦需要進行開發，會鼓勵採取較多元或積極之手法，如生態補償措施，如圖 8 所示。

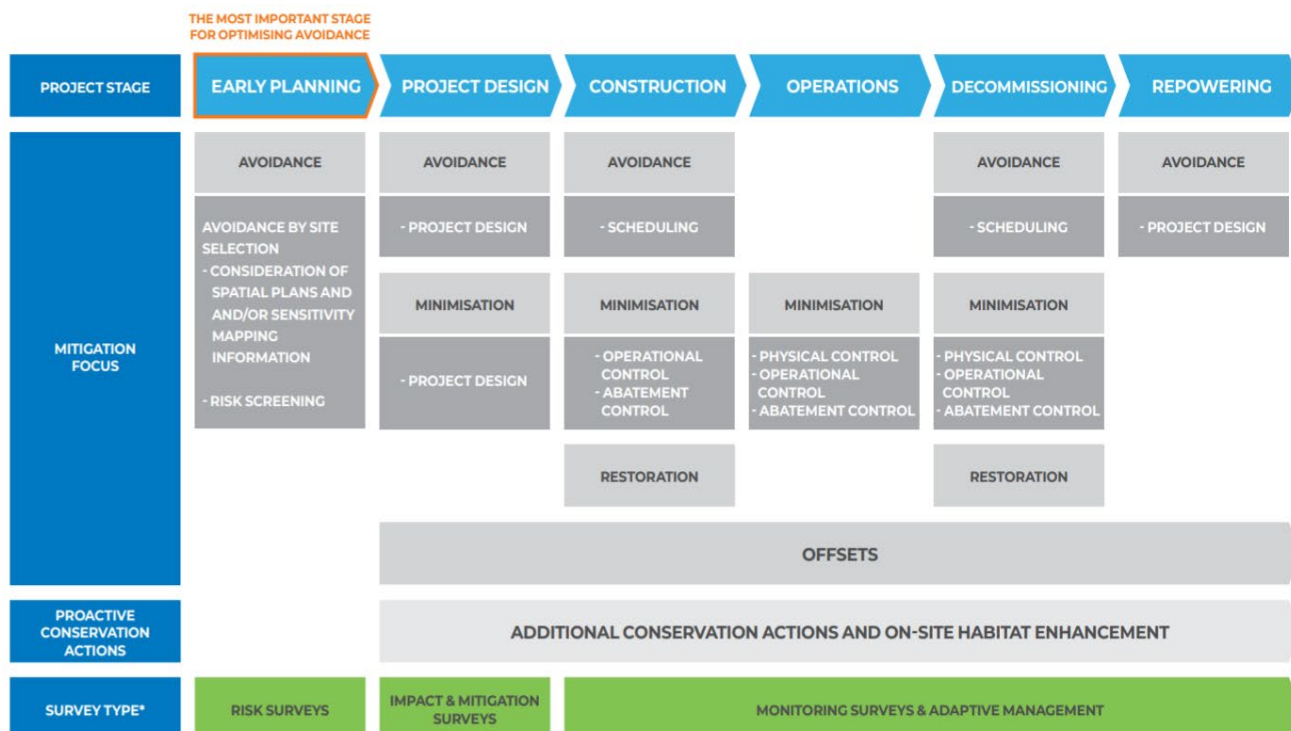


圖 7、運用減輕架構於專案各階段

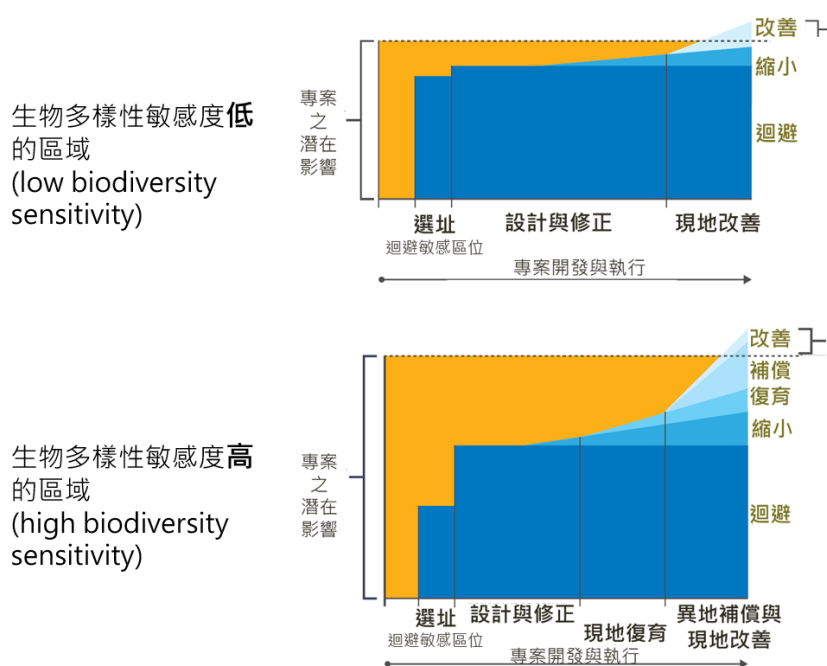


圖 8、對不同敏感度地區採取之減輕原則

(四) 減輕措施的做法

接續前一節的減輕原則，為提供開發者具體的作法，該指引針對不同階段、提出減輕原則與減輕作法，並依據三種再生能源設施的特性勾選需

求，如表 3 所示。

表 3、減輕作法彙整

階段	減輕原則	減輕作法	太陽光電	陸域風電	離岸風電
設計階段	迴避、縮小	• 微觀選址(micro-siting)：改變案場設施的設計與排列，以避開敏感區域	V	V	V
		• 重新規劃路徑(re-routing)、標記或埋設電線，以避免撞擊風險或屏障效應	V	V	V
		• 避開敏感季節或時間(scheduling)	V	V	V
		• 選擇或設計降低影響的組件或工序			V
施工階段	迴避	• 避開敏感季節或時間(scheduling)	V	V	V
	縮小	• 減排控制 (abatement controls)：降低污染、排放、噪音	V	V	V
		• 作業控治 (operational controls)：管理與規範包商行為（如圍欄隔離敏感區域、指定機具與卸貨區等）	V	V	V
		• 作業控治(operational controls)：施工、安裝船隻的移動控制，減少照明			V
	復育與重建	• 恢復植被(revegetation)，盡可能運用原址的表土與原生植物	V	V	V
		• 恢復電纜安裝期間受破壞的沿海潮間帶環境			V
營運階段	縮小	• 物理控制(physical controls)：修改設施本體或運作（如於特定時間關閉、於電線設置驅鳥器）	V	V	V
		• 減排控制(abatement controls)：限制特定時間之車輛行駛、廢棄物管理	V	V	V
		• 作業控制(operational controls)：營造成較不吸引敏感物種	V	V	V
終止階段 (End-of-)	迴避	• 避開敏感季節或時間(scheduling)	V	V	V
	縮小	• 減排控制 (abatement controls)：降低污染、排放、噪音 • 作業控制(operational controls)：管理	V	V	V

life)		與規範包商營運行為			
	復育與重建	<ul style="list-style-type: none"> 恢復植被，盡可能運用原址的表土與原生植物；引進原生植被 	V	V	V
		<ul style="list-style-type: none"> 若設施產生生物多樣性或生態系服務效益（如暗礁效應）則可保留 	V	V	V

四、結語

（一）未來研究與挑戰

本報告鉅細靡遺地討論再生能源設施規畫之評估方法與原則、對生物多樣性的影響和因應方向。然而，針對此新興領域，未來仍有許多待研究之課題，如：再生能源材料對生物多樣性之影響、設施材料之再利用，需要持續實驗與研究。另外，該報告雖已列出敏感物種清單，如鳥類、蝙蝠與部分昆蟲，但對生物多樣性和微氣候的潛在影響、以及多重案場之累積影響，亦需要更長期的實際監測與研究。

（二）對台灣能源政策發展的啟示

我國近年積極推動再生能源，陸續有發生與在地居民或原土地使用之衝突、或環境保育團體、專家學者對生態環境或社會衝擊之擔憂；後經公民團體倡議、由中央主管機關推出「太陽光電環境與社會檢核機制」，並優先套用於漁電共生。該機制於太陽光電設施申請前，事先進行快篩，辨認在地環境與社會議題，強調與公眾溝通、並以養殖為本。透過該機制，不僅能夠從單一案場提升至較大空間尺度之盤點，觸及利害關係人與可能議題，也期望減少案場設置後與在地環境或社會間的衝突。

從此篇指引可見，再生能源對生物多樣性的影響與因應，無論對於規劃者、能源產業、甚至長期從事生態保育者，皆是一新興課題。因此，惟有賴政府單位、能源產業、以及各領域專家更為積極地共同研究與合作，並充分讓在地夥伴參與、保障原土地使用者與社區之權益，才能夠讓能源轉型推動更為順利，同時兼顧氣候變遷與保育生物多樣性課題。

參考文獻

- [1] Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., Carbone, G. (2021). Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers. Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy.
- [2] Bennun, L., van Bochove, J., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., Carbone, G., (2021). Industry guidance for early screening of biodiversity risk - solar. Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy.