

國立交通大學

工學院永續環境科技組

碩士論文

綜合大學永續性指標之建立  
**Development of Sustainability Indicators for a  
University**



研究生：林泉宏

指導老師：高正忠教授

中華民國九十九年十一月

綜合大學永續性指標之建立

**Development of Sustainability Indicators for a  
University**

研究生：林泉宏

Student :

Chuan-Hung Lin

指導教授：高正忠

Advisor :

Jehng-Jung Kao

國立交通大學

工學院永續環境科技學程



Submitted to Degree Program of Environmental Technology for  
Sustainability

College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
In

Environmental Technology for Sustainability

November 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年十一月

## 摘要

永續校園是當前國內外不少大學所重視的議題。唯國內目前並沒有指標系統可供評估校園的永續性。尤其是針對綜合大學，其所須考量的面向更多且較複雜，如何建立一套系統化方法評估之是當前的重要研究議題。

本研究因而針對綜合大學提出一套指標系統以評估其永續性，首先就綜合大學的特性建立適當的篩選程序，以供選擇適當的指標，然後探討能源與溫室氣體、水資源、毒性物質、生態綠覆率、綠建築、固體廢棄物、生態足跡等指標的適用性及建立可用以評估綜合大學的指標系統。能源與溫室氣體主要以能源耗用為主；水資源則依其他研究所建議的物質流方法分析；毒性物質是依高濃度有害廢液實驗人數計算人均產量；生態綠覆率是採用德國柏林市所提出的有效綠覆率分析；綠建築指標則依取得綠建築證書的建築數計算；固體廢棄物是依人均量評估；生態足跡是依碳足跡轉換涵容土地面積的方法分析。所建立的指標系統除了可評估校園的永續性，亦可作為校園研擬永續發展策略及相關績效考核的重要依據。

本研究以一個綜合大學為案例，以所建立綜合大學永續性指標系統示範應用各指標及評估各指標在案例校園的適用性，依所收集到的資料計算出校園溫室氣體人均年排放量約 2.79 噸；用水年人均量為 50.31~52.06 度間，高濃度有害廢液與固體廢棄物年人均量則分別為 6.25~9.77 公斤及 98.18~103.95 公斤，均逐年提高；生態綠覆率指標值為 0.2，仍未達德國 BAF 指標的 0.3 建議值；校園目前無合格綠建築，有待改善；生態足跡約為現有校園 84 倍，表示案例學校仍有頗大的改善空間，需要持續改善。所發展的指標系統可適用於案例學校，亦預期符合目前國內綜合大學用以評估校園永續性的需求，及可作為研擬校園永續發展策略的重要依據。

**關鍵字：**綠色大學、綜合大學永續指標評量、能源與溫室氣體、水資源、毒性物質、生態綠覆面積、綠建築、固體廢棄物、及生態足跡

## Abstract

Sustainable campus is a worldwide essential issue for a university to pursue. However, no indicator system is currently available for evaluating the sustainability of local universities in Taiwan. Furthermore, some of the universities include science, engineering, and other colleges, the dimensions of sustainability assessment are thus complicated. Therefore, a set of indicators for assessing the university sustainability were developed in this study.

For criteria were first proposed for selecting proper indicators. Then, the applicabilities of the indicators in seven dimensions were evaluated. The seven indicators include energy and greenhouse gases (GHGs), water resources, toxic chemicals, biotope area factor (BAF), green building, solid waste, and ecological footprint (EF). The energy and GHG indicator was primarily determined based on the energy consumption. The water resources indicator was computed by a material flow analysis. The toxic chemicals indicator was estimated according to the amount of waste solvents generated and the numbers of laboratories and persons in the laboratories. The BAF indicator was determined based on various green covers on campus. The green building indicator was computed based on the ratio of certificated buildings. The solid waste indicator was primarily estimated from the amount of waste per capita. The EF indicator was estimated based on the carbon footprint and consumption of several major resources. The proposed indicators are expected to assess the campus sustainability and subsequently assist a university in planning appropriate policies and actions for improving its sustainability.

The proposed indicators were applied to a local university for demonstrating the applicability of the indicators. For the university, the annual GHG emissions per capita is 2.79 tons. The annual water usage per capita is 50.31 to 52.06 cubic meters. The amounts of hazardous waste solvents and solid waste per capita are 6.25 ~ 9.77 kg and 98.18 ~ 103.95 kg, respectively, and they are gradually increasing. The BAF indicator is 0.2, less than the Germany recommended value of 0.3. No building was certified as a green building and should be improved. The EF is about 84 times of the campus area. The assessment result shows that the university has to improve its sustainability constantly. The proposed indicators are suitable for assessing the sustainability of the university and should be applicable also for other similar universities.

**Keyword:** Green university, university sustainability assessment, energy and greenhouse gases, water resources, toxic chemicals, biotope area factor, green building, solid waste, and ecological footprint.

## 誌謝

首先誠摯感謝恩師高正忠教授於研究上的悉心指導，使我得以一窺永續環境科技領域的深奧。此外於口試期間承蒙聯合大學余瑞芳教授、朝陽科技大學林宏嶽副教授給予論文上的指導與建議，使得本論文能夠更加完整而嚴謹，在此致上謝意。

同時感謝太太美錦給予精神上的鼓勵與生活上的照顧，及感謝大女兒羿旻、兒子羿賢、二女兒羿君的貼心。有你們的體諒、包容及在各方面的支持，讓我面對問題及困境時能勇於克服，給予我往前躍進的莫大動力，謝謝你們，有你們陪伴真好。

在研讀的日子裡，感謝子欽、坤興學長、宥禔學姐不厭其煩的提供研究中的幫助及指正研究中的缺失，使我順利在五十歲完成了這一生的任務之一，於此我銘感在心。

最後，謹以此文與我由衷的感謝獻給我摯愛的先父母及曾給我幫助、祝福、及關心的人。



林泉宏 謹致於交大  
民國九十九年十一月

# 目錄

中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
謝誌 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vii
圖目錄 .....	viii
第一章 前言 .....	1
1.1 研究緣起 .....	1
1.2 研究目的 .....	5
1.3 論文內容 .....	6
第二章 文獻回顧 .....	7
2.1 永續大學發展歷程 .....	7
2.2 國內外校園永續性評估方式及指標 .....	8
2.3 大學永續性指標篩選原則 .....	10
2.4 大學永續性指標系統之建立 .....	13
2.4.1 能源與溫室氣體 .....	13
2.4.2 水資源.....	14
2.4.3 毒性物質.....	15
2.4.4 生態.....	16
2.4.5 綠建築.....	17
2.4.6 廢棄物 .....	19
2.4.7 綜合評估 .....	20
第三章 研究方法 .....	22
3.1 研究流程 .....	22

3.2	指標篩選原則及流程 .....	24
3.2.1	永續性指標 .....	24
3.2.2	篩選原則與流程 .....	28
3.2.3	指標篩選 .....	29
3.3	校園永續性評估指標之建立 .....	31
3.3.1	能源與溫室氣體指標 .....	31
3.3.2	水資源類指標 .....	32
3.3.3	高濃度有害廢液指標 .....	34
3.3.4	生態綠覆面積比率指標 .....	35
3.3.5	校園綠建築比率指標 .....	38
3.3.6	固體廢棄物指標 .....	39
3.3.7	生態足跡指標 .....	39
3.3.8	綜合大學永續性指標系統之建立 .....	42
第四章	案例研討 .....	44
4.1	案例簡介 .....	44
4.2	能源與溫室氣體 .....	44
4.2.1	校園能源消耗與溫室氣體之關係 .....	44
4.2.2	能源及溫室氣體盤查評量 .....	45
4.3	水資源 .....	52
4.4	高濃度有害廢液指標 .....	57
4.5	生態綠覆面積比率指標 .....	60
4.6	校園綠建築比率指標 .....	63
4.7	固體廢棄物指標 .....	63
4.8	生態足跡 .....	67

第五章 結論與建議 .....	72
5.1 結論 .....	72
5.2 建議 .....	76
參考文獻 .....	78

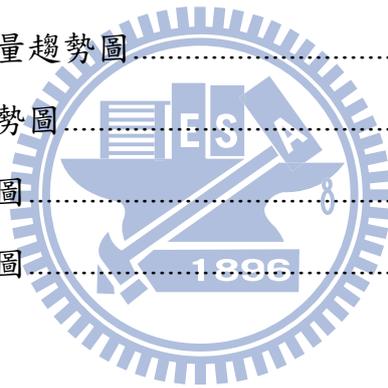


## 表目錄

表 2.1	永續指標篩原則.....	12
表 3.1	校園永續性指標 .....	26
表 3.2	各項能源消耗所產生二氧化碳量之係數 .....	32
表 3.3	BAF 生態權數值表.....	36
表 3.4	德國柏林市對各種類型建築之 BAF 最小建議值.....	37
表 3.5	水資源集水區 EF 值轉換係數 .....	41
表 3.6	EF 公式表 .....	42
表 4.1	使用各能源所排放之溫室氣體統計表(以 eCO <sub>2</sub> 表示).....	47
表 4.2	各場所溫室氣體之排放量(以 eCO <sub>2</sub> 表示).....	49
表 4.3	各校 97 年 eCO <sub>2</sub> 排放量.....	50
表 4.4	自來水用量統計表.....	54
表 4.5	各場所自來水用量.....	55
表 4.6	台大及大專院校與高中職用水量.....	55
表 4.7	高濃度廢液統計表.....	58
表 4.8	各校廢液產量.....	58
表 4.9	校園地形型態面積量測統計表 .....	61
表 4.10	交大 BAF 統計表.....	62
表 4.11	廢棄物量及回收量統計表.....	65
表 4.12	各校廢棄物量及回收量統計表 .....	65
表 4.13	EF 計算表 .....	69
表 4.14	交大 EF 統計表.....	70
表 4.15	國內外其他學校之 EF 值比較表.....	71

## 圖目錄

圖 3.1	研究流程圖.....	24
圖 3.2	自來水資料取得與處理步驟圖 .....	33
圖 3.3	自來水物質流平衡模式圖.....	33
圖 3.4	交大校園 97 年度自來水物質流系統圖 .....	34
圖 3.5	校園 BAF 資料盤查與計算流程圖.....	38
圖 3.6	案例綜合大學之永續性指標系統架構圖 .....	43
圖 4.1	各場所二氧化碳排放量趨勢圖 .....	50
圖 4.2	各場所電力使用量趨勢圖.....	51
圖 4.3	各場所用水量趨勢圖.....	56
圖 4.4	高濃度廢液產量趨勢圖.....	59
圖 4.5	資源回收率趨勢圖.....	66
圖 4.6	垃圾產量趨勢圖.....	66
圖 4.7	生態足跡趨勢圖.....	71



# 第一章 前言

## 1.1 研究緣起

「世界自然保育方略」(World Conservation Strategy)於1980年(蔡, 95年)提出「永續發展」概念, 而聯合國世界環境與發展委員會(World Commission on Environment and Development, WCED)於1987年正式將永續發展議題提出後(蔡, 95年), 便受到全世界環境變遷之組織、政府、機構與個人的關注。在1992年地球高峰會後, 永續發展更已成為世界各國對於環境的基本共識。因此, 不少組織或團體針對「永續發展」議題提出對策, 並經各國政府與國際組織重視及設法積極落實, 至今形成環境保護及追求永續發展的浪潮。

在1980年代之後, 國外大學的校園已經開始進行永續發展或綠色行動(陳, 92年), 成立各種組織、會議、及進行相關的研究, 並推動「永續大學」、「綠色校園」的校園環境綠化運動, 例如美國佛蒙特州大學(The University of Vermont)成立環境協調會, 紐約州水牛城大學(The University of Buffalo)於1990年成立環境行動委員會、布朗大學(Brown University)以環境責任為綠色大學的指導原則, 同時建立一套評估指標(陳, 92年), 以評估本身是否邁向「永續大學」或「綠色校園」。大學的永續性或綠色大學已成為當前國際上各大學所重視的議題, 有關「綠色大學」組織及宣言工作、策略與學術研究在國際社會中發展已漸趨成熟。

台灣地區近十幾年來, 高等教育機構快速成長, 依據教育部的統計已增加至163所(教育部統計處, 97年)。教育部從民國2002年開始推行永續校園推廣計畫(林, 94年), 校園環境已逐漸受到國內高等教育機構的重視, 而綠色大學的主要願景就是提昇大學的永續性(陳, 92年), 包括大學的節能設計、資源合理使用、污染防治、及生態足跡等各個面向, 動員學

校成員包括老師、學生、及行政人員就各個面向妥善考量，實施環境保護及相關管理策略，發展與環境保護同時進行，並建立一些評估指標，作為策略改善的依據，把學校建立成一個合乎永續發展的綠色大學。

溫室氣體造成地球氣溫逐漸升高、海平面上升、改變地區物種族群分布的現象(許等，89年)，因而負有教育責任的大學校園亦有必要重視溫室氣體減量，並列入評估校園永續性的重要指標之一，除了達到減量目的之外，亦期達到教育的目的。校園的活動有不少會直接或間接產生溫室氣體，包括電力、天然氣、及汽、柴油等，目前雖已有溫室氣體盤查發展機構發展盤查軟體，如 Clean Air and Climate Protection Software (CACPS) Version 1.1 及 TSA Greenhouse Gas Strategy Software(張，96年)，但並不適合用於大學校園，因而國際上也已有人提出校園盤查表，如馬里蘭大學所使用盤查系統 Clean Air-Cool Planet Campus Carbon Calculator 及哈佛大學自行開發之盤查表(蔡，97年)，主要係針對使用電力及天然氣計算所產生之溫室效應，但這二個盤查表是否適用於國內校園仍有待評估，本研究因而將以所選的研究案例評估這些大學盤查表在國內應用的適用性，並建立溫室氣體校園盤查數據，作為評估校園永續性的主要依據之一。

台灣雨量雖豐，但由於不易儲存及時空分佈不均，可供利用的水資源相當有限，屬缺水的國家(陳，94年)，國際上亦預期由於氣候變遷及人口成長的因素將導致水資源愈來愈不足，水資源利用因而是永續發展的重要議題，大學院校由於人群集中，校園用水量且性質也較複雜、多元，包括教職員生的生活及研究上所需之用水，如何規劃大學合理的水資源利用是永續校園的重點之一，因而廖(89年)曾以物質流分析水資源的輸入、輸出、與存量之架構，以評估大學校園合理的用水量，經由物質流分析，可供檢視校園用水效率，本研究亦以類似方法來建立大學水資源指標，以評估校園的永續性。

國內綜合型大學大部份是以理工生科等研究領域為主，因此設有很多化學實驗室與使用很多種類的化學品，甚至使用一些列管毒性化學物質，例如二氯甲烷、三氯甲烷等已公告 258 種毒性化學物質(環保署，97 年)，實驗後所產生高濃度有毒廢棄物，包括有機與無機廢液，及污泥等有害固體廢棄物(郭，95 年)，必須妥善處理，以免對環境產生很大的負擔，且應儘可能減少使用量及產生有害廢棄物，以降低校園教職員生的健康風險，Granados (1999)亦曾提出以有害廢棄物處理的數量做為評估指標，如何有效回收及有害廢棄物減量因而也是評估永續校園的重點之一，本研究將探討及建立一個指標，評估校園實驗室所產生有害廢棄物，以作為評估校園永續性的依據。而綜合性大學的師生人數有上萬人，會產生數量可觀的廢棄物，永續發展強調資源循環再利用(Kelly *et al.*, 2006)，廢棄物的管理因而是校園永續發展不可忽視的一項挑戰。廢棄物管理首重源頭減量，因此首先應將人均排棄量納入評估，Espinosa, *et al.* (2008)等說明墨西哥大學師生不含食物及餐廳廢棄物，每人每天產生 0.11 公斤廢棄量;此外，回收可有效降低廢棄物量，因而如何落實回收亦是評估校園永續性的重要指標之一(Armijo *et al.*, 2008)。

國內校園是建築物密集及人員活動多的區域，尤其綜合型大學教職員工生人數大部份都在萬人以上，讀書、研究及工作都在這區域，因此建築物中除了耗用不少能源，亦產生大量的污水與垃圾等一般生活廢棄物，會對環境造成顯著衝擊，而綠色建築就是生態、節能、減廢、及健康的建築(林，95 年)，因而將綠建築納入評估校園永續校園的指標之一，目前我國現行綠建築標章取得之規定(內政部，96 年)，生物多樣化、綠化、基地保水、日常節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、室內健康與環境、水資源、污水與垃圾改善等九大指標至少須通過四項，其中日常節能指標與水資源

指標，是必須達到之基本指標(葉，95 年)，本研究將探討依這些綠建築評估指標來建立一個建築綠度指標來評估校園建築的永續性。

校園由於建築物及道路、停車場鋪設柏油路面，以及室外球場、跑道 PU 化，不透水面積增加，相對減低植被與土壤或表面，而影響生物的棲息與生長，生態綠覆率(Biotopie Aera Factor , BAF)(SDUD, 2009; 廖，95 年)是德國以有效生態表面積與土地總面積的比重評估適合生物棲息的程度，BAF 值愈高，愈適合生物棲息，亦提高生態品質及校園環境永續性，本研究因而以將 BAF 納入為評估永續校園的重要指標之一。

生態足跡(Ecological Footprint, EF)(Hails, *et al.* 2007)是國際上用以評估一個國家或地方耗用自然資源的程度與衝擊的常用指標，因消費行為與廢棄物皆需土地或水域面積加以涵容(李，89 年)，故 EF 將這些行為所造成的負荷轉換為涵容所需的面積。由於校園也可視為一個獨立的區域評估 EF，國外亦因而已有部分大學用 EF 評估校園的永續性，例如 Kate Flint (2001)說明澳洲 Newcastle 大學依食物(Food)、建成地(Buildings)、交通(Transportation)、消費用品(Consumer goods)、日常生活服務(Services)、及能源(Energy)等六項來計算該校生態足跡，結果約 2 萬個師生員工於 135 公頃的土地上，約需 3592 公頃土地涵容，為使用土地的 26 倍。本研究採用類似的方式來計算校園生態足跡面積，以了解校園對自然資源所造成的衝擊程度，以作為評估校園環境永續性的指標之一。

對於大學永續發展需制定合適的評估方式，目前國內對於評估一般文、法、商大學之指標選擇，因校園較少使用有毒物質及產生有害廢棄物，尚可依據內政部建築研究所公布之綠建築九大評估指標。但對於綜合大學永續性評估指標之挑選，因研究中會使用有毒化學品以及產生較多有害廢棄物，目前尚無適當的評估方式可供參考。為有效推動綜合大

學永續發展的工作且需考量多個面向，有必要建立一套系統化的評估方法，以推動綜合型大學的永續性。

本研究以國立交通大學為例，針對綜合大學提出一套指標系統以評估永續性，主要探討綜合大學在能源與溫室氣體、水資源、毒性物質及有害廢液、生態綠覆率、綠建築、廢棄物及生態足跡評估等面向，建立適當的指標評估綜合大學的永續性，及提供校園研擬永續發展策略的及相關績效考核的重要依據，使綜合大學的能源與資源能有效管理與運用，在校園的管理上得以永續發展。

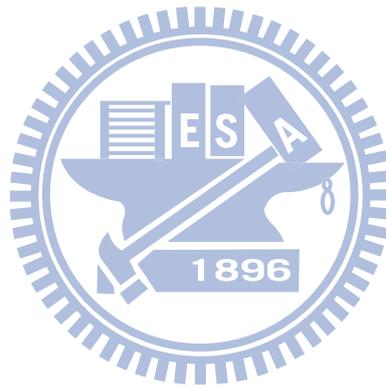
## 1.2 研究目的

本研究對於大學永續發展建議可用於量化的評估方式，以期針對大學之管理規劃、研究發展、環境保護等面向進行檢討及改善，而本研究之目的如下一一說明：

1. 建立評估綜合大學永續性之指標系統，以促進校園永續發展：為了促進綜合大學永續發展，本研究篩選能源與溫室氣體、水資源、毒性物質與有害廢液、綠建築、廢棄物、及生態足跡等面向作為評估指標，建立一個較能評估綜合大學永續性的指標系統。
2. 探討各子指標用以評量綜合大學永續性的適用性，含各子指標建立方法的適用性評估。
3. 提供校園研擬永續發展策略及相關績效考核的重要依據：依據永續性評估指標之結果，可提供校方研擬校園永續發展策略，及提供全校師生設定校園永續方案，並做為相關單位或人員考核之依據，使校園永續發展。

### 1.3 論文內容

本論文主要分為五章，第一章說明研究緣起、目的及研究內容；第二章主要介紹與回顧國內、外永續大學推動情形、評估方式及指標、評量的面向與重點、及指標的適用性評估與篩選原則等相關文獻；第三章研究方法，首先說明研究流程，然後說明綜合大學永續性相關指標收集整理分析與適用性評估、指標分析及適用性探討、綜合大學永續性指標篩選原則、及綜合大學永續性指標系統之建立；第四章說明案例及案例研討進行情形，包括結果分析與討論；最後第五章總結本研究及提供一些建議供未來進行後續研究時參考。



## 第二章 文獻回顧

本章主要回顧及討論與本研究相關的文獻，除了探討過去研究人員已有的相關研究成果，並探討本研究的可行性及重要性。相關重要文獻主要可分為永續大學發展的歷程、國內外校園永續性評估方式及指標、綜合大學特性及永續評量的面向與重點、指標的適用性評估與篩選原則、能源與溫室氣體、水資源、毒性物質風險評估、生態、綠建築、廢棄物、及綜合指標等主題，以下各節一一討論各主題之相關文獻。

### 2.1 永續大學發展歷程

自從 1987 年聯合國 World Commission on Environment and Development (1987) 在 Our Common Future 報告中提出「在滿足現代人類發展需求的同時，不應損及後代子孫發展需求能力」的人類永續發展策略，永續發展便成為國際上所重視議題，更已成為世界的潮流。我國也在 86 年行政院下設「國家永續發展委員會」，規劃與推動國內永續發展工作(行政院永續發展委員會，99 年)，也逐漸重視國家的永續發展。校園因而也有必要重視其永續性，以配合國家的政策及因應國際的潮流，因此，永續校園亦成為很多大學發展的重點。陳(92 年)曾指出，不少研究試圖對大學校園環境提出評估指標或模式之建議，而國際有一些知名大學院校也開始針對本身的特色，建立永續校園評估指標，使推動永續大學因而成為各大學院校發展的潮流。教育部自 91 年也開始推動「永續校園推廣計畫」，針對校園規劃與建築、校地生態循環、用水節水與水環境、能源應用與新淨能源、資源流、安全與防救災及永續教育發展等七個面向進行改造，依據各校的特色發展出不同的永續校園(教育部，99 年)，唯該計畫非強制性且採計畫式的重點補助，雖然考量面向亦頗周全，但不是針對校園整體永續性作評估。葉(91 年)則提出綠色大學指標系統，建立了很周詳的指標系統，唯指標太

多，且如何針對不同特性大學建立適當的指標系統，並未提供指導準則，目前亦尚未推動，仍屬研究階段。此外，由於近年來由於節能減碳已成為國內外潮流，亦為政府的主要政策及校園永續性的重要一環，教育部(96年)因而要求各校進行溫室氣體盤查、查證、及登錄，並建置節能減碳平台及提供各校推動師生節電的步驟或方式，以落實節能減碳。唯後續如何促進各校改善成效，尚未公佈。

## 2.2 國內外校園永續性評估方式及指標

對於永續性評估指標，國際有一些國家、地區或機構提出永續發展評估指標系統，如依葉(92年)所指出，聯合國 Indicators on Sustainable Development(葉，92年)、美國 Sustainable Development Index、英國 Sustainable Development Index 等均已發展了永續指標，The Sustainable Seattle Indicators Task Team (1998)亦提出了美國西雅圖 Sustainable Seattle Indicators，台灣亦提出了永續發展指標系統(葉，92年)及台北市永續發展指標(黃等，86年)，唯這些是針對國家或城市區域訂定的指標，所考量的面向雖頗周詳，但並不太適用於校園，因而國內外針對校園的永續性評估另外發展其適用的指標系統。

對於永續大學評估指標，陳(92年)指出評估大學的運作機制及管理制  
度是否朝向永續發展，是推動大學永續性的必要工作，好的評估指標應該是能夠切合目前的重要議題，且應該可計量與可比較的，同時也能評估計畫或行動的動機與過程。而永續大學的評估指標，提供科學與定量的評估指標與依據，其中亦建議依環境系統、環境管理、環境教育等三個面向，分12主指標，51次指標做為評量綠色大學的指標系統。林(93年)則在「永續校園與節能計畫」一書中，提到透水環境、生物環境的惡化及綠化量不足的省思，進而提出校園生態、節能等硬體的永續性改善設計，評估大學

是否邁向永續性，也需一套評估指標系統，唯並沒有提供指標系統或指導準則。王(94年)則提出永續大學校園生態評估指標系統，是以大學校園在構成生物多樣性的環境條件上的潛力與限制為主，建立生態評估指標系統，其第一層級(指標面向)為環境資源的保全、生態基盤的顧全、生態網路的建構、及周邊環境的和諧等四項，第二層級(指標項目)為基地保水性、植物多樣性、綠地面積、及周圍土地使用型態等二十項。葉(91年)亦建立了一套綠色大學評估指標系統，其依環境系統、環境管理、及環境教育等三大主題內容，提出包括降低二氧化碳排放、水資源、有害物質、廢棄物等 15 項主指標，44 項次指標，做為評估綠色大學指標系統。唯這些指標系統雖然考量面向完整，但也因指標眾多，除了建立的成本較高，決策分析及指標使用上均較複雜，且並未考量不同大學的特性與差異。

教育部(96年)透過執行「校園溫室氣體管理計畫」，輔導各級學校實施溫室氣體之盤查、查證、及登錄等步驟，並建置校園節能減碳資訊平台，針對照明、空調、廚房、衛浴、客廳及臥室等區域日常生活用電做碳足跡計算，期望藉由電力管理、及節約能源等重點項目，協助學校達到節能減碳的目標。教育部(99年)「100年度大學院校校園環境管理現況調查暨績效評鑑」作業計畫中，由大學院校自主評量校內現況，評量項目包括校園環境及能資源、安全與衛生管理、災害防救管理等三個面向，共有 21 個指標，並作為年度訪視評鑑工作。

國外亦已有一些機構或大學進行校園永續性評估，例如美國 National Wildlife Federation (NWF, 2010)在 2010 年 Campus Ecology 計畫中建議校園現況評估(Assessment)、建築設計(Building Design)、溫室氣體氣候行動計劃(Climate Action Plan)、堆肥(Composting)、餐廳服務(Dining Service)、能源(Energy)、環境教育(Enviornment Education or Outreach)、環境管理系統(Enviornment Management Systems)、溫室氣體清單(Greenhouse Gas

Iventory)、生物棲身地(Habitat)、採購(Purchasing)、運輸(Transportation)、減少廢棄物(Waste Reduction)、水資源(Water)等 14 個評估面向評估大學永續性。UC Berkeley(2010)則以能源與溫室氣體(Energy and Climate)、水資源(Water)、建造節能環境(Built Environment)、廢棄物(Waste)、採購(Purchasing)、土地使用的衝擊(Land Use Impact)、運輸(Transportation)等評估該校校園永續性。Harvard University (2010)則以能源與溫室氣體(Energy & Greenhouse Gas)、食物(Food)、綠色建築(Green Building)、減少廢棄物(Reducing Waste)、再生能源(Renewable Energy)、運輸(Transportation)、及水資源(Water)等七項指標評估校園永續性。加拿大 University of Toronto (2008)以水資源(Water)、天然氣(Nature Gas)、水力發電(Hydro)、汽車用油(Auto Fuel)、廢棄物(Landfilled Waste)、堆肥(Composting)、溫室氣體(Greenhouse Gas)等七個面向評估校園永續性。本研究將探討這些面向是否適用於評估案例學校的永續性。

### 2.3 大學永續性指標篩選原則 1896

李(87年)指出指標(indicator)的定義：「一個可歸納特定現象或事務相關資訊之量，或可合理代替該量度者」，指標在功能上可做為決策工具、評估現況及趨勢、及用來研析與目標(goal)及標的(target)的相關性。陳(92年)曾指出指標是一種量測結果的表現，不僅可提供關於系統表徵或系統中重要事件的摘要資訊、度量系統的一般狀態，並協助評估與瞭解系統品質的事實真相，因此指標具有量化(quantify)與簡化(simplify)二大功能。以永續發展眼光，指標具有說明、預警、檢討回顧、及決策引導四大基本功能。因此，如何由眾多指標中選出符合大學本身特色與需求的永續性評估指標，有必要建立一套篩選原則，有關指標篩選原則，已有一些學者專家曾提出一些篩選原則，如李(87年)提出：具有時變動的敏感性、具跨越時空變動敏感性、具有跨越社會分佈的敏感性、可逆性、

可控性、預測性、整合性、資料應易於收集、指標應易於應用等篩選原則。張(90年)則提出10項遴選準則：全面性、代表性、顯著性與政策關聯性、資料可及性與時序性、資料可信度與正確性、國際相性、可比較性、可理解性且容易使用、操作彈性、充分科學基礎性、實用性、預測性等。葉等(91年)亦提出一些篩選原則：全面性、代表性與顯著性、資料可及性、資料可信度及正確性、兼顧國際性與國家特性、可比較性、可理解性及容易使用、操作彈性、充分科學基礎、實用性、及預測性等。葉等(92年)在永續台灣評量系統一文中則提出代表性、區別性、可行性、精確性、整合性等篩選原則。蔡(94年)也提出永續指標建構的準則：代表性、可理解性、敏感性、資料取得可靠性、兼顧國際與國家特性、預測性、持續監測性、空間特性等9項。黃(96年)提出評估原則：可行性、可測量性、有品質性、與目標相關性、可比較性、可辯證性、領先性、政策關聯性、可排序性、明確的定義、清晰一致的報告格式、資料要能在一定時間與經費內收集到等。

而大學校園永續指標篩選原則與國家、城市或地區指標篩選原則類似，需依據各校特色選擇適合的評估指標，亦已有一些研究提出篩選原則，例如陳(92年)曾提出所有大學及校園均需評估本身所制訂的政策或制度是否邁向永續大學，及良好的評估工具應具備以下重要的原則：即要能夠確認重要議題、具可計算性與比較性、超越生態效益、能評估整個過程與動機、及重視理解的能力等篩選原則。周(94年)曾指出，學校需要選擇適合永續大學本身的願景，評估願景須注意原則：內容應簡潔明確、具有彈性及時宜性、可信的與可執行的、應與最終目標一致等。相關永續指標篩選原則如表 2.1，本研究將參考這些文獻及案例學校的特性與評估需求，建立適當的指標篩選原則。

表 2.1 永續指標篩選原則

出處	全面性	代表性	顯著性與政策關聯性	實用性	資料可及性	資料可信度及正確性	國際性	可比較性	可理解性及容易使用	操作彈性	預測性	充分科學基礎性	可逆性	可控性	區別性	整合性	持續監測性	空間性	目標一致性	可排序性	領先性	有品質性	一致的報告格式	明確的定義
李(87年)			v		v				v		v	v	v			v								
張(90年)	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v												
葉(91年)	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v												
葉(92年)		v			v	v									v	v								
陳(92年)	v	v		v	v			v	v			v												
蔡(94年)		v			v	v	v		v		v		v				v	v						
周(94年)					v	v				v									v					
黃(96年)			v		v	v		v				v							v	v	v	v	v	v

## 2.4 大學永續性指標系統之建立

以下就本研究所選取評估校園永續性的七個面向:能源與溫室氣體排放、水資源、毒性物質、生態、綠建築、廢棄物、及綜合，分別回顧各面向的相關文獻。

### 2.4.1 能源與溫室氣體

由於石化能源即將用盡，減少排放溫室氣體亦已是當前國際上解決全球暖化的重要議題，各國因而倡導節能減碳，節能減碳因而亦已納入一些永續評估指標系統中，例如葉等(92年)指出聯合國永續發展指標系統，及國內如黃等(86年)在台北市永續發展指標系統均已納入溫室氣體或二氧化碳排放量評估指標。節能減碳是評估永續性重要的一個指標。

校園中的節能減碳亦不例外，也正逐漸受到重視，例如美國 National Wildlife Federation (NWF, 2010)在2010年 Campus Ecology 計畫中建議溫室氣體氣候行動計劃(Climate Action Plan)納入評估系統中；UC Berkeley (UC Berkeley, 2010)在1990年已將能源使用與溫室氣體納入永續校園評估指標；Harvard University (Harvard, 2010)亦如此，而國內葉(95年)在綠色大學指標系統中亦納入此指標，國內一些大學如高雄大學(劉，98年)等亦也納入本項指標。故本研究亦將此指標納入永續大學評估指標系統。唯國內各大學目前甚少建立此指標並公佈，故有必要建立適當的方法評估之。

國內外各大學在盤查能源使用量時，大多是以校園中所使用的各種能源總量，本研究亦是採用此方法，雖然教職員生通勤交通所耗用的能源量亦不小，但不易評估。而溫室氣體部分，幾乎各校都沒有作全面詳細盤查，如 UC Berkeley (2010)及高雄大學(劉，98年)等均採能源耗用量乘以排放係數推估之，考量人力時間，本研究亦採用此方法，但排放係數是採用國

內的本土數據，唯此方法所得的量預期會比實際量低。在本研究即將結束時，教育部(99年)近期正要求大專院校進行溫室氣體較全面性的盤查，雖然未來極有可能成為盤查的標準程序，但目前才剛開始試行，可能需要再等一或二年才能建立標準方法與資料庫。

## 2.4.2 水資源

由於氣候或人口成長等因素造成水資源缺乏。國內雖雨量豐富，但不易蓄水，保水能力亦不佳，亦是全世界第 18 位缺水地區(林，96 年)，是屬缺水國家，水資源因而是國內外評估永續性的重要指標之一，例如葉等(92 年)曾提到聯合國永續發展指標、The Sustainable Seattle Indicators Task Team (1998)提出 Sustainable Seattle Indicators、及黃等(86 年)在台北市永續發展指標系統中均將水資源納入永續性評估指標系統中。

國內外大學因而也將水資源納入校園永續性評估指標之一，主要以消耗水量評估，例如 National Wildlife Federation (NWF, 2010)在 2010 年 Campus Ecology 計畫、Harvard University (Harvard, 2010)、及 UC Berkeley (UC Berkeley, 2010 )等均將消耗水量(Water Consumption)納入評估指標中；國內葉(91 年)在綠色大學指標系統及高雄大學(劉，98 年)也納入消耗水量指標。故本研究亦將此項指標納入永續大學評估指標中。

有關水資源指標的計算方式，國內外一些學校，如 UC Berkeley (UC Berkeley, 2010)、Hervard University (Hervard, 2010)、台灣大學(陳、94 年)高雄大學(劉，98 年)是以全校用水量及單位樓地板面積用水量或人均用水量計算，二種方式各有其優缺點，單位樓地板面積用水量可反應建築館舍的單位面積用水效率，唯樓地板面積大小與實際用水量並無直接關係，用水主要與活動人數有關，故人均用水量可改善此問題，唯人均用水量亦有二個問題:(1)校園人來人往，實際活動人數不易估算;(2)部分場所的用水

量與人數不見得有相關性，例如用水量較大的理工系所實驗場所，人數可能少，但用水量大因而有理工系所的大學單採用單位樓地板面積或人均用水量，會較其他類型的系所用水量大。

此外，只有總量而沒有水資源在校園中的流向與流量，並不易進行校園水資源整體性規劃。陳(94 年)以物質流方法分析校園自來水流向與流量，統計校園各類用水資訊，由於該方法可較有系統的分析校園用水，亦利於作後續規劃，故本研究採用類似方法建立此指標。

葉(95 年)提出實驗室冷凝水、雨水及中水、及建築物閥基水等回收再利用、與飲水機生菌數合格率等指標。另 UC Berkeley 採用節水率評估。回收水再利用及節水率皆可降低水資源用量，這些指標都是永續大學評估的重點，但舊有校舍改善回收管路系統，耗時及所需經費較大，執行永續大學評估指標時需要考量的因素；飲水機生菌數合格率因直接影響人體健康，原就應保持良好品質，故不宜作為評估校園永續性的指標。

### 2.4.3 毒性物質

無論毒性物質或化學品，均有可能對環境或人體產生危害，國內外有些永續評估系統也將毒性物質或有害物質納入，例如葉等(92 年)曾提到聯合國永續發展指標及行政院公佈(99 年)之台灣永續發展指標，皆將毒性物質或有害廢棄物等納入永續評估指標。因此，毒性物質或有害廢棄物的排放也是評估永續性重要指標之一。

國內外大學因研究、教學而使用一些毒性物質或化學品，以目前各實驗室自行購買毒性物質或化學品的現況，並不易由源頭管制，但毒性物質或化學品使用後都成為廢液，故有必要納入有害廢液指標。國外有一些大學也將此指標納入，例如 UC Berkeley (UC Berkeley, 2010 )在 1995 年及 Maryland University (Maryland, 2004)將有害廢棄物(Hazardous Waste)納

入，國內葉(91年)在綠色大學指標系統中，也納入有毒廢棄物(Toxic Waste)指標。故本研究也將此項指標納入永續大學評估指標中。但有害廢棄物包括項目很多，例如實驗室放射性廢棄物、實驗室重金屬物質的排放、化學廢氣、醫療廢棄物、毒性物質、及高濃度廢液等，這些有害廢棄物中，因實驗室放射性廢棄物量少，沒有醫學院的大學醫療廢棄物量亦少，化學廢氣不易量測，大部分沒有資料，毒性化學物質雖有統計資料，但為了避免指標太多，本研究因而未納入，且由於實驗所使用之化學品及毒化物最後都成為高濃度廢液，故本研究最後以高濃度有害廢液產量作為評估大學永續性的指標。

葉(91年)也提出實驗室放射性廢棄物、實驗室重金屬物質的排放、化學廢氣等永續大學評估指標。因化學品種類眾多且分散於理、工、電機、生科等學院各化學實驗室中使用，雖然源頭管理是較有效的管理方式，但學校相關措施並未完成，故尚無法針對源頭作管理。由於目前還無法進行源頭管理，則只好作管末管理。國內外大學盤查有害廢液產量，大都以全校年總產量為主。例如 UC Berkeley (UC Berkeley, 2010) 以年產總量為單位，以減量比率評估永續性；國內暨南大學(98年)也將採用此方法。本研究雖採用年總產量，但加入產生高濃度廢液系所單位之師生人數及實驗室間數計算均量，建立較適當的評估指標。

#### 2.4.4 生態

由於都市人口集中，市區高度水泥化，不透水面積增加，相對減少植被土壤或表面，影響生物的棲息與生長及造成熱島效應，增加綠地或綠覆面積可改善這些問題，廖(95年)曾指出增加樹木、植被和水域是增加生物棲息地最直接的方式，林(95年)也指出增加綠地或透水鋪面可改善熱島效應。但都市寸土寸金不易有大面積綠地，而台灣公園綠地人均面積僅為

2.51 m<sup>2</sup>(行政院，97 年)，遠較日本在 2008 年的 9.6 m<sup>2</sup> (中國林務局，99) 為低，有必要改善。內政部所訂定的綠建築九大評估指標系統(林，96 年) 中亦因而訂定綠化量指標。

唯由於綠地面積不易有效增加，因而國際上已有國家改為增加綠覆面積或將人行步道、停車場等設施鋪設透水材質或植草等方式改善此問題，且推動綠屋頂、綠牆等不佔用土地又可有效增加綠覆面積的方式。例如德國柏林市提出 BAF (Biotope area factor) (SDUD, 2010) 評估指標，BAF 計算適合植物生長及具有其他生態系統功用的面積比率，而不是只考量綠地，針對不同覆面採用不同生態權數計算，不同綠覆面積乘不同生態權數之值總和即為 BAF 值，BAF 值愈大表示生態綠覆面愈大，對於提升生物棲身或降低熱島效應就愈大，亦愈永續。BAF 值因而亦是適合評估校園永續性的重要指標之一。

大學校園亦有必要增加綠地及綠覆面。國內外已有一些大學重視。例如美國 Ohio University 及 Georgia University 均以建造綠屋頂(National Wildlife Federation, NWF, 2010) 增加綠覆面，國內暨南大學(劉，98 年) 將綠覆率納入永續發展工作的內容，然而國內各大學亦很難有效在短期間內增加綠地面積，故依國內校園現況，亦可能宜採用綠覆面，唯目前國內尚無任何大學採用綠覆率指標評估大學永續性，本研究因而將以 BAF 指標評估大學永續性的適用性。BAF 指標是依校園現況分為綠地(含運動場、棒球場)、人行地磚道、植草磚停車場等類型，以生態綠覆面積指標之公式乘以權重計算，此指標較能反應透水鋪面及綠鋪面的努力及改善。

#### 2.4.5 綠建築

由於過去建築未考慮環境生態及對人體健康的影響，且因都市化造成大量建築，而使居住環境逐漸惡化，使有些國家逐漸重視綠建築政策。例

如內政部(92年)指出日本、英國、及美國等依各國國情提出綠建築評估指標，而內政部同時也提出綠建築九大評估指標。因此，綠建築也是評估永續發展重要指標之一。

林(93年)曾指出綠建築是永續校園重點政策之一，而國內外有些大學亦已將綠建築納入永續大學評估指標系統中，例如美國 National Wildlife Federation (NWF, 2010) 在 Campus Ecology 計畫中建議將建築設計 (Building Design) 納入評估指標，UC Berkeley (UC Berkeley, 2010) 將綠建築 (Green Building) 納入永續大學評估指標中；國內葉(91年)在綠色大學指標系統中，也納入綠建築指標。該指標也因而納入本研究的指標系統中。

根據內政部頒布綠建築解說與評估手冊(92年)，國內綠建築的九大指標分為生態(包括生物多樣性、綠化量、基地保水三指標)、節能(日常節能指標)、減廢(包含二氧化碳及廢棄物減量二指標)、健康(含室內環境、水資源、污水及垃圾三指標)等四大部分。一幢建築物至少需符合包含日常節能、水資源及其餘任意 2 個指標共計 4 個指標才能取得綠建築標章。國內取得綠建築標章的建築物自 98 年底有 288 件(財團法人台灣建築中心，99年)，大專院校、高中/職、國中小學校通過認證有 77 件，其中 16 所大專院校有 24 件。由於九大指標中，部分指標已在其他指標中評估，故未納入，而其他指標並不易進行全校性的評估，故本研究最後採用綠建築比率為指標，唯單以通過綠建築標章的建築數(或樓地板面積)比率不太能反應逐年努力的改善績效，例如案例學校屬舊學校，不少舊館舍在缺乏經費下不易馬上改善，而館舍改善在滿足綠建築要求前，任何改善都不會反應在此指標上，而要滿足綠建築要求，需要一段很長的時間及投資方能達成，因此此指標可能由於不易改善反而不受重視，未來有必要建立一套適當的指標，評估校園建築逐年改善的績效。

## 2.4.6 廢棄物

都市人口較集中，產生大量的生活廢棄物，廢棄物管理將影響後續處理的困難，因此廢棄物也是各大都市或區域需面臨的問題，在數年前國內也曾面臨廢棄物處理的困境。因此，部份永續發展指標也常將固體廢棄物指標納入。例如葉(92年)指出聯合國永續發展指標、Sustainable Seattle(1998)和國內如黃等(86年)亦在台北市永續發展指標系統，均將固體廢棄物指標納入。

校園是師生聚集的區域，亦經常產生可觀的廢棄物，國內外大學因而也將廢棄物納入永續大學評估指標，例如美國 National Wildlife Federation (NWF, 2010)在 Campus Ecology 計畫中建議將固體廢棄物(Waste)納入評估指標，UC Berkeley (UC Berkeley, 2010)也將固體廢棄物(Waste)納入永續大學評估指標中；國內葉(91年)在綠色大學指標系統及高雄大學(劉，98年)亦均納入固體廢棄物管理指標。本研究亦將此項指標納入永續大學評估指標中。

有關校園固體廢棄物指標評估方式，UC Berkeley (UC Berkeley, 2010)、Hervard University (Hervard, 2010)均以資源回收率及人均廢棄物處理量計算，國內高雄大學(劉，98年)及臺北醫學大學(張等，98年)亦採類似的評估方式。廢棄物產量以運送至處理場年總量為基礎，而人數的多寡將影響廢棄物產量，提高資源回收率除可降低廢棄物量，亦可獲得回收利益；以人均廢棄物產量評估較能反應每個人廢棄物產量。因此，本研究亦採取以資源回收率及人均廢棄物產量評估永續大學。

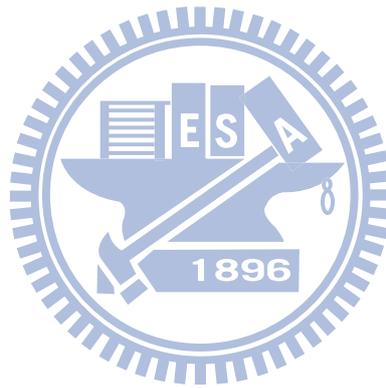
## 2.4.7 綜合評估

前述的指標大多是針對單一面向評估校園的永續性，雖然之前所選擇的各面向都與校園永續性有密切的關連，但太多的個別指標，評估時較不易解讀，若能建立單一的綜合性指標，會較好應用。Wackernagel and Rees (1996)提出「生態足跡」(Ecological Footprinting, EF)評估方法，將資源消費與廢棄物吸收等以能夠涵容的土地面積來估算。EF 已為 World Wildlife fund for Nature 所採用(WWF, 2009)，且逐年計算及公佈各國歷年的 EF 值。

國際上亦已有一些大學計算 EF 指標，Flint(2001)說明如何計算澳洲 University of Newcastle 的 EF 值，Venetoulis (2001)計算美國 University of Redlands 的 EF 值，Dawe (2004) 計算英國 Holme Lacy College 的 EF 值，Li *et al.* (2008) 則說明如何計算校園的 EF 值。國內蔡(94 年)也以此方法評估國立高雄大學的永續性，其指出師生在校園生活消費而對環境產生衝擊的程度以生活所需物品及污染物產量多寡需多少土地面積來生產或淨化處理，作為評估對環境的衝擊及是否邁向永續性。由於綜合指標在使用上頗為方便，加上國內雖已有研究採用此方法計算校園的 EF 值，但經驗仍不多，故本研究亦將此指標納入永續大學評估指標系統中。

有關 EF 值之計算，李(89 年)指出 Wackernagel and Rees (1996)所建議的計算方式是將消費行為分類為糧食(Food)、住宅(Buildings)、運輸系統(Transportation)、消費品(Consumer goods)、及服務(Services)等五大類，上述五大類所需土地或所消耗之能源所排放之碳，轉換為所需涵容之土地面積。Wackernagel and Rees (1996)進一步指出每年每公頃森林地約可淨吸收 1.8 公噸碳，Flint (2001)將此碳吸收值依分子式換算成每年每公頃森林地可吸收 6.6 公噸二氧化碳。因此，將年生活消費物所產生 eCO<sub>2</sub> 之量除以 6.6 公噸即可得 EF 值，EF 值愈大所需涵容土地面積愈大。由於本研究案

例學校的食物採外包方式處理，不易取得詳細資料；師生個人所使用之汽、機車，涉及人、車眾多不易收集，本研究採用類似蔡(95年)的方式計算校園的生態足跡。雖然各校評估 EF 值所採用項目並不相同，但依能源、食物、交通(包含交通車運輸)、日常服務(包含用水及廢棄物)等項目所計算 EF 值均約佔 90 % 以上，與交大評估項目大致相同，故本研究最後以能源、水資源、廢棄物、交通、及紙類等五類作為校園 EF 計算的基礎。



## 第三章 研究方法

本研究主要目的在於建立一套綜合大學永續性評估指標。本章首先概要說明研究流程，接著詳細說明指標篩選原則、篩選流程，以及如何建立綜合大學永續性評估指標。

### 3.1 研究流程

本研究流程如圖 3.1 所示，包括收集相關文獻資料、評估永續性的主要面向、建立指標篩選原則與流程及建立綜合大學永續性評估指標，最後以交通大學為案例建立永續評估指標，以下一一概要說明之。

- (1) 收集資料: 收集國內外評估大學永續性相關之文獻，針對校園之能源與溫室氣體、水資源、毒性物質、綠建築、廢棄物及綜合等面向，收集相關資料。
- (2) 決定評估永續性的主要面向: 雖然永續校園是各大學正追求的目標，但對於校園永續性的定義目前尚未有一致的定義，更無法以單一面向評估之，故本研究首先決定評估永續性的主要面向，以界定後續建立指標之範疇。依據綜合大學的特性及評估其永續性的需求，本研究選擇一些主要面向建立相關子指標，以下說明各面向的內容及選擇的原因:
  - (a) 能源與溫室氣體排放: 綜合大學之電力使用量大，會耗用能源，更會因此排放溫室氣體，而排放溫室氣體是造成地球暖化的主因之一，故有必要納入評估。
  - (b) 水資源: 由於氣候變遷及人口成長的因素將導致水資源愈來愈不足，大學是人口集中用水量大的單位，因而有必要納入水資源為評估主要面向之一。

(c) 毒性物質：綜合大學因研究、教學而使用一些毒性物質及化學品，無論毒性化學物質或化學品對環境或人均會產生危害，故有必要納入毒性物質類評估之。

(d) 生態：大學校園內水泥建築物、道路、停車場、跑道鋪設柏油及PU等不透水材質，不僅增加熱島效應，也影響生物棲息，破壞生態，亦降低土壤保水能力及增加地表逕流，故有必要納入評估。

(e) 綠建築：上萬師生在校園建築內研究、讀書、並生活，建築物不僅影響人體健康也會影響環境，且建築一般會使用數十年，故亦應納入評估中。

(f) 廢棄物：教職員生產大量的一般性廢棄物，影響後續處理及環境，廢棄物的減量、回收因而是評估大學是否有邁向永續的重要面向。

(g) 綜合面向：師生在校園內的各種活動或行為，包括消費行為及耗用各種資源等均會對環境造成影響，因而有必要將綜合面向納入校園永續性的評估面向之一。

(3) 建立指標篩選原則與流程：在眾多指標中，依據本研究的需求，建立指標篩選原則，刪除不符合的指標，此部分將於3.2節詳細說明之。

(4) 建立綜合大學永續性評估指標：依據前項篩選原則與流程，篩選出適合綜合大學特色的永續性評估指標，並建立一套評估標準，以評估綜合大學的永續性，此部分將於3.3節詳細說明之。

(5) 案例研討：本研究將以交通大學為案例建立永續性評估指標，探討建立各子指標及永續性評估指標的可行性，及分析指標適用性與實用性，並將評估結果與收集到的文獻作比較，討論及分析其中的差異性，及分析校園是否邁向永續。此部分將於下一章詳細說明之。

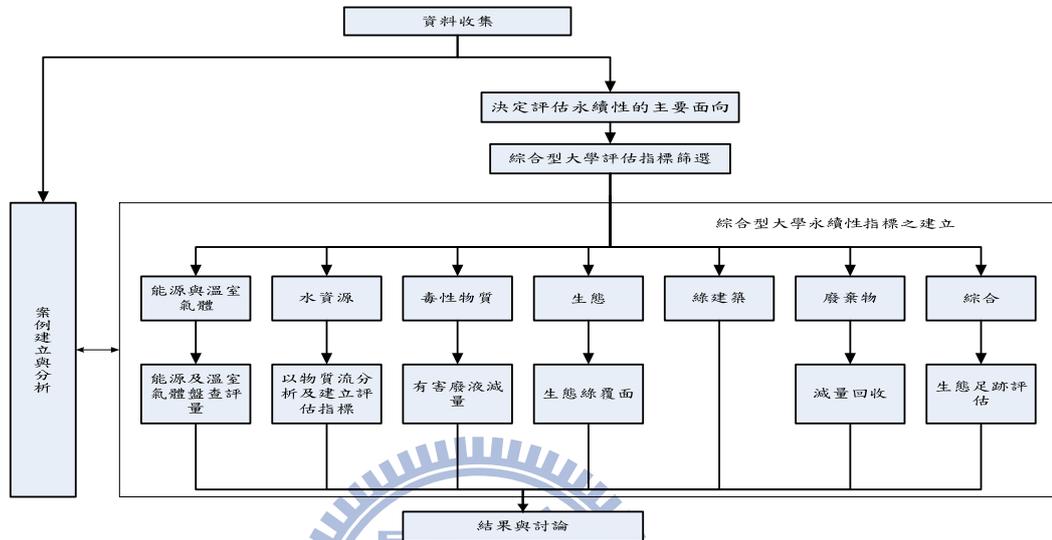


圖 3.1 研究流程圖

## 3.2 指標篩選原則及流程

### 3.2.1 永續性指標

本研究收集了前述校園永續性擬評估面向相關的指標(如黃，89年；李，89年；陳，94年；蔡，94年；謝，91年；綠建築解說與評估手冊，96年；SDUD, 2010；Yeh, 2006；UC Berkeley, 2005；Konstantinos, *et al.*, 2008；Lukman *et al.*, 2008；Velazquez, *et al.*, 2005；Alshuwaikhat, *et al.*, 2008)，有些指標如成立專責一級單位等要求，雖可作為評鑑用的指標，且與校園永續性有很關鍵性的影響，但不適合作為長期自我評估校園永續性用的指標，故未納入，最後共整理了41個指標，如表3.1所列。該表分別列出各指標之名稱、分類、計算方式、出處等(其中所列的篩選原則將於下一小節中說明)，首先將這些指標依本研究評估校園永續性的主要面向分為

能源與溫室氣體、水資源、毒性物質類、生態、綠建築、廢棄物、及綜合與其他等七大類。各類指標簡要說明如下：

- (1) 能源與溫室氣體類：與因使用能源而增加溫室氣體有關之指標則歸類為能源與溫室氣體指標類，此類指標主要評估能源消耗之情況及所產生的溫室氣體之影響，例如耗油量、耗電量、消耗瓦斯量等指標。
- (2) 水資源類：與供水用水有關之指標則歸類為水資源類，例如每人用水量、實驗室冷凝水回收再利用、雨水及中水回收利用、建築物閥基水使用等指標。
- (3) 毒性物質類：與使用毒性物質或化學品有關之指標歸類為此類指標，此類指標主要評估毒性物質或化學品的使用及後續產生的影響。例如校園有害物質風險評估指標、實驗室高濃度有害化學廢液產生量、實驗室重金屬物質的排放量、實驗室輻射性廢棄物的產生量、及實驗室廢氣排放量等評估指標。
- (4) 生態：與生態有關的指標即歸類為此類指標，例如生態綠覆面積、透水鋪面面積、渠道以生態工法施作之比例等指標。
- (5) 綠建築：台灣採用的綠建築指標共有九大評估指標(林,95 年)，包含生態(包括生物多樣性、綠化量、基地保水等三指標)、節能(包括日常節能)、減廢(包括二氧化碳及廢棄物減量二指標)、與健康(包括室內環境、水資源、污水垃圾改善等三指標)等面向。本類指標主要是以建築物為評估對象，例如二氧化碳減量，係計算建築物之建材二氧化碳累積排放量是否符合該項評估標準。
- (6) 廢棄物：與廢棄物相關之指標則歸類為廢棄物類，此類指標可說明廢棄物處理狀況。例如校園固體廢棄物量、資源性廢棄物回收量、廢水處理量、校園廚餘回收處理量、及室外空氣品質等評估指標。

(7) 綜合：包括綜合性的指標，如生態足跡，此指標是將區域人口的消費行為及產生的污染物轉換為每人消耗的土地面積，其他指標則是與校園生活環境及教育有關之指標，例如投資永續校園改善的支出、學生密度、設立校園永續發展教育課程、及綠色物品採購比率等。

表 3.1 校園永續性指標

分類	指標名稱	計算方式	篩選原則	出處
能源與溫室氣體類	校園耗電量	總耗電量(度)/(人×年)	(4)	A,I,H
	校園耗油量	總耗油量(公升)/(人×年)	(4)	A,H
	學生宿舍天然氣消耗量	總消耗量(度)/(人×年)	(4)	A,H
	校園節能效率	(去年耗能量-今年耗能量)/去年耗能量	(4)	H,I,M
	人均使用電量	每人使用電量(度/人)	(4)	D,I
	替代能源使用率	使用替代能源量/能源總使用量	(4)	M
	校園溫室氣體排放量	以 eCO <sub>2</sub> 總量(ton)計算，並以人均及樓地板單位面積量評估	-	A,I,H
水資源類	用水量	總耗水量，以人均及樓地板單位面積用水量計算	-	C,H
	實驗室冷凝水回收再利用	冷凝水回收量(m <sup>3</sup> )	(2)	H
	雨水及中水回收水利用率	回收水量/總用水量(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	(2)	C,I,H
	校園建築物閥基水使用	使用水量/年(m <sup>3</sup> /年)	(2)	H
	校園飲水機生菌指標合格率	合格次數/檢驗次數	(3)	H
	校園節水率	(去年耗水量-今年耗水量)/去年耗水量	(4)	I

表 3.1 校園永續性指標(續一)

毒性物質類	校園有害物質風險指標	化學物造成急性危害	(2)	D,H
	實驗室高濃度有害化學廢液產生量	年實驗廢液量/實驗室(公斤/實驗室)或年實驗廢液量/人(公斤/人)	-	H
	實驗室放射性廢棄物產生量	輻射廢棄物產生量(噸/年)	(3)	A
	實驗室重金屬物質的排放量	重金屬物質排放量(噸/年)	(2)	H
	實驗室廢氣排放量	排放量/年(m <sup>3</sup> /年)	(2)	H
生態類	生態綠覆面積比率指標	生態綠覆面比率= 有效生態綠覆面積÷土地總面積 有效生態綠覆面積= 特定型態表面積×生態權數	-	G
	校園綠覆面積	綠覆面積(m <sup>2</sup> )/校地總面積(m <sup>2</sup> )	(2)	A,D
	校園透水鋪面面積	透水鋪面面積(m <sup>2</sup> )/校地總面積(m <sup>2</sup> )	(2)	A
	校園渠道以生態工法施作之比例	生態法施作長度(m)/校園總渠道長度(m)	(2)	H
	校園綠地面積	每人享有綠地面積	(4)	D,H
綠建築	綠化固碳量	基地綠化之總 CO <sub>2</sub> 固定量計算值(kg) > 綠建築綠化之總 CO <sub>2</sub> 固定量基準值(kg)	(2)	F
	基地保水	基地保水指標 > 基地保水指標基準	(4)	F
	日常節能	建築外殼節能效率 < 0.8	(3)	F
	二氧化碳減量	建築物軀體 CO <sub>2</sub> 排放係數 < 0.88	(3)	F,H
	廢棄物減量	營建污染指標(PI) < 3.3	(2)	F
	室內環境	以音、光、通風、及室內裝修加權計算 > 60	(2)	F
	校園綠建築比率	綠建築合格面積/校園總建築物面積(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	-	H
廢棄物類	校園固體廢棄物量	固體廢棄物產生人均量(公斤/人-年)	-	D,H
	校園資源性廢棄物回收量	回收人均量(公斤/人-年)	-	D,H,I,K,M
	廢水處理量	廢水處理量(m <sup>3</sup> /年)	(3)	A,H
	學校廚餘回收處理量	處理量/年(公噸/年)	(4)	H
	校園室外空氣品質	24 小時偵測總懸浮微粒 (TSP) < 250(μg/m <sup>3</sup> )	(1)	H

表 3.1 校園永續性指標(續二)

綜合	生態足跡	生態足跡= 總消費量×土地使用轉換係數 yield	-	B
	投資永續校園改善的支出	每年投入改善環境的金額(元/年)	(3)	E,I, M
	學生密度	學生人數/總樓地板面積(人/m <sup>2</sup> )	(3)	E
	設立校園永續發展教育課程	學分數/學生人數	(2)	H,J
	落實 ISO14001 環境管理系統	落實系、所的數量/全校各系、所的總量	(2)	H,J, M
	綠色物品採購比率	(總消費品採購金額—綠色標籤產品採購金額)/年(元/年)	(2)	H

篩選原則：(1) 可改善性；(2) 資料可及性；(3) 代表性；(4) 相關性

出處：A：黃(89年)；B：李(89年)；C：陳(94年)；D：蔡(94年)；E：謝(91年)；F：綠建築解說與評估手冊(96年)；G：SDUD (2010)；H：Yeh (2006)；I：UC Berkeley (2005;2010)；J：Evangelinos *et al.* (2008)；K：Lukman *et al.* (2009)；L：Luis Velazquez *et al.* (2006)；M：Alshuwaikhat *et al.* (2008)。

### 3.2.2 篩選原則與流程

由於校園永續性不易以單一指標評估之，故一般是以多個子指標組成，但子指標數太多會造成評估的複雜度及增加指標資訊建置的人力需求與成本，加上有些子指標並不適用，故有必要建立一些原則篩選指標。本研究因而參考過去文獻(如黃，89年；陳，94年；蔡，94年；謝，91年；Yeh, 2006)，並依據本研究需求，訂定可改善性、代表性、資料可及性及相關性等四項指標篩選原則，以下分別說明之。

- (1) 可改善性：一部份指標雖然與校園永續性有關，但受外在因素影響，並非大學可控制或改善的指標，如受校園附近工廠所排放廢氣的影響，因此對於因校園外所產生污染所影響的指標則暫不納入。
- (2) 資料可及性：由於永續指標是長期且經常性進行評估，故宜選擇經常統計且數據易於取得之指標。但對於不容易取得、操作或難以界定，或建立成本太高，則宜考量放棄該指標或以其他指標替代之。

- (3) 代表性：部分指標雖然與環境永續性相關，但其值之變化不一定代表校園永續性。例如綜合性大學使用輻射物質或設備之數量增加，有可能是與輻射相關之研究增加，故不宜以輻射物質總量作為評估永續性的依據，此方面若要評估，應以是否有妥善防護及處置為主要評估對象。此外，由於本研究主要目的是評估整體校園的永續性，雖然部分指標適合評估校園局部的永續性，但並不適合用以評估整體校園的永續性，這類指標亦暫不納入。
- (4) 相關性：在收集的眾多指標中，有些指標評估的目的或性質相似或相關，為避免重複，對於目的或性質相似或相關的指標以擇一，其他指標不重複納入。

依據上述四大原則，本研究主要依據以下二個步驟進行篩選：

- (1) 首先依可改善性的原則篩選出大學可以執行或改善的評估指標。接著依資料可及性挑選出有數據可供計算之指標。
- (2) 依代表性原則篩選出有效且適切衡量所討論之變數項目的指標。並依相關性原則將目的或性質相似的評估指標予以刪除。

### 3.2.3 指標篩選

本研究針對目前所收集到的 41 個指標，應用前述之篩選原則與流程進行篩選，結果說明如下：

- (一) 依可改善性的原則挑選出可控制運作的指標，並依資料可及性原則篩選指標，其詳細篩選過程如下：
- (1) 可改善性的原則：目前國內大學永續性指標，有些受外在的因素影響，造成大學無法控制或改善，例如室外空氣品質等 1 個指標，由於校園空氣品質受周遭的空氣污染源所影響，並非校園本身有能力改善，只有在品質惡化時向主管單位反應，故予以刪除。

(2) 資料可及性原則：因數據要易取得才能長期且連續的評估，於是將目前較難收集到數據之指標刪除，例如人均使用電量、校園能源使用效率、實驗室冷凝水回收再利用、雨水及中水回收利用率、建築物閥基水使用、校園有害物質風險、實驗室重金屬物質排放量、實驗室廢氣排放量、校園綠覆面積、透水鋪面面積、渠道以生態工法施作之比例、綠建築中之綠化固碳量、廢棄物減量、室內環境、及綜合類之設立校園永續發展教育課程、落實 ISO14001 環境管理系統、及綠色物品採購比率等 17 個指標予以刪除。

(二) 以代表性原則篩選有效且適切衡量較高的指標，並依相關性原則篩選目的或性質相似的指標，詳細篩選過程如下：

(1) 代表性原則：篩選有效且適切衡量較高的指標。對於部分指標雖然與環境永續性相關，但無法適切反應校園永續性，例如校園飲水機生菌指標合格率、放射性廢棄物的產生、日常節能、二氧化碳減量、廢水處理量、投資永續校園改善的支出、及學生密度等 7 個指標，其值之變化不一定代表校園永續性有所改變。故這些指標則予以刪除。

(2) 相關性的原則：眾多指標中，有些指標的性質或目的相似或相關，對於這類指標須予以刪除，例如耗電量、耗油量、天然氣消耗量、校園節能效率、人均使用電量、及太陽能等替代電力使用率等指標，其目的與溫室氣體排放指標相似；校園節水率與用水量指標相似；校園綠地面積及綠建築之基地保水等指標與生態綠覆率相似，故以上指標則予以刪除。

經上述四種指標篩選原則刪除三十三個指標，剩下能源與溫室氣體類指標、水資源指標(人均用水量)、高濃度有害廢液產生量、生態綠覆面積比率、校園綠建築比率、固體廢棄物類指標(含廢棄物產生量與資源回收量)及生態足跡等評估指標。這些指標基本上已涵蓋目前能評估的面向，下一

節將探討各指標的資料收集與計算方式，雖然其他指標未被列入，但部分指標仍會納入計算，例如節能指標等，作為評估的參考數值及日常管理用的子指標。

### 3.3 校園永續性評估指標之建立

依據指標篩選及評估校園永續性需求，本研究最後選擇能源及溫室氣體、水資源、高濃度有害廢液、生態綠覆面積比率、校園綠建築比率、固體廢棄物、及生態足跡等評估指標建構一套指標系統評量綜合大學的永續性，以下各節一一說明之。

#### 3.3.1 能源與溫室氣體指標

此指標主要分別以人均及單位樓地板能源使用量及溫室氣體排放量作代表，節約能源及提高能源使用效率是校園永續的重要一環，故有必要評估之。而換算成 eCO<sub>2</sub> 總量提供不同能源間一致的比較基準，較易於評估，唯國內各大學目前並沒有進行溫室氣體盤查，而要進行詳細的盤查，對本研究而言並不易進行，即使國外大學亦很少進行全面盤查，故本研究採用類似美國加州柏克萊大學 (Berkeley, 2010) 的盤查方式，選擇估溫室氣體最大宗的能源進行評估，主要分為電力、油量及天然氣三類。依各能源總量使用所排放的溫室氣體，再依其佔總量的可能比例推估溫室氣體總量，除了用以評估溫室氣體排放量，此方式亦可作為不同能源的綜合評估指標。各能源的溫室氣體排放係數是採用台灣電力公司、自來水公司、台灣中油公司(98年)所公佈資料，如表 3.2 所列。各能源年度使用量換算成 eCO<sub>2</sub> 後再加總為年度溫室氣體總量，然後再計算人均及單位樓地板面積之排放量。採用樓地板面積計算的主因在於人數活動資料不易掌握，故假設人數活動與樓地板面積成正比，故亦採用樓地板面積為評量的基準。

表 3.2 各項能源消耗所產生二氧化碳量之係數

能源別	電力 (度)	太陽能 (度)	自來水 (度)	瓦斯 (M <sup>3</sup> )	天然氣 (M <sup>3</sup> )	汽油 (L)	柴油 (L)	廢棄物 (kg)
CO <sub>2</sub> 排放係數 (kg/能源別)	0.637	0	0.195	3	2	2.24	2.7	2.06

資料來源：台灣電力公司，自來水公司，台灣中油公司，胡(96年)。

此外，雖然表 3.1 中所列此類指標中的其他指標未被選為評估永續校園的主要指標，但部分指標在計算過程即會使用，對於日常管理亦甚為重要，且會顯著影響溫室氣體指標值，故亦納入計算，包括各能源使用量、節能效率等，替代能源使用量亦甚為重要也應納入，唯因目前案例學校並沒有採用，故目前為零。

### 3.3.2 水資源類指標

水資源部分主要是參考陳(94年)的研究，亦採用物質流的方法來分析校園水資源使用情形，並建立相關指標，將分為以下三個步驟進行：

1. 資料盤查：主要依圖 3.1 所示的流程，收集及處理所需要的資料。
2. 物質平衡：依據質量守恆定律建立校園的水平衡，圖 3.2 為本研究所採用的水平衡模式。依該模式計算用水量，如圖 3.3 為交大校園 97 年度自來水物質流系統圖。
3. 計算指標：如同溫室氣體指標，亦分別計算人均及單位樓地板面積之用水量。

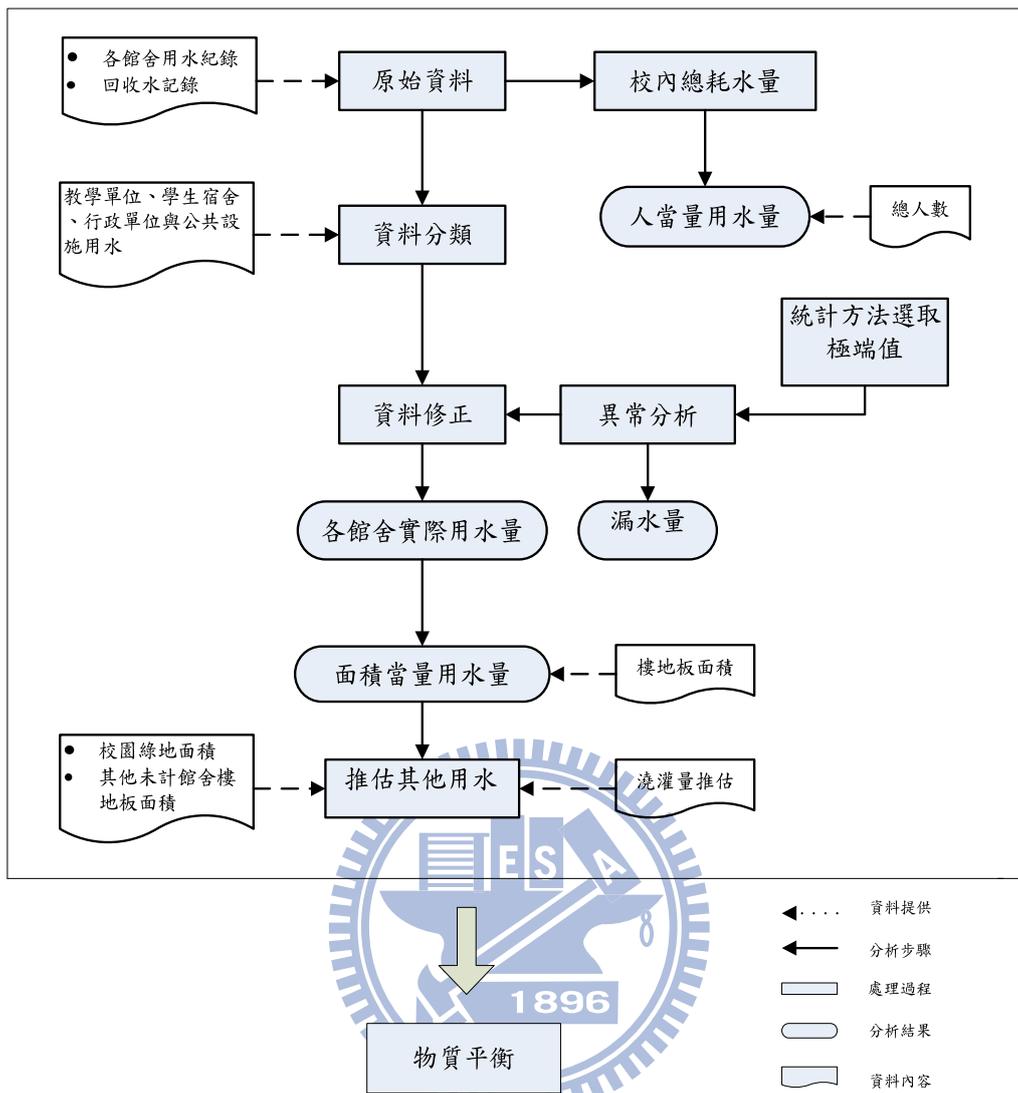


圖 3.2 自來水資料取得與處理步驟(資料來源：修改自(陳,94 年))

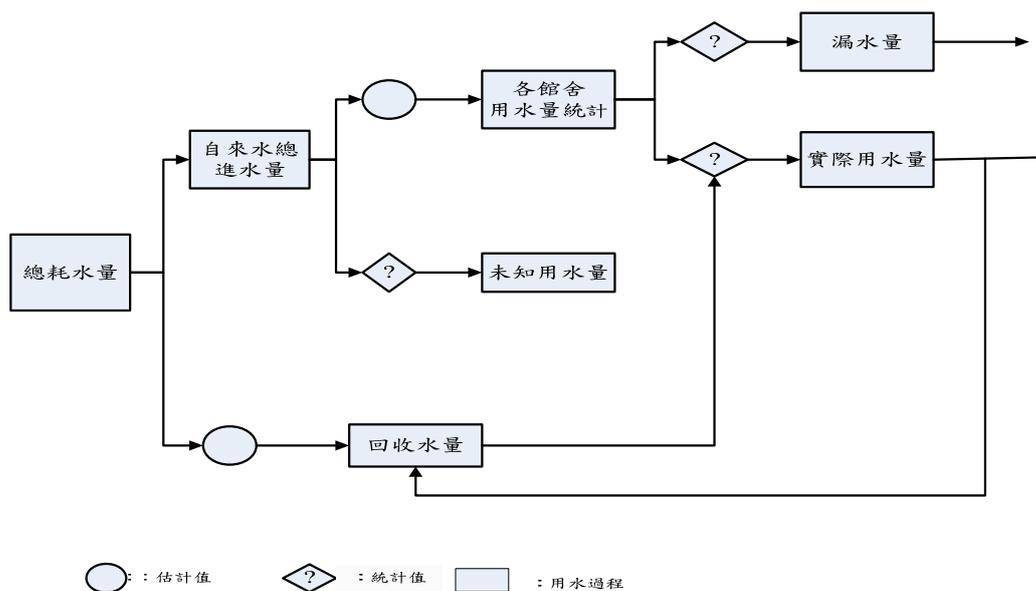


圖 3.3 自來水物質流平衡模式(資料來源：修改自(陳,94 年))

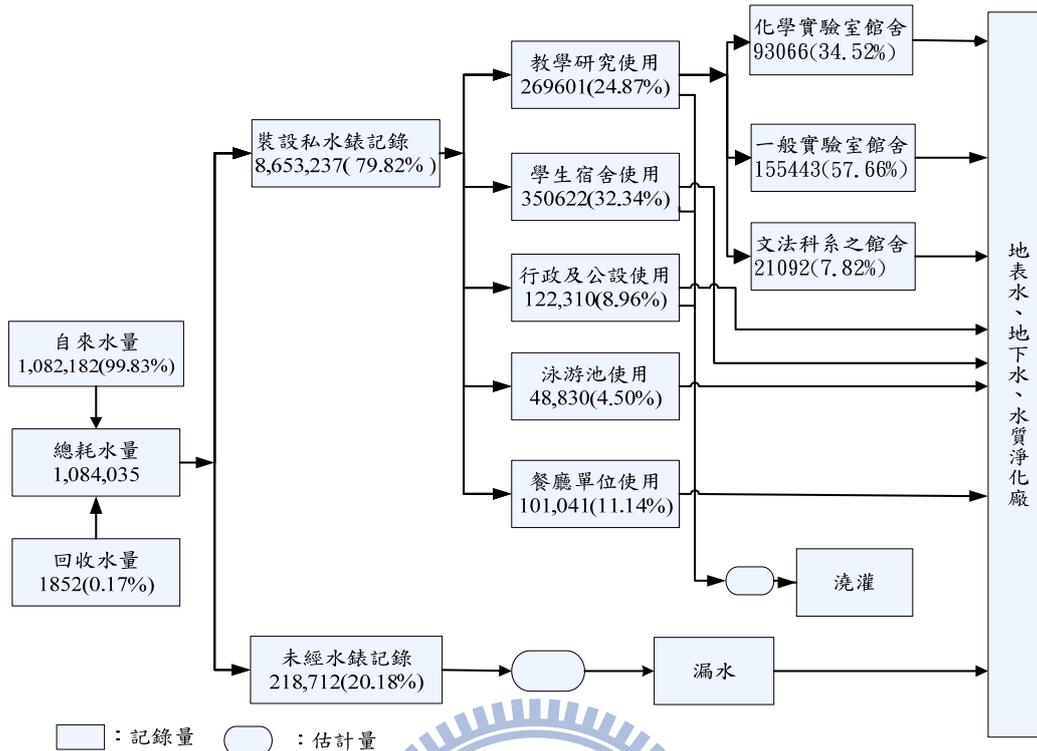


圖 3.4 交大校園 97 年度自來水物質流系統圖

### 3.3.3 高濃度有害廢液指標

綜合大學使用多種化學物質，包括毒性化學物質、有機、無機等一些含有重金屬之化學品，均是具有危害的物質，故有必要妥善管理及減量，因種類眾多且分散各化學實驗室中使用，如理、工、電機、生科等學院皆設有化學實驗室，雖然源頭管理是較有效的管理方式，但目前全由各實驗室依研究所需化學品逕行採購，學校目前尚未設有化學品統一採購集中管理單位，且所屬研究經費也自行控管，故尚無法針對源頭的化學品或經費作管理。

由於目前還無法進行源頭管理，則只好作管末管理，目前由環安中心將實驗後高濃度廢液依有機、無機廢液收集委託合格廠商代處理，由於並非所有系所皆為化學相關的實驗室，若以全校人數為依據，並不是適當的指標，故本研究主要以應用化學系所、生物科技學系所、材料工程學系所、環境工程研究所、電子工程學系所、電子物理系所等系所實驗後所產生高

濃度廢液量及這些系所專任教師與註冊學生人數(含大學部及碩博士研究生)作為建立指標依據，另國家毫微米實驗室(簡稱 NDL)係國科會所屬單位，自行管理運作而未納入本研究中。故本項指標將依以下公式計算：

$$\text{廢液指標 (kg/人)} = \frac{\text{高濃度有害廢液年產量 (kg)}}{\text{實驗場所教職員生數 (人)}} \quad (3.1)$$

### 3.3.4 生態綠覆面積比率指標

此指標本研究選擇德國柏林市所採用的 BAF (Biotope area factor)(SDUD, 2010)指標評估，BAF 是適合植物生長且具有其他生態系統功用的面積比率，BAF 所擬達成的環境品質目標有以下四項：

1. 維護及改善微氣象及大氣衛生(hygiene)
2. 維護土壤功能及水平衡
3. 創造及改善植生品質與動物棲息地
4. 改善居住環境

該指標考量各種綠覆面，而不是只考量綠地，較適合作為評估校園生態面向的永續性，其計算公式如下列：

$$\text{BAF} = \frac{\text{有效生態綠覆表面積 (ecologically - effective surface areas)}}{\text{總土地表面積}} \quad (3.2)$$

針對不同覆面採用不同生態權數計算，不同覆面型式說明及所採用之生態權數值如表 3.3 所列。該市針對不同型式建築與區域建議了不同 BAF 指標建議值，如表 3.4 所列，且要求所有新建築及區域都應至少達到建議值，BAF 值愈大表示生態綠覆面愈大，雖然目前校園內的綠屋頂及綠牆並不多，但已有一些透水鋪面及綠鋪面，此指標較能反應出這些努力及改善。校園 BAF 資料盤查與計算流程如圖 3.5 所示

表 3.3 BAF 生態權數值表

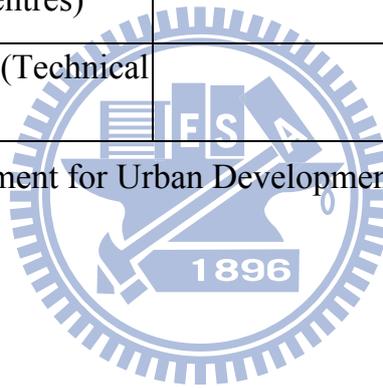
表面型態	特徵	權數
密封表面(Sealed surfaces)	水、空氣無法滲透及沒有植物生長的表面	0
部份密封表面 (Partially sealed surfaces)	水、空氣可滲透，但植物無法生長的表面	0.3
半開放表面(Semi-open surfaces)	水、空氣可滲透，植物可以生長的表面	0.5
植栽表面但不與地下土壤連接 (Surfaces with vegetation,unconnected to soil below)	地下停車場上有植栽覆蓋的表面，但土壤厚度小於 80 公分	0.5
植栽表面但不與地下土壤連接 (Surfaces with vegetation,unconnected to soil below)	地下停車場上有植栽覆蓋的表面，但土壤厚度大於 80 公分	0.7
與地下土壤連接的植栽表面(Surfaces with vegetation,connected to soil below)	有植物覆蓋的表面且與地下土壤連接，可以容許植物和動物生長的區域	1
雨水入滲，以屋頂面積 $m^2$ 計算 (Rainwater infiltration per $m^2$ of roof area)	雨水透過植物入滲補助地下水	0.2
垂直的綠覆面，並以不超過 10 公尺計算 (Vertical greenery up to a maximum of 10 m in height)	有植物覆蓋的牆面	0.5
屋頂綠覆面 (Greenery on rooftop )	屋頂上充分用植栽覆蓋的表面	0.7

摘譯自：Senate Department for Urban Development (2010)

表 3.4 德國柏林市對各種類型建築之 BAF 最小建議值

建築物改造或增建	BAF 最小建議值
住宅區(Residential units)	0.6
商業使用(Commercial use)	0.3
主要區域之典型使用(Typical use in key areas)	0.3
公共設施(Public facilities)	0.6
學校(Schools)	0.3
幼稚園或白天照護中心(Nursery Schools and Day Care Centres)	0.6
科技基礎結構 (Technical Infrastructure)	0.3

資料來源:Senate Department for Urban Development (2010)



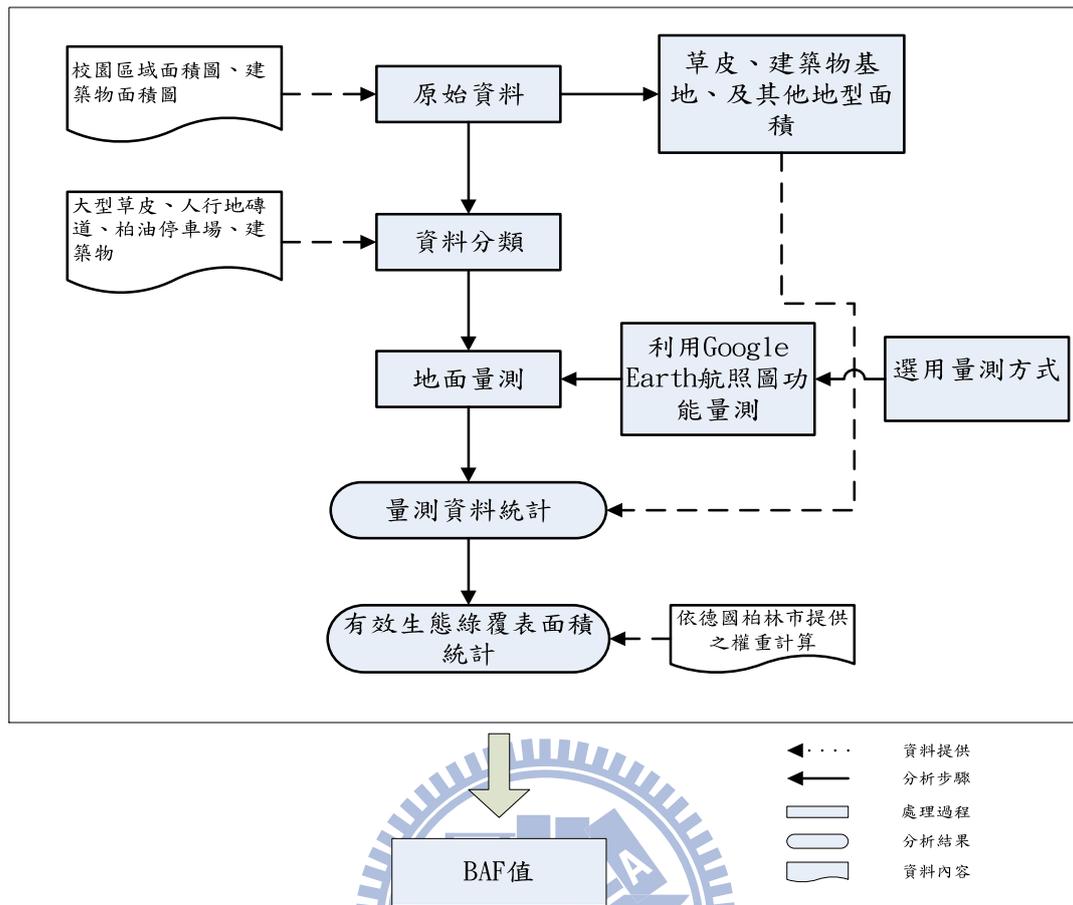


圖 3.5 校園 BAF 資料盤查與計算流程

### 3.3.5 校園綠建築比率指標

雖然綠建築有九大子指標可用以評估，但主要是針對單一建築物評估，並不是針對整個校園，雖然亦可擴大至所有建築物，但需要所有建築物一一收集相關資料，這不是本研究所能完成，且其中一些子指標在其他指標亦已有反應，故本研究最後只採用以校園內總樓地板面積，通過綠建築認證之比率來評估綜合大學永續性。唯校園大部分是舊建築，如何以成本效益較高的方法改善綠建築，是一個值得重視的議題，此部分校園內作得還很少，故目前無論新舊館舍仍是掛零。未來若有推動及取得認證，則可考量依以下公式計算指標值。

$$\text{綠建築比率} = \frac{\text{通過綠建築認證樓地板面積}(m^2)}{\text{全校總樓地板面積}(m^2)} \quad (3.3)$$

### 3.3.6 固體廢棄物指標

校園因師生聚集，產生大量生活廢棄物，其中含有大量資源性廢棄物，為了資源有效再利用及減少校園廢棄物量與處理成本，以提高校園的永續性，故廢棄物是一個常被考量的因子，如美國 UC Berkeley (2010) 在其校園永續性廢棄物的未來目標中，即考量了此指標，並設定 2012 年 6 月前有 75% 的廢棄物回收或堆肥轉換率，及 2020 年零廢棄物的目標。廢棄物指標主要有二個評估重點，首先是量的減少，其次是分類回收量的增加，雖然分類回收資源性廢棄物以降低生活廢棄物量是促進校園永續性重要的一環，但若只有增加回收量而沒有作到實質總產生量的減量，仍然不是一個永續的校園，故本研究主要以垃圾人均量及回收人均量作為評估校園永續性的指標之一。

此指標資料來源主要是依據進入新竹市環保局所屬地磅站及實際回收申報量，加以校園基本資料統計分析所得結果。本項指標依以下二個公式建立之：

$$\text{回收率} = \frac{\text{回收量}(\text{ton})}{(\text{垃圾量} + \text{回收量})(\text{ton})} \quad (3.4)$$

$$\text{人均量}(\text{kg}/\text{人}) = \frac{\text{垃圾總量}(\text{垃圾量} + \text{回收量})(\text{kg})}{\text{全校人數}(\text{人})} \quad (3.5)$$

### 3.3.7 生態足跡指標

前述的指標大多是針對單一面向評估校園的永續性，雖然之前所選擇的各面向都與校園永續性有密切的關連，但太多的個別指標，評估時較不易解讀，若能建立單一的綜合性指標，會較好應用，綜合性指標主要有二類建立方式，第一類是將所有擬評估的因子換算成同一種單位，例如生態足跡(Ecological footprint, EF) (Wackernagel and Rees, 1996)，將所評估的區域依其人類活動所需之物質及所產生的廢棄物量，以土地面積來生產或淨

化計算之;第二類是將一些可個別計算的子指標,依事先設定的權重建立一個綜合指標,如 Environmental Sustainability Index (ESI) 及 Environmental Performance Index (Esty *et al.*, 2005)及 Environmental Performance Index (Esty *et al.*, 2008)等指標。由於第二類指標需要先設定權重,但權重設定是一個頗主觀的過程,例如針對前述的永續指標,雖可設定這些指標的權重以建立綜合指標,但如何設定之間的權重關係,是件主觀且不是件容易的事,故本研究未採用此方式分析前述各項指標。而 EF 已為 World Wildlife fund for Nature 所採用(WWF, 2009),計算各國歷年的 EF 值,且國際上已有一些大學計算 EF 指標(Li *et al.*, 2008; Flint, 2001),本研究因而採用 EF 方法來計算,並與其他大學比較。

為了便於比較,本研究所擬計算的 EF 指標是採用類似 Li *et al.* (2008) 及 Flint (2001)所採用的部門(component) 方法計算,而不是 compound 法, compound 法適用於國家級且有詳細且完整的資料,此法在執行上由於資料不易收集完整,執行有其困難,故本研究採用部門法,選擇較重要的部門計算, Li *et al.* (2008)及 Flint (2001)二個研究所評估的部門及分類方式大致相同,但亦略有不同,例如後者將水及廢棄物再加清潔合併為服務部門,前者則將水與廢棄物個別分析。此外,雖然二者都有評估食物,但由於案例學校的食物採外包方式處理,不易取得詳細資料,故本研究未將其納入,依案例學校的特性,本研究最後依如表 3.6 所列的五大項目計算 EF 指標,以下一一簡要說明之:

1. 能源: 由於大學所使用之能源,電力主要來自於台電公司,而當前台電公司主要仍是利用煤、石油等化石燃料進行發電。為降低對溫室氣體排放,發電所產生之二氧化碳需要有足夠的林地進行吸收。Wackermagel and Rees (1996)指出每年每公頃森林地約可淨吸收 1.8 公噸碳, Flint (2001)指出,此吸收值相當於每年每公頃森林地可吸

收 6.6 公噸二氧化碳。藉由之前所計算因能源消耗所產生之 eCO<sub>2</sub> 排放數據(如表 3.2 所列)，再除以 6.6 即可算出能源之 EF 值。

2. 水資源: 日常用水轉換為生態足跡，主要考量集水區面積及淨化水質之耗能(Wackermagel, 1996)。依北部水庫集水面積及供水量計算轉換率，如表 3.5 所列，約是 90.38 公頃/百萬 m<sup>3</sup>。每度用水之二氧化碳排放當量依自來水公司公佈的數據(自來水公司，99 年)為 0.195 公斤，故大學在水資源部門之 EF 值，可依表 3.6 所列公式計算之。
3. 廢棄物: 胡(96 年)指出處理 1kg 廢棄物將排放 2.06kg 二氧化碳，廢棄物可因而先換算為二氧化碳排放量，再轉換為 EF 值。
4. 交通: 此部分如同溫室氣體之計算，將依公務汽車及公務機具設備分別依其耗油量及二氧化碳排放係數(中國石油公司，99 年)，及土地使用轉換係數計算交通的 EF 值。
5. 紙類: 由於紙主要是以林木作為原料，而每 ton 的紙需 1.8 m<sup>3</sup> 樹木製造，而每年每公頃林地生產係數約為 2.3 m<sup>3</sup>/ha/year (Wackermagel, 1996)。故依此生產係數推估紙類之 EF 值。

表 3.5 水資源集水區 EF 值轉換係數

水庫名稱	集水面積 (公頃)	總蓄水容量 (百萬 m <sup>3</sup> )	有效容量 (百萬 m <sup>3</sup> )	年供水量 (百萬 m <sup>3</sup> )	水源供給用地 (公頃/百萬 m <sup>3</sup> )
石門水庫	76,340	309.12	235.67	220.75	345.82
寶山水庫	320	54.70	4.83	15.51	20.63
大埔水庫	10,000	92.58	5.45	3.26	3,068
明德水庫	6,108	17.70	14.70	9.13	669.37
鯉魚潭水庫	5,345	126.12	122.72	774.00	6.91
永和山水庫	480	28.22	27.25	68.26	7.03
總計	98,593	628.44	410.62	1,090	90.38

資料來源：經濟部水利署，本研究整理。

表 3.6 EF 公式表

項目	內容	計算公式
能源	電力、	能源之 EF(ha)=消耗電力所產生二氧化碳 (ton/year)/6.6(ton/year-ha)
	天然氣	
水資源	自來水	水資源之 EF(ha)=用水量(m <sup>3</sup> )*集水用地轉換率(90.38 公頃/百萬 m <sup>3</sup> )+用水量*0.000195(ton/度)/ 6.6(ton/year-ha)
廢棄物	垃圾	廢棄物之 EF(ha)=廢棄物量(ton/year)*2.06(ton eCO <sub>2</sub> /ton)/ 6.6(ton/year-ha)
交通	汽油	交通之 EF(ha)=年耗油量(L)*eCO <sub>2</sub> 轉換係數 (kg/L)/6.6(ton 二氧化碳/ha)
	柴油	
紙類	用紙量	紙類之 EF(ha) =年用紙量(ton)*1.8 紙生產係數 (m <sup>3</sup> /ton)/2.3 樹木生產係數(m <sup>3</sup> /ha/year)

資料來源: Wackermagel (1996).

本研究將依表 3.6 之方式計算案例學校之 EF 值，除了分析該指標之意義及評估永續校園的適宜性，並與其他大學(如 Li *et al.*, 2008; Flint, 2002) 所計算結果比較。

### 3.3.8 綜合大學永續性指標系統之建立

大學永續性指標包羅萬象，包括環境系統(包括空氣品質、水質、廢棄物管理、毒性物質管理、生態系統等)、環境管理(包括環境系統各個項目、資源回收等)、及環境教育(包括課程與教學、教學與研究、活動與宣導等)等(陳，92 年)，但受到人力、時間有限，無法將所有面向指標一一納入本研究中。事實上，也沒有必要全部都納入，應依各校園的特性選擇適當的指標組評估校園的永續性。如圖 3.6 所示，本研究依據評估校園永續性需求，最後選擇能源及溫室氣體、水資源、高濃度有害廢液、生態綠覆面積、校園綠建築比率、固體廢棄物、及生態足跡等指標建構一套指標系統評量綜合大學的永續性。

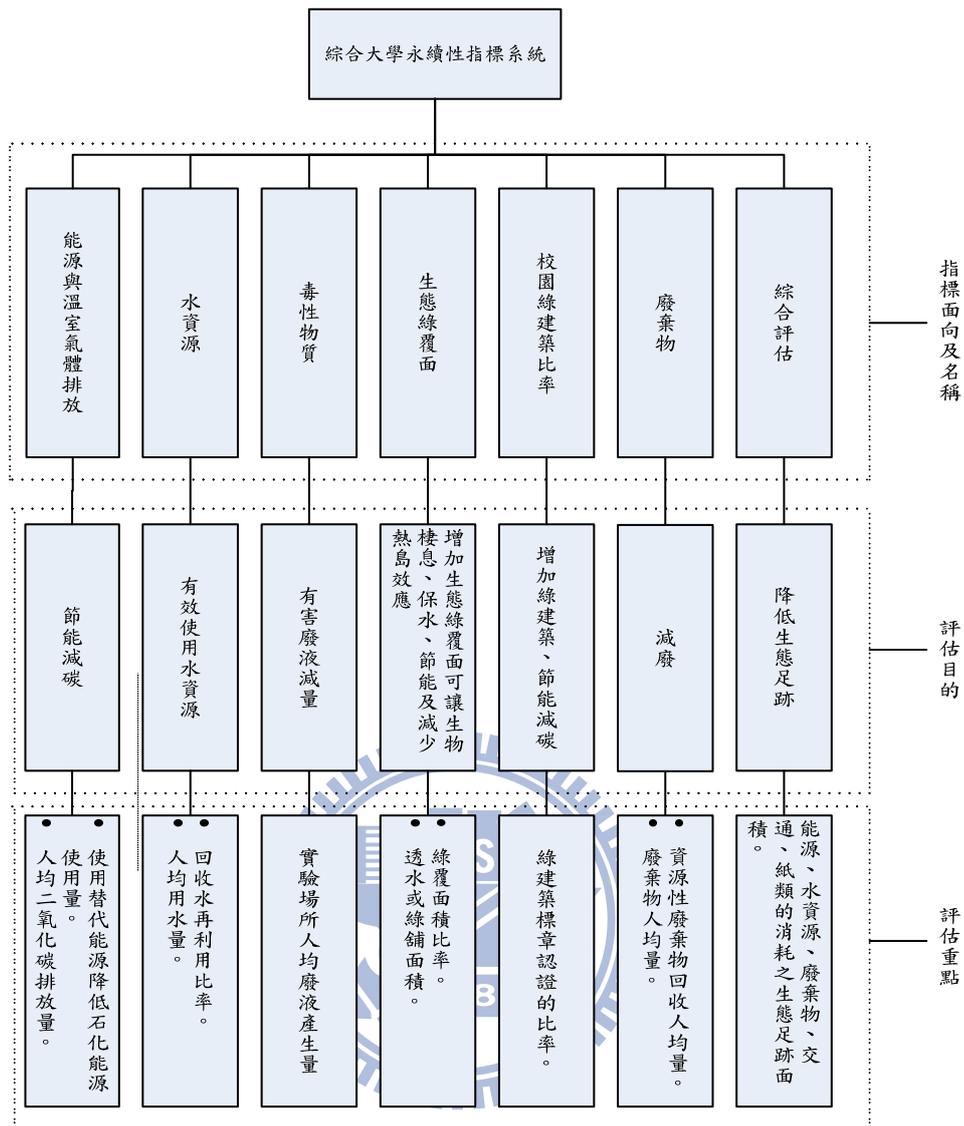


圖 3.6 案例綜合大學之永續性指標系統架構

## 第四章 案例研討

本章主要是根據第三章所篩選出來的指標，以交通大學為案例評估綜合大學的永續性。以下將就目前校園的現況，依所設定的評估目的與特性建立各指標，用以評估校園永續性，且分析及討論所得之結果。

### 4.1 案例簡介

交通大學於民國 47 年在新竹市復校，至今 50 餘年，是一所研究型綜合大學，除一般大學行政單位外，設有電機、資訊、理、工、管理、人文社會、客家文化及生物科技等學院。主要校區土地面積含光復校區 62.7 公頃、博愛校區 16.8 公頃，合計 79.5 公頃。樓地板面積：教學相關館舍有 25 幢共計 272,745 m<sup>2</sup>、行政與服務支援館舍有 23 幢共計 48,284 m<sup>2</sup>、學生宿舍有 16 幢共計 96,025 m<sup>2</sup>。學生人數約有 15,500 人、教職員工約有 1,800 人，學生住宿人數共計 7,163 人。目前雖已成立環安委員會及設置一級單位環安中心，但沒有統籌及管理校園永續性的組織或揭示永續目標，亦未建立校園永續性的相關指標，由於交大是國內一所頗具代表性的高等學府，實有必要長期持續改善校園的永續性，本研究因而試著建立前一章所篩選出的指標，並探討各指標評估校園永續性的適切性，以作為未來實際建立校園永續指標系統的重要依據。

### 4.2 能源與溫室氣體

#### 4.2.1 校園能源消耗與溫室氣體之關係

節能減碳是全世界的趨勢，亦是各校園的重要課題。溫室氣體有很多是生活中所造成的，本研究主要針對校園師生研究及生活上需要使用能源，包括消耗電力、汽柴油、及天然氣等能源，評估其所消耗能源及直接或間接排放的溫室氣體。而其他造成溫室氣體的物質，如氟氯碳化物

(CFCs)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、及氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)等，由於目前交大並無資料，故未納入評估。交通大學師生使用的能源主要有電力、天然瓦斯及交通工具用油，其說明如下：

1. 電力主要用於實驗設備、空調設備、照明、宿舍飲水電器、及餐廳廚房電器設備等。
2. 天然瓦斯用於住宿師生淋浴、及餐廳廚房爐火加熱等。
3. 交通工具用油主要用於各校區間大客車、公務車用油、割草設備等，師生個人所使用之汽、機車也是造成溫室氣體重要原因，但涉及人、車眾多不易收集，因此，這部份未納入評估。
4. 由於用水及生活廢棄物亦會產生溫室氣體，故本研究亦一併納入評估中。

#### 4.2.2 能源及溫室氣體盤查評量

本研究由校內各館舍收集了 95~97 年全校用電數據，主要分為教學研究單位、行政單位與公共設施或區域、宿舍區、及餐廳與外租單位等館舍；天然氣則用於宿舍區淋浴熱水及餐廳火爐加熱，汽柴油用於公務車輛及割草設備。依表 3.2 所列各能源之二氧化碳排放係數計算，95 至 97 年用電、用水、天然氣、用油、及生活廢棄物相關使用量及其所產生之二氧化碳量如表 4.1、表 4.2 及圖 4.1、圖 4.2 所示。

交大手抄總用電量與電力公司計價電量之差異並不算大，95 年因有部份館舍電錶未更新數位化電表，誤差約為 5%，96 年誤差約 2% 及 97 年誤差約為 1%。

依表 4.1 及 4.2 所列，交大 eCO<sub>2</sub> 總排放量約 44,000 公噸，以 97 年度為例，人均排放量約 2.79 公噸/人，樓地板面積均量約為 0.1 噸/m<sup>2</sup>。表 4.3 比較不同學校的結果，UC Berkeley 在 2008 年 209,998 公噸(UC Berkeley,

2009) , 人均排放量約 4.2 公噸/人; 國立高雄大學則為 1.1 公噸/人; 而哈佛大學是以樓地板面積均量計算 2006 年 eCO<sub>2</sub> 排放為 16 公噸/1,000 ft<sup>2</sup> 約為 0.17 噸/m<sup>2</sup>, 人均量約為 12 公噸/人(註:此為本研究依其網路公告人數 23,500 概估), 交大則為 0.1 噸/m<sup>2</sup>; UC Berkeley 的人數約為交大的 3.2 倍(49,567 人), 國立高雄大學總排放量為 6,691 噸, 換算全校人數約為 7,360 人, 為交大 0.47 倍, 人數較多的學校排放量較大, 師生人數會影響排放量的大小。

由於交大是以電力、天然氣、自來水、交通用汽油、及所產生廢棄物為基礎計算 eCO<sub>2</sub> 排放量, UC Berkeley 是以電力、天然氣、再生能源等項目為計算 eCO<sub>2</sub>, 高雄大學是以電力使用量計算 eCO<sub>2</sub> 排放量, 雖然各校計算標準不一致, 但使用電力所產生之 eCO<sub>2</sub> 值佔 80% 以上, 交大 eCO<sub>2</sub> 總排放量主要來自電力使用所產生之 eCO<sub>2</sub> 約 38,000 公噸, 約佔 86%, 節約電力預期將可有效降低 eCO<sub>2</sub> 排放。

上述結果可看出交大的人均排放量雖然較 Berkeley 低, 但約為高雄大學的二倍以上, 雖然主要原因可能是因交大電子工程等用電量高之科系實驗室較多, 但仍然有很大的改善空間。交大在教學研究使用電力上, 如何提昇校內師生包括教學研究及生活上節約用電, 有必要訂定一套制度並落實, 例如電費由校內各單位支付之使用者付費原則, 由各單位內部控管降低電力使用, 以減少溫室氣體排放, 使校園邁向更永續。

表 4.1 使用各能源所排放之溫室氣體統計表(以 eCO<sub>2</sub> 表示)

場所	計算項目	95 年	96 年	97 年
教學研究單位	電力(百萬度)	27.269	30.548	30.199
	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	190.06	235.51	269.60
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	223,516	223,516	223,516
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	17.408	19.505	19.289
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.078	0.087	0.086
	eCO <sub>2</sub> 排放比例(%)	39.02	43.32	43.96
學生宿舍區	電力(百萬度)	10.913	11.100	10.411
	天然氣(m <sup>3</sup> )	727,328	627,061	572,471
	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	353.54	350.18	348.77
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	96,024	96,024	96,024
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	8.475	8.393	7.845
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.088	0.087	0.082
	住宿學生(人)	7,246	7,246	7,246
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/住宿學生(人)	1.170	1.158	1.083
	eCO <sub>2</sub> 排放比例(%)	19.00	21.351	20.558
行政單位與公共設施	電力(百萬度)	21.155	17.885	17.277
	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	122.31	109.15	97.08
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	113,783	113,783	113,969
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	13.500	11.414	11.024
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.119	0.100	0.097
	eCO <sub>2</sub> 排放比例(%)	30.26	25.35	25.13
餐廳及外租單位	電力(百萬度)	3.54	3.39	3.54
	天然氣(m <sup>3</sup> )	204,224	193,115	238,101
	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	77.09	101.89	101.04
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	7,609	9,071	9,071
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	2.676	2.566	2.750
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.352	0.283	0.303
	eCO <sub>2</sub> 排放比例(%)	6.00	5.70	6.27

表 4.1 使用各能源所排放之溫室氣體統計表(以 eCO<sub>2</sub> 表示) (續)

交通車 及割草 等設備 用油	汽油(公升)	17,871	22,777	18,913
	柴油(公升)	9,835	9,850	9,394
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	0.067	0.078	0.068
	eCO <sub>2</sub> 排放比例(%)	0.1492	0.1724	0.1544
其他	廢棄物產生量(ton)	1,208.	1,492	1,407
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	2.4903	3.0737	2.9002
	eCO <sub>2</sub> 總排放量(10 <sup>3</sup> ton)	44.616	45.029	43.876
	學校人數(人)	14,981	15,459	15,720
	人均排放量(ton/人)	2.9782	2.9128	2.7911
	總樓地板面積(m <sup>2</sup> )	440,933	442,395	442,581
	eCO <sub>2</sub> 總排放量(ton)/總樓地板 面積(m <sup>2</sup> )	0.1012	0.1018	0.0991
	手抄總用電量(百萬度)	62.875	62.923	61.425
	台電計價電量(百萬度)	59.91	61.61	60.86
	台電計價電量 eCO <sub>2</sub> 排放量 (10 <sup>3</sup> ton)	38.16	39.25	37.37
	計價電量人均排放量(ton/人)	2.55	2.54	2.38

表 4.2 各場所溫室氣體之排放量(以 eCO<sub>2</sub> 表示)

場所	統計項目	95 年	96 年	97 年
教學研究單位	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	17.408	19.505	19.289
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.078	0.087	0.086
學生宿舍區	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	8.475	8.393	7.845
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.088	0.087	0.082
行政單位與公共設施	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	13.500	11.414	11.024
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.119	0.100	0.097
餐廳及外租單位	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	2.676	2.566	2.750
	eCO <sub>2</sub> 排放量(ton)/樓地板面積(m <sup>2</sup> )	0.352	0.283	0.303
交通車及割草等設備用油	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	0.067	0.078	0.068
其他	廢棄物 eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	2.4903	3.0737	2.9002
	eCO <sub>2</sub> 總排放量(10 <sup>3</sup> ton)	44.6161	45.0292	43.8760
	學校人數(人)	14,981	15,459	15,720
	人均排放量(ton/人)	2.9782	2.9128	2.7911
	手抄總用電量(百萬度)	62.875	62.923	61.425
	台電計價電量(百萬度)	59.91	61.61	60.86
	台電計價電量 eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	38.16	39.25	37.37
	計價電量人均排放量(ton/人)	2.55	2.54	2.38

表 4.3 各校 97 年 eCO<sub>2</sub> 排放量

學校	人均排放量(噸/人)	樓地板面積排放量(噸/m <sup>2</sup> )
高雄大學	1.108	—
UC Berkeley	4.24	—
Harvard University	—	0.17

資料來源：UC Berkeley (2009)，Harvard University (2008)，劉(98 年)，本研究整理。

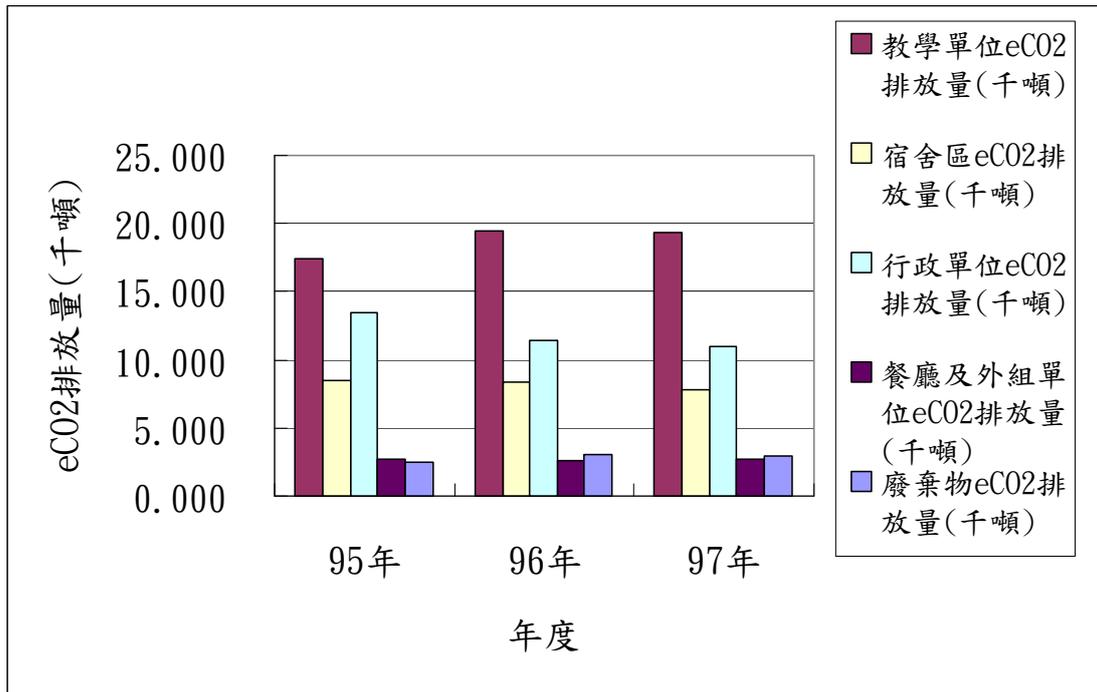


圖 4.1 各場所二氧化碳排放量趨勢圖

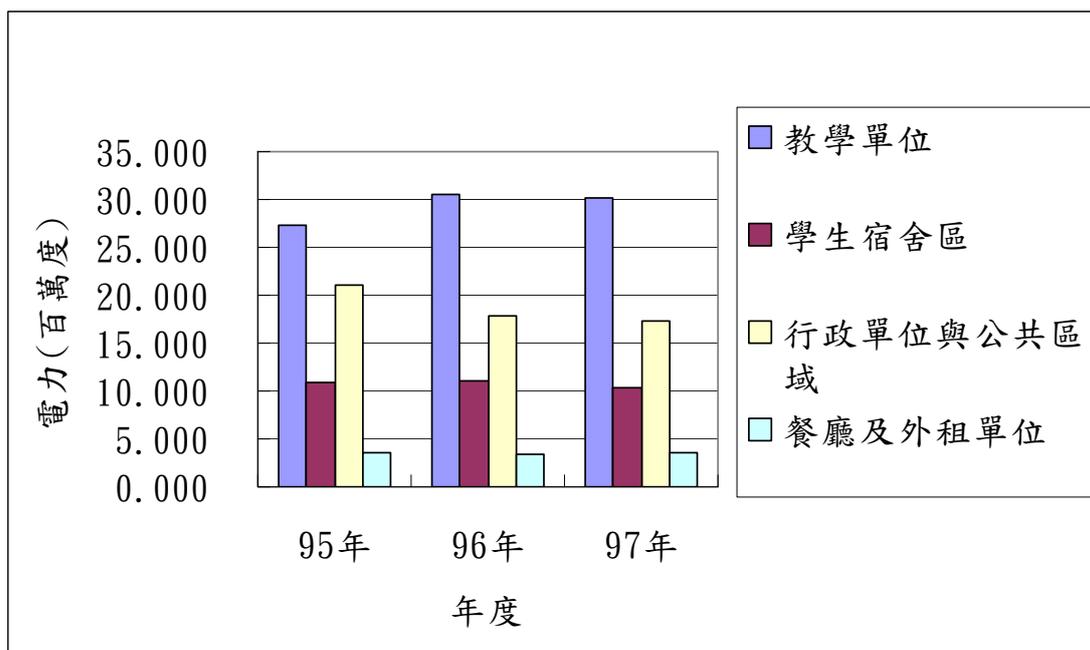


圖 4.2 各場所電力使用量趨勢圖



### 4.3 水資源

此部分主要是以物質流分析及建立評估指標，校園用水可分為行政單位、教學單位、宿舍單位、餐廳、及澆灌與公共設施等用水，全部皆由自來水供應。各校區除設有總水錶外，校內每幢建築物皆設有水錶，每月由人力抄寫各館舍用水量；另由水質淨化廠提供回收水供給部份學生宿舍中水道用水，以替代自來水。

依據第三章物質流方式評估水資源永續性，依 95~97 年各館舍使用水量，採用水平衡的模式，分別計算人均及單位樓地板面積之用水量，分析校園水資源使用情形並建立指標，結果如表 4.4 自來水用量統計表、表 4.5 各場所自來水用量所列，圖 4.3 則顯示各場所用水趨勢圖。

依據表 4.4 自來水用量統計表及表 4.5 各場所自來水用量，其中交大 97 年度水資源全校樓地板面積用水均量為  $1.83 \text{ 度}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ，表 4.6 所列為陳(94 年)所作的台大用水統計表，台大校總區 93 年度單位面積用水量推估為  $1.13 \text{ 度}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ，UC Berkeley 2008 年為 446.2 百萬加侖 (UC Berkeley, 2009) 約  $1.16 \text{ 度}/\text{m}^2$ 。可發現交大的單位樓地板面積用水量高於台大及 UC Berkeley，主要原因可能為交大的總樓地板面積較台大及 UC Berkeley 小很多，導致指標值較高，雖然單位樓地板面積用水量可用以評估同一學校不同年的用水情形，但可能不適合用以作跨校的比較。

宿舍用水量為  $47.22 \text{ 度}/\text{人} \cdot \text{年}$ ，約為  $130 \text{ 公升}/\text{人} \cdot \text{日}$ ，與表 4.5 所列的台大宿舍用水量  $203 \text{ 公升}/\text{人} \cdot \text{日}$  比較，明顯較低。由於交大宿舍區換裝省水沖廁設備及實施使用者付費，宿舍自來水費用由管理單位(住宿組)支付且設有專人值勤，因而提昇設施故障時維護時效，減少漏水，及設置投幣式洗衣設備，降低洗衣頻率可能是造成人均用水量較低的因素。唯比較年度不同，或許該校亦已有很大的改進。

以 97 年度為例，交大全校用水量約 52.6 度/人·年，約為 143 公升/人·日。比表 4.6 所列的台大 242.1 公升/人·日低 40.53% 及大專院校一般的 184 公升/人·日 低 22%，但較中央大學的 70.9 公升/人·日，UC Berkeley 2008 年 446.2 百萬加侖，約 95.57 公升/人·日，台灣師範大學的 100.9 公升/人·日，及國立台北科技大學的 110.2 公升/人·日為高。其中台灣師範大學全校人數與交大相當，但比交大少約 30.6%，有可能是兩校性質不一樣而造成落差，例如住宿學生人數的多寡。交大有必要加強節水設施及師生的節水觀念並落實在生活上，例如提昇實驗冷卻水回收循環再利用、水質淨化廠回收水再利用(中水道用水)、及閥基水、雨水回收的利用，可有效降低自來水的使用量。以國立屏東科技大學為例(經濟部水利署，97 年)，該校雖使用地下水而未使用自來水，但全部污水零排放，預估一年可省下 30.9 萬噸的用水，提昇水資源有效的利用。

交大除設有計價總水錶外各館舍皆裝有水錶記錄，而澆灌用水係由就近館舍配管，95 年度由於交大博愛校區游泳池水錶故障，造成與 96 及 97 年用水落差，全校總水錶與各館水錶總和之差，推估為漏水量，最大漏水率約 20% (約 216,859 度)，雖略低於表 4.6 所列台大在 93 年的漏水率 23%，但仍頗可觀，有必要加強修漏，以免浪費水資源。

交大平均用水量由 95 年至 97 年之記錄，呈現上升的趨勢，並不永續，學校有必要加強節水措施及維護管線設備，並設定校園用水減量目標，讓校園水資源利用能更永續。

表 4.4 自來水用量統計表

場所	統計項目	95 年	96 年	97 年
教學研究單位	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	190.06	235.51	269.60
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	223,517	223,517	227,736
	樓地板面積均量(度/m <sup>2</sup> )	0.85	1.05	1.18
	百分比(%)	25.22	29.28	32.94
行政單位與公共設施	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	122.31	109.15	97.08
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	113,292	113,292	113,292
	樓地板面積均量(度/m <sup>2</sup> )	1.08	0.96	0.86
	百分比(%)	16.23	13.57	11.86
餐廳及外租單位	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	77.09	101.89	101.04
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	7,609	9,071	9,071
	樓地板面積均量(度/m <sup>2</sup> )	10.13	11.23	11.14
	百分比(%)	10.23	12.67	12.35
學生宿舍	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	353.54	350.18	348.77
	回收水使用量(10 <sup>3</sup> 度)	10.75	7.62	1.85
	合計使用水量(10 <sup>3</sup> 度)	364.29	357.81	350.62
	住宿人數	7,426	7,426	7,426
	人均用量(度/人)	49.06	48.18	47.22
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	97,260	97,260	97,260
	樓地板面積均量(度/m <sup>2</sup> )	3.75	3.68	3.61
	百分比(%)	48.33	44.48	42.85
游泳池	自來水(10 <sup>3</sup> 度)	29.04	42.37	48.83
	樓地板面積(m <sup>2</sup> )	677	677	677
	樓地板面積均量(度/m <sup>2</sup> )	42.87	62.55	72.09
	百分比(%)	3.85	5.27	5.97
	手抄錶總用水量(度)	743,002	796,731	816,493
	自來水+回收水使用量(度)	753,753	804,355	818,346
	學校人數(人)	14,981	15,459	15,720
	人均量(度/人)	50.31	52.03	52.06
	總樓地板面積(m <sup>2</sup> )	442,355	443,817	448,036
	總樓地板面積均量(度/m <sup>2</sup> )	1.70	1.81	1.83
	計價自來水量(度)	886,159	1,040,048	1,082,182
	手抄錶總用水量百分比	83.85	76.61	75.45
	未經抄錶(漏水)記錄	114,122	200,950	216,859
	未經抄錶(漏水)百分比	12.88	19.32	20.04

表 4.5 各場所自來水用量

場所	統計項目	95 年	96 年	97 年
教學研究單位	樓地板面積均量(度/ m <sup>2</sup> )	0.85	1.05	1.18
行政單位與公共設施	樓地板面積均量(度/ m <sup>2</sup> )	1.08	0.96	0.86
餐廳及外租單位	樓地板面積均量(度/ m <sup>2</sup> )	10.13	11.23	11.14
學生宿舍	樓地板面積均量(度/ m <sup>2</sup> )	3.64	3.60	3.59
	人均用量(度/人)	49.06	48.18	47.22
游泳池	樓地板面積均量(度/ m <sup>2</sup> )	42.87	62.55	72.09
全校	全校樓地板面積均量(度/ m <sup>2</sup> )	1.71	1.82	1.83
	人均用量(度/人)	50.31	52.03	52.06

表 4.6 台大及大專院校與高中職用水量

樓地板面積均量(噸/ m <sup>2</sup> )	1.13
學生宿舍均量(公升/人·日)	203.3
漏水率(%)	23.3
台大人均用水量(公升/人·日)	242.1
大專院校(公升/人·日)	184
國立中央大學(公升/人·日)	70.9
國立台灣師範大學(公升/人·日)	100.9
國立台北科技大學(公升/人·日)	110.2
高中/職(公升/人·日)	132

資料來源：陳 (94 年)

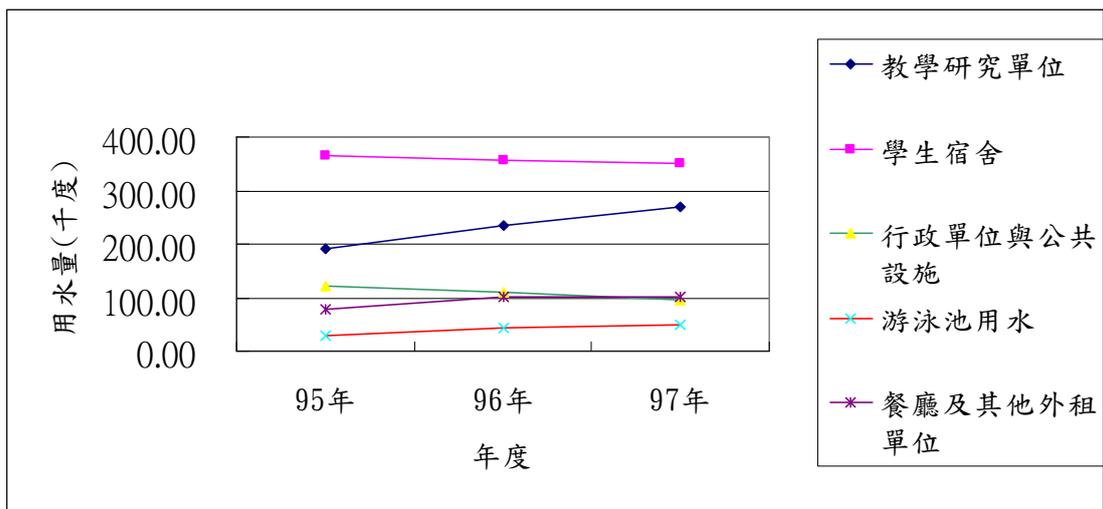


圖 4.3 各場所用水量趨勢圖



#### 4.4. 高濃度有害廢液指標

本研究主要以應用化學系所、生物科技學系所、材料工程學系所、環境工程研究所、電子工程學系所、電子物理系所等系所化學實驗後所產生高濃度廢液，種類分為有機、無機兩大類，並依據這些系所專任教師與註冊學生人數(含大學部及碩博士研究生)作為建立指標，而位於校園內之國家毫微米實驗室(簡稱NDL)係國科會所屬單位，其所產生之廢液自行管理運作，故未納入計算。

交大除將高濃度廢液回收外，同時也將第一次洗滌液回收，依交大 95 年~97 年高濃度廢液委外代處理並向環保署申報量，年產生高濃度有害廢液約 20~33 公噸，產生高濃度廢液之系所師生人數約 3,400 人；依第三章評估指標方式，以 95 年為例，年人均產量 6.25 kg/人，交大化學實驗室依校方統計有 191 間，每間實驗室年產量 106.2 公斤/間，如表 4.7 所示，產量有逐年增加趨勢。而依表 4.8 所收集整理各校廢液的資料，台灣大學 94 年 54,000 公斤產量(郭，95 年)約為 104.5 公斤/間，成功大學 23,808 公斤、約 47.1 公斤/間，陽明大學 18,180 公斤、約 606 公斤/間，中興大學 15,800 公斤、約 126.4 公斤/間。

台灣大學、成功大學、中興大學是由化學、電機、材料、生科、及機械等系所產生廢液，與交大類似，陽明大學是由化學、生化等系所產生廢液。師生人數直接影響廢液產生量，以人均量或間均量(單間實驗室平均產生量)作為基準較能反應本項指標評估的趨勢，唯因無相關學校產生廢液系所之師生人數，故無法以人均量做比較。而由實驗室間數計算均量雖沒有人均量明確，但以實驗室數量做為評估基準也是評估的方式之一。

交大與台大間均量相當，約 105 公斤/間，但成大卻只 47.1 公斤/間，成大實驗室間數與台大相當，但廢液收集量卻不及台大的 50%。不過，也發現陽明大學約 606 公斤/間，陽明大學實驗室只有台大的 6%，廢液卻為

台大的 33%，兩者落差很明顯，也可能是因陽明大學多採用共用或研究特性不同的大型實驗室，故間均量較高；實驗室除高濃度原液回收，第一次洗滌液回收也會影響產出量，也許各校收集實驗室廢液的標準不一致，而造成各校間均量的落差。

唯交大廢液產出量有向上提昇的趨勢，除目前實施污染者付費原則外，有必要再訂定一套化學實驗室廢液減量管制標準，並訂出一合理的人均產出量，做為本項評估指標值，使交大校園實驗環境朝向永續發展。

表 4.7 高濃度廢液統計表

統計項目	95 年	96 年	97 年
高濃度有害廢液年產生量(kg)	20,283	30,104	33,590
實驗場所教職員生數(人)	3,244	3435	3,438
年人均廢液產生量(kg/人)	6.25	8.76	9.77
每間實驗室均量(kg/間)	106.2	157.6	178.8

表 4.8 各校廢液產量

學校	廢液年產量(kg)	實驗室總數(間)	每間實驗室均量(kg/間)
台灣大學	54,000	517	104.45
成功大學	23,880	507	47.10
陽明大學	18,180	30	606.00
中興大學	15,800	125	126.40

資料來源：郭(95 年)，本研究整理。

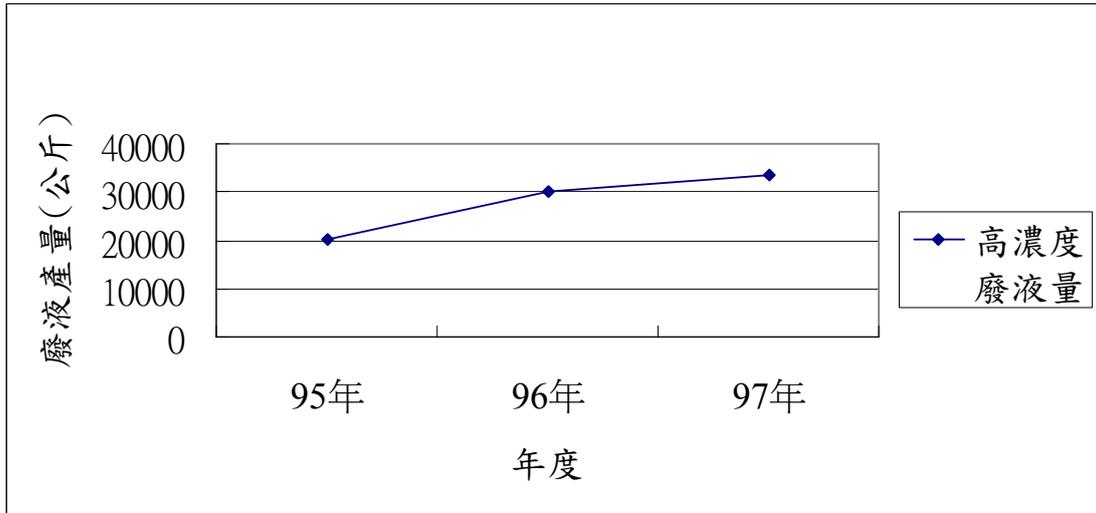
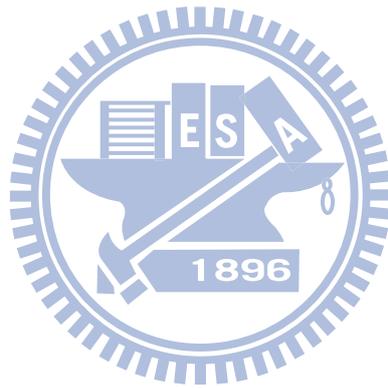


圖 4.4 高濃度廢液產量趨勢圖



## 4.5 生態綠覆面積比率指標

本節是依第三章之評估方式，依校園現況分為綠地(含運動場、棒球場)、人行地磚道、植草磚停車場等類型，以各型式生態綠覆面積乘以權重的公式計算之。以交大校園為例，全部校園面積約有 795,079 m<sup>2</sup>，分為光復及博愛兩校區，有關 BAF 計算參數資料，除收集校方現有建築物土地及博愛校區之草皮等硬體設施面積外，對於大型草皮、廣場、馬路、人行道地磚、植草磚停車場等相關面積並無正式測量資料，由於時間及經費無法進行土地量測，故利用 Google Earth 量測大型草皮、廣場、停車場等面積，量測結果如表 4.9 所示。

交大之 BAF 值約為 0.2，如表 4.10 交大 BAF 統計表，德國柏林市對於學校 BAF 值最小要求為 0.3，交大校園之 BAF 值僅為柏林市要求最小值的 66.7%，交大有需要增設綠覆面積改善 BAF 值，尤其在各大樓頂(面積約為 95,147 m<sup>2</sup>)設置屋頂綠覆面，將可提高有效生態綠覆表面積約 66,603 m<sup>2</sup>，在夏季不僅可降低各館舍頂樓之室內溫度，減少使用電力降溫，也可提昇 BAF 值約 0.08。停車場(面積約為 25,317 m<sup>2</sup>)鋪面可改善為植草磚，可增加有效生態綠覆表面積約 12,659 m<sup>2</sup>，BAF 值可增加約 0.02。人行步道及水泥廣場(面積約 22,588 m<sup>2</sup>)為改為部份密封表面(Partially sealed surfaces)之鋪磚，可增加 0.01。其他如面向陽光之建築物牆面，可增設綠覆面，在夏季除可降低室內溫度外，也可改善 BAF 值，使交大校園環境更永續。

表 4.9 校園地形型態面積量測統計表

校園型態	區域	面積(m <sup>2</sup> )	合計
草皮(含運動場、棒球場)	博愛校區	79,644	158,460
	光復校區	78,816	
人行步道及水泥廣場	博愛校區	0	22,588
	光復校區	22,588	
建築物土地面積	博愛校區	9,591	95,147
	光復校區	85,556	
柏油馬路停車場	博愛校區	9,417	25,317
	光復校區	15,900	
荷花池	光復校區	3,577	17,163
竹湖	光復校區	1,3586	

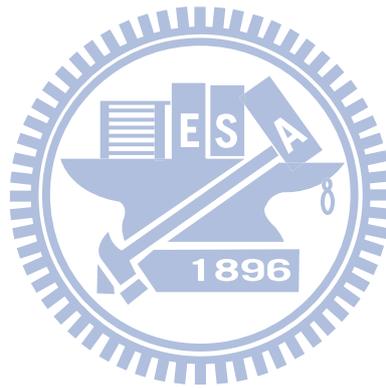


表 4.10 交大 BAF 統計表

表面型態	特徵	權數	校園型態	面積 (m <sup>2</sup> )	有效生態綠覆面積 (m <sup>2</sup> )
與地下土壤連接的植栽表面 (Surfaces with vegetation, connected to soil below)	有植物覆蓋的表面且與地下土壤連接，可以容許植物和動物生長的區域	1	綠地	158,460	158,460
部份密封表面 (Partially sealed surfaces)	水、空氣可滲透，但植物無法生長的表面	0.3	人行地磚 步道	375	113
半開放表面 (Semi-open surfaces)	水、空氣可滲透，植物可以生長的表面	0.5	植草磚停 車場	1,065	533
雨水入滲，以屋頂面積 m <sup>2</sup> 計算 (Rainwater infiltration per m <sup>2</sup> of roof area)	雨水透過植物入滲補助地下水	0.2	竹湖及荷 花池	17,163	3,433
屋頂綠覆面 (Greenery on rooftop)	屋頂上充分用植栽覆蓋的表面	0.7	—	0	0
有效生態綠覆總表面積 (m <sup>2</sup> )		—			162,538
總土地面積 (m <sup>2</sup> )		—			795,079
BAF 值		—			0.20

#### 4.6 校園綠建築比率指標

交大主要校區土地面積含光復校區 62.7 公頃、博愛校區 16.8 公頃(不含 2010 年啟用竹北校區及台南校區)，合計 79.5 公頃。樓地板面積：教學相關館舍有 25 幢共計 272,745 m<sup>2</sup>、行政與服務支援館舍有 23 幢共計 48,284 m<sup>2</sup>、學生宿舍有 16 幢共計 96,025 m<sup>2</sup>，總計樓地板面積 417,054 m<sup>2</sup>。通過綠建築候選有「田家炳光大樓」、「交映樓」，樓地板面積 23,915 m<sup>2</sup>，但後續並未取得綠建築證書，故本項評估指標值為 0。

綠建築指標共有九大評估指標(林，95 年)，一幢建築物至少需符合包含日常節能、水資源及其餘任意 2 個指標共計 4 個指標才能取得綠建築標章。國內取得綠建築標章的建築物自 98 年底有 288 件(財團法人台灣建築中心，99 年)，大專院校、高中/職、國中小學校通過認證有 77 件，其中 16 所大專院校有 24 件，約佔全部認證的 8.3%，比例不高。

交大雖取得 2 幢建築物綠建築候選資格，但在後續因功能需求增加施工內容而無法取得綠建築標章，致本項評估指標值為 0。綠建築是除評估建築物對環境的衝擊並顧及人體的安適，故交大對於建築物建造有需要建立規範並落實，以提昇校園綠建築比率，除使校園建築物功能符合師生需求，更能符合環境朝向永續發展。

#### 4.7 固體廢棄物指標

交大目前全校師生人數約 15,500 人，有 7,163 位學生住宿，學生餐廳有三幢，每幢每餐可提供約 2,000 人用餐，交大實施垃圾不落地政策，每日上、下午環校各收集 1 次並直接運送到新竹市焚化爐處理，廢棄物產生量以進入新竹市環保局焚化處理統計每年約有 1,200~1,400 噸。交大自 88 年起由學校規劃資源回收，且訂有資源回收辦法，由各館舍管理員執行分類

回收，每週五由回收商定期到校將回收品稱重回收，回收量每月提報新竹市環保局。

收集交大 95 年~97 年廢棄物產生量、回收量、全校人數，依公式 3.4 及 3.5 計算回收率、垃圾人均量、及回收人均量，所得結果如表 4.11 所列。交大一年垃圾總產生量每年約 1,600 噸，其中資源性廢棄物回收約 250 噸，回收率約 15%，回收年人均量約 17 公斤/人年，廢棄物產生年人均量約 103.95 公斤/人年，約 0.28 公斤/人日，保特瓶約 37 萬支。表 4.12 所列為其他國內外大學的表現，國內其他大專院校如慈濟大學回收率約 28.4%，廢棄物產生年人均量約 52.43 公斤/人，回收年人均量約 14.9 公斤/人；暨南大學回收率約 57%，廢棄物產生年人均量約 18.26 公斤/人，回收年人均量 10.4 公斤/人；UC Berkeley 回收率約 43%、回收人均量約 55.7 公斤/人。由表 4.11 可明顯看出交大無論在回收率及人均量上均仍有很大的改善空間。

資源性廢回收總量約 250 噸、回收人均量約 14 公斤/人，在回收數量上或許較國內其他大學明顯，但回收率偏低，且廢棄物產生年人均量比慈濟大學等學校都高，且國外如墨西哥 The Azcapotzalco campus of the University Autonoma Metropolitana (Espinosa, 2008) 師生約有 15000 人，但廢棄物產生人均量約 0.11 公斤/人日，交大為其 2.5 倍多。回收人均量約為 UC Berkeley 的三分之一，交大是偏低；雖然交大實施垃圾不落地與資源回收辦法，但回收工作大部分依賴約 30 位清潔人員回收，致回收成效仍不佳。有必要由源頭降低廢棄物產生人均量，及提昇回收人均量兩方面執行，除應加強師生分類回收習慣外，宜訂定一合理廢棄物產生人均量及回收人均量並落實之，以降低後續末端處理對環境的衝擊，使校園環境更永續。

表 4.11 廢棄物量及回收量統計表

—	95 年	96 年	97 年
垃圾量(公噸)	1,208	1,492	1,407
回收量(公噸)	261.89	266.31	226.22
保特瓶(支)	405,277	372,427	361,612
全校人數	14,981	15,459	15,720
總垃圾量(垃圾量+回收量)(公噸)	1,470	1,758	1,634
總垃圾產生人均量(公斤/人)	98.18	113.75	103.95
回收率(%)	17.81	15.14	13.84
資源回收人均量(公斤/人)	17.48	17.23	14.39

表 4.12 各校廢棄物量及回收量統計表

學校	垃圾量 (噸)	回收量 (噸)	回收率 (%)	總人數 (人)	產生年人均 量(公斤/人)	回收年人均 量(公斤/人)
慈濟大學	201.8	57.4	28.4	3,849	52.43	14.9
暨南大學	115.8	66	57.0	6,343	18.26	10.4
義守大學	756.9	132.2	17.5	15,639	48.40	8.5
台北醫學 大學	244	48.7	20.0	7042	34.65	6.9
UC Berkeley	6,427	2,760	42.94	49,567	129.66	55.7

資料來源：UC Berkeley (2009)，劉(97 年)，劉(98 年)，張等(98 年)，陳(98 年)，本研究整理。

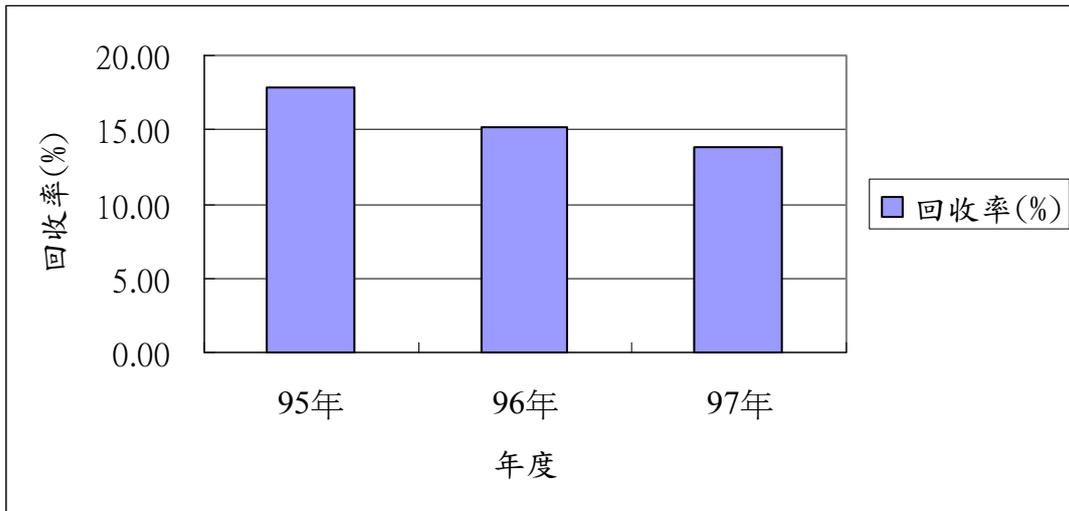


圖 4.5 資源回收率趨勢圖

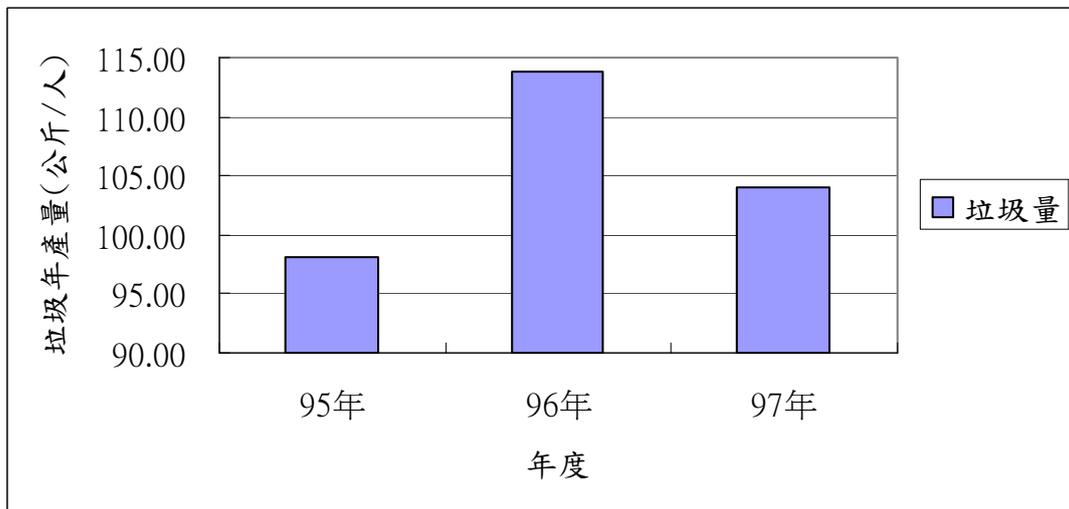


圖 4.6 垃圾產量趨勢圖

## 4.8 生態足跡

本節依第三章之評估方式分為能源、水資源、廢棄物、交通、及紙類等五類做為校園生態足跡計算的基礎，並依表 3.6 EF 公式表之公式，計算結果如表 4.13 所列，一一說明如下，

1. 能源之 EF：依本章第二節之電力及天然氣使用量為基礎，依其所產生之  $eCO_2$  量再乘以  $eCO_2$  生態足跡轉換係數  $1/6.6(\text{ton } eCO_2/\text{year-ha})$  而得。
2. 水資源之 EF：依本章第三節之自來水用量乘以水資源集水區水源供給用地轉換生態足跡係數  $90.38(\text{公頃}/\text{百萬 } m^3)$ ，再加生成自來水所產生  $eCO_2$  量再乘以  $eCO_2$  生態足跡轉換係數  $1/6.6(\text{ton } eCO_2/\text{year-ha})$  而得。
3. 廢棄物之 EF：依本章第七節之廢棄物量轉換  $eCO_2$  之重量，再乘以  $eCO_2$  生態足跡轉換係數  $1/6.6(\text{ton } eCO_2/\text{year-ha})$  而得。
4. 交通之 EF：依本章第二節之汽油用量所產生之  $eCO_2$  重量，再乘以  $eCO_2$  生態足跡轉換係數  $1/6.6(\text{ton } eCO_2/\text{year-ha})$  而得。
5. 紙類之 EF：交大並無單獨統計用紙量，僅環安中心統計綠色及非綠色採購之金額，其中綠色採購用紙金額很少且僅收集 96 及 97 年，且有增加趨勢，因而 95 年依比例遞減，換算全校使用重量，再乘以轉換生態足跡係數而得。

交大校園學生人數約 15,500 人，教職員工約 1,800 人，土地面積約 79.5 公頃，依表 4.14 所統計之數值，以 97 年度為例，使用能源、水資源、紙類、石油、及產生之廢棄物計算 EF 值，EF 值約 6,702 公頃，約為 84 倍的交大校園，人均量約 0.43 公頃/人。

表 4.15 所列為國內外其他大學的 EF 值，例如澳洲 the University of Newcastle(Flint, 2001) 的 1998 年時學生人數超過 17,000 人，教職員工約 2,000 人，校園 135 公頃，人均量約 0.17 公頃/人，並以能源、食物、建築

物、交通(包含交通車運輸)、消費品(包含辦公室用紙)、日常服務(包含用水及廢棄物)等項計算 EF 值，其 EF 值約為 3,592 公頃，大約為該校土地的 26 倍。英國 Holme Lacy College 其在 2001 年的 EF 值為 296 公頃(Dawe, *et al.* 2004)，約為該校 1.2 倍，人均量為 0.56 公頃/人；而 University of East Anglia 2002 值的 EF 值 2,499 公頃，約為該校 60 倍，人均量為 0.16 公頃/人。國內高雄大學 2004 年 EF 值為 2,256 公噸(蔡，95 年)，約為該校 27.3 倍，人均量 0.51 公頃/人。各校評估 EF 值項目未必相同，但以能源、食物、交通(包含交通車運輸)、日常服務(包含用水及廢棄物)等項目計算 EF 值約佔 90% 以上，與交大評估項目大致相同。而交大無論在總 EF 值或 EF 之人均量，都有偏高的趨勢，需要設定一合理的 EF 值或人均量，並規劃適當的方案降低 EF 值，以促進校園的永續性。



表 4.13 EF 計算表

類別	—	95 年	96 年	97 年
教學研究 單位	電力(百萬度)	29.5	33.0	32.6
	eCO <sub>2</sub> 排放量(10 <sup>3</sup> ton)	18.8	21.0	20.8
	CO <sub>2</sub> 轉換生態足跡係數(ton eCO <sub>2</sub> /year-ha)	6.6	6.6	6.6
	能源轉換之生態足跡(ha)	2,846	3,181	3,147
宿舍區	電力(百萬度)	10.9	11.1	10.4
	天然氣(m <sup>3</sup> )	685,589	584,682	488,661
	eCO <sub>2</sub> 排放量(*10 <sup>3</sup> ton)	8.3	8.2	7.6
	能源轉換之生態足跡(ha)	1,261	1,248	1,152
行政單位 與公共設 施	電力(百萬度)	18.9	15.5	14.9
	eCO <sub>2</sub> 排放量(*10 <sup>3</sup> ton)	12.1	9.9	9.5
	能源轉換之生態足跡(ha)	1,827	1,493	1,434
餐廳及外 租單位	電力(百萬度)	3.3	3.3	3.4
	天然氣(m <sup>3</sup> )	193,250	193,250	193,250
	eCO <sub>2</sub> 排放量(*10 <sup>3</sup> ton)	2.5	2.5	2.6
	能源轉換之生態足跡(ha)	380.3	375.0	388.0
能源總生 態足跡	總能源轉換生態足跡(*10 <sup>3</sup> ha)	6,315	6,298	6,123
交通車及 割草等設 備用油	汽油(公升)	17,871	22,777	18,913
	柴油(公升)	9,835	9,850	9,394
	eCO <sub>2</sub> 排放量(*10 <sup>3</sup> ton)	0.067	0.078	0.068
	用油轉換之生態足跡(ha)	10.1	11.8	10.3
廢棄物	廢棄物產量(ton)	1,208	1,492	1,407
	廢棄物產量轉換之生態足跡 (*10 <sup>2</sup> ha)	377.3	465.7	439.4
紙類	用紙量(ton)	77.3	78.5	79.8
	用紙量轉換之生態足跡 (*10ha)	60.5	61.5	62.5

表 4.13 EF 計算表(續)

水資源	計價自來水量(度)	886,159	1,040,048	1,082,182
	集水區轉換生態足跡係數(ha/百萬 M <sup>3</sup> )	90.4	90.4	90.4
	計價自來水集水用地之生態足跡(ha)	80.1	94.0	97.8
	計價自來水量產生 eCO <sub>2</sub> 之生態足跡(ha)	26.2	30.7	32.0
	自來水總生態足跡(ha)	106.3	124.7	129.8
總生態足跡	—	6,869	6,961	6,764

表 4.14 交大 EF 統計表

項目別	95 年	96 年	97 年
能源之生態足跡(ha)	6,315	6,298	6,123
水資源之生態足跡(ha)	106.3	124.7	129.8
廢棄物之生態足跡(ha)	377.3	465.7	439.4
交通之生態足跡(ha)	10.1	11.8	10.3
用紙之生態足跡(ha)	60.5	61.5	62.5
總生態足跡(ha)	6,869	6,961	6,764
師生人數(人)	14,981	15,459	15,720
人均量(ha/人)	0.46	0.45	0.43

表 4.15 國內外其他學校之 EF 值比較表

學校[發表年份]	生態足跡 (ha)	學校人數 (人)	學校面積 (ha)	人均量 (ha/人)
Newcastle,Australia [1998]	3,211	19,200	135	0.17
Redlands, CA, USA [2001]	2,375	2,727 (教職員)	133.5	0.87
Swansea(Univ. Wales) [2002]	10,004	12,630	19.7	0.79
East Anglia, UK [2002]	2,499	15,500	41.4	0.16
Holme Lacy College [2001]	296	524	240	0.56
國立高雄大學[2004]	2,256	4,383	82.5	0.51

資料來源：Dawe *et al.*, (2004)，蔡(95年)。本研究整理。

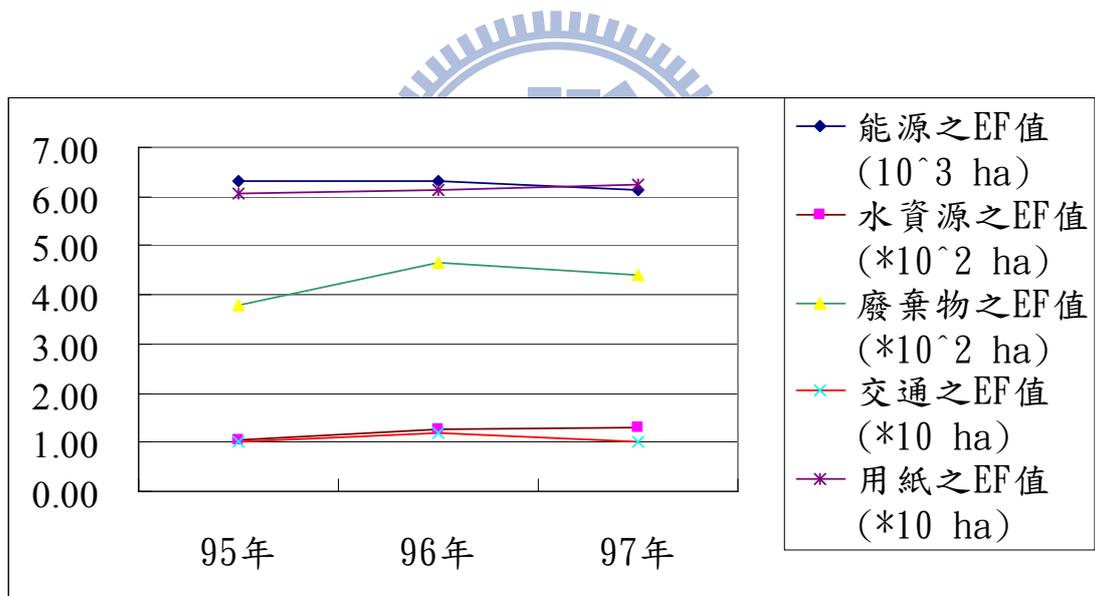


圖 4.7 生態足跡趨勢圖

## 第五章 結論與建議

為了使綜合大學的能源與資源能有效管理與運用及讓校園得以永續發展，有必要建立適當的指標評估綜合大學的永續性。本研究因而參考其他永續發展評估指標及綠色大學評估指標系統，採用四項指標篩選原則，建立評估綜合大學永續性之指標系統，並探討各子指標用以評量綜合大學永續性的適用性，及提供校園研擬永續發展策略及相關績效考核的重要依據。以下總結本研究的成果及說明重要結論，並建議可繼續探討的方向及問題，以供後續研究參考。

### 5.1 結論

本研究主要成果有建立評估綜合大學永續性之指標系統及各子指標用以評量綜合大學永續性的適用性評估及實際案例示範應用成果等二大項，一一說明如下：

4. 建立評估綜合大學永續性之指標系統：永續大學評估指標很多，但並不是每一個指標都適合評估每個永續大學，需參考受評學校發展及特色，篩選適合評估綜合大學永續性的指標。本研究因而參考其他永續發展評估指標及綠色大學評估指標系統，由所收集的指標中篩選出能源與溫室氣體、水資源、高濃度有害廢液、生態綠覆率、校園綠建築、固體廢棄物、及生態足跡等面向作為評估指標，並建立一個能評估綜合大學永續性的指標系統，並以案例學校實際應用該指標系統。

5. 各子指標用以評量綜合大學永續性的適用性評估及實際案例示範應用，各子指標適用性及應用結果一一說明如下：

(1) 能源與溫室氣體：校園師生使用的能源主要有電力、天然瓦斯及交通工具用油等，將直接或間接排放溫室氣體；主要包括實驗設備、空調設備、照明、宿舍飲水電器、及餐廳廚房電器用品的用電、住宿師生

淋浴、及餐廳廚房爐火加熱之天然氣、及公務車與公務機具使用之汽油等，再依排放係數計算 eCO<sub>2</sub> 總排放量。雖師生個人所使用之汽、機車亦會排放溫室氣體，但涉及人、車眾多不易收集，因此，這部份未納入評估；而其他溫室氣體如氟氯碳化物(CFC<sub>s</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、及氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)等，由於目前無資料，故亦未納入評估。案例學校因使用能源所產生之 eCO<sub>2</sub> 總排放量約 44,000 公噸的，若能降低能源使用，將可減少溫室氣體排放，交大 eCO<sub>2</sub> 總排放量主要來自電力使用所產生之 eCO<sub>2</sub> 約 38,000 公噸，約佔 86%，節約電力預期將可有效降低 eCO<sub>2</sub> 排放，使校園邁向永續大學。

- (2) 水資源：校園用水可分為行政單位、教學單位、宿舍單位、餐廳、及澆灌與公共設施等用水，主要由自來水供應。對於實驗冷卻水回收循環再利用、水質淨化廠回收水再利用(中水道用水)、及閥基水、雨水回收的利用等替代水源，可有效降低自來水用量，但開發經費較大且耗時，因而未納入評估。本項指標是以物質流分析(陳，94 年)及建立評估指標，依據質量守恆定律建立校園的水平衡圖，了解各館舍用水量，以評估大學校園的合理用水量，及檢視校園用水效率。案例學校 95~97 年平均人均用水量分別為 50.31、52.03、及 52.06 度，呈現上升的趨勢，學校應設定用水減量目標，讓校園水資源利用能更永續。
- (3) 高濃度有害廢液：實驗室化學品包括毒性化學物質、有機、無機及一些含有重金屬之化學品，實驗後均成為高濃度有害廢液，師生人數多寡將影響廢液產量。雖然化學品由源頭管理是較有效的管理方式，但目前案例學校全由各實驗室依研究所需逕行採購而研究經費也自行控管，由於大部份學校目前尚未設有化學品統一採購集中管理單位，故尚無法有效針對化學品源頭或經費作管理，故以高濃度有害廢液人均量評估校園永續性較為適切。案例學校 95~97 年高濃度有害廢液人均量分別為 6.25、8.76、及 9.77 公斤，呈現上升的趨勢，學校有必要

訂出一合理的人均產出量，做為本項評估的指標基準值，使校園實驗環境朝向永續發展。

(4)生態綠覆率：綠覆面若不足，會影響生物的棲息與生長及造成熱島效應，增加綠地或綠覆面面積可改善這些問題，然而國內各大學亦很難有效在短期間內在現有校區增加綠地面積，故依國內校園現況，宜採用綠覆面作為評估校園生態面向的永續性。生態綠覆率評估指標(BAF)(SDUD, 2010)考量各種綠覆面，而不是只考量綠地，目前國內尚無任何大學採用生態綠覆率指標評估大學永續性。德國柏林市針對不同型式建築與區域建議了不同 BAF 指標建議值，該市建議校園 BAF 值為 0.3。案例學校利用 Google Earth 量測大型草皮、廣場、停車場等面積，量測結果之 BAF 值為 0.2，案例學校應廣設綠屋頂及綠牆，加強綠覆面積，改善 BAF 值，除在夏季除可降低室內溫度外，更可使校園環境更永續。

(5)校園綠建築：綠建築共有九大評估指標(林，95 年)，其中一些子指標在其他指標已有反應。綠建築指標主要是針對單一建築物評估，並不是針對整個校園，一幢建築物至少需符合包含日常節能、水資源及其餘任意 2 個指標共計 4 個指標才能取得綠建築標章。案例學校尚無取得綠建築標章的建築，致本項評估指標值為 0。故校例學校對於建築物建造有需要建立規範並落實，以提昇綠建築比率，除使建築物功能符合師生需求，也讓校園建築更永續。唯校園十餘幢大小不同的建築大部分是舊建築，需要較高成本方能改善成綠建築，故不易每幢都能在短期內改善符合綠建築，宜另建立一個過渡性指標供使用。

(6) 固體廢棄物：由於校園生活廢棄物中含有大量資源性廢棄物，有必要降低校園廢棄物量，減少處理成本及提高資源有效再利用，以提高校園的永續性。廢棄物指標主要有二個評估重點，首先是量的減少，其次是分類回收量的增加，若只增加回收量而沒有作到實質總產生量的減量，仍然不是一個永續的校園，故本項指標主要以垃圾人均量及回收人均量作為評估校園永續性的指標。案例學校 95~97 年垃圾人均量分別為 98.18、113.75、及 103.95 公斤，仍有改善空間；回收人均量分別為 17.48、17.23、及 14.39 公斤，成效仍不佳。學校有必要由源頭降低廢棄物產生人均量及提昇回收人均量，除加強師生分類回收習慣外，宜訂定一合理廢棄物產生人均量及回收人均量目標並落實之，以降低後續處理對環境的衝擊，使校園更永續。

(7) 生態足跡：綜合性指標主要有二類建立方式，第一類是將所有擬評估的因子換算成同一種單位，例如生態足跡(Ecological footprint, EF) (Wackernagel and Rees, 1996)，將所評估的區域依其人類活動所需之物質及所產生的廢棄物量，以土地面積來生產或淨化計算之；第二類是將一些可個別計算的子指標，依事先設定的權重建立一個綜合指標，如 Environmental Sustainability Index (ESI)。由於第二類指標需要先設定權重，是件主觀且不是件容易的事；故本研究採用生態足跡評估校園永續性，國際上已有一些大學計算 EF 指標(Li *et al.*, 2008 ; Flint, 2001)。案例學校以能源、水資源、廢棄物、交通、及用紙等五項計算，95~97 年人均 EF 值分別為 0.46、0.45、及 0.43 公頃，總 EF 值分別為約 6,869、6,961、及 6,764 公頃，約為案例學校現有校園面積的 84 倍，仍屬偏高，因案例學校在能源、水資源、廢棄物等已於前述評估指標中已敘明改善方案，另對於交通及用紙量有必要規劃適當的方案降低 EF 值，以促進校園的永續性。

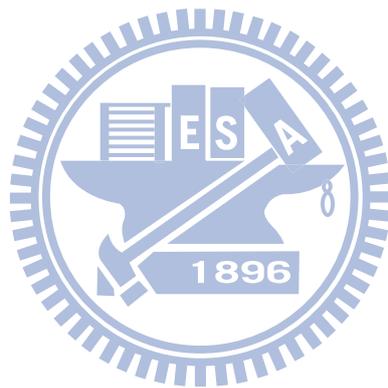
所建立的指標系統預期可符合目前國內綜合大學用以評估校園永續性的需求，並提供校園作為研擬永續發展策略及相關績效考核的重要依據，目前主要考量各校都尚在起步中，故不宜採用太複雜的指標系統，未來執行一段時間後，可考量增加評量的面向及收集更詳細的數據作更全面性的評估，此外，由於受限於評估方法與數據，亦有一些重要的面向並未納入研究中，例如校園的永續教育亦是很重要的一環，未來其他後續研究宜考量建立適當方法評估之。

## 5.2 建議

依本研究的過程及經驗，提出下列五項建議，以供後續研究參考。

1. 由於校園十餘幢大小不同的建築大部分是舊建築，依現行綠建築指標不易呈現校園建築改善的成效，因此建議後續研究研擬適用於舊建築改善的指標，以鼓勵校園持續改善舊建築。
2. 本研究所建立永續大學環境評估指標系統並未納入一些宜考量的面向，如校園環境教育等，後續研究可考量建立適當指標評估之，建立更完善的指標系統，作為校園管理或規劃的依據。
3. 本研究為評估綜合大學永續性指標，因此僅針對理、工、電機、及生技為發展重點的綜合性大學作為評估基礎，較不適用於文、法、商為重點的大學。建議後續研究可針對文、法、商等類型大學建立校園永續評估指標系統。
4. 建議成立統籌及管理校園永續性的組織，雖然有部份學校已成立環安委員會及設置一級單位環安中心，但並非統籌及管理校園永續性的組織，未明確建立學校永續目標，對於校園永續工作的推動也無明確權責單位，造成校內各單位以兼辦方式辦理永續工作，成效不彰，因此，學校實有必要成立統籌及管理單位長期持續改善校園的永續性。

5. 本研究部份評估指標因考量學校狀況而有些項目未納入，例如師生個人所使用之汽、機車，因涉及人、車眾多不易收集，但也是造成溫室氣體重要原因；糧食生態足跡，因食物採外包方式處理，大部份詳細資料不易取得，但也是計算生態足跡重要項目。因此建議後續研究可考量建立一個方法推估師生個人所使用之汽、機車汽油，納入能源與溫室氣體評估指標，及糧食納入生態足跡計算項目內，可確實呈現溫室氣體排放量及 EF 值，以作為環境改善的依據。



## 參考文獻

- 王筱雯，(89年)，「台大校總區校園環境教育探討」，國立台灣大學地理研究所碩士論文，台北。
- 王仁政，(94年)，「永續大學校園生態評估指標系統之建構」，東海大學景觀學系研究所碩士論文，台中。
- 中國林業局，(99年)，「日本2008年度城市公園人均面積約9.6平方米」。  
<http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/234/content-416197.html>  
(accessed on, 2010.09.10)。
- 水資源管理與政策研究中心，(99年)，水之原鄉，淡江大學、經濟部水利署，台北。
- 李永展，(89年)，永續發展，巨流圖書公司，台北。
- 李公哲，(87年)，永續發展導論，中華民國環境工程學會出版，台北。
- 於幼華、郭乃文、張益誠、陳冠榮，(87年)，建立台灣地區永續性發展指標之研究，行政院研究發展考核委員會，台北。
- 周志承，(94年)，「建構永續大學校園建築環境品質管理策略之研究」，國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文，高雄。
- 林憲德，(96年)，綠建築解說與評估手冊，內政部，台北。
- 林建棕，(94年)，「一所百年老校活化創新—永續校園經營之個案研究」，台北市立教育大學教育行政與評鑑研究所碩士論文，台北。
- 林政賢，(93年)，「綠建築評估指標適用性之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
- 林德昌，(94年)，永續發展與聯合國二十一世紀議程，行政院青年輔導委員會，台北。
- 林憲德，(90年)，城鄉生態，詹氏書局，台北。
- 林憲德，(93年)，永續校園與節能計畫，詹氏書局，台北。

- 林憲德，(95 年)，*綠色建築*，詹氏書局，台北。
- 胡麗卿，(94 年)，「永續校園環境教育策略之行動研究」，國立高雄大學成人教育研究所在職專班碩士論文，高雄。
- 胡思聰，(96 年)，「二氧化碳產生量如何計算」，永續國政評論 096-040 號，財團法人國家政策研究基金會，台北。
- 徐任鋒，(92 年)，「綠建築評估指標應用於大學校園環境之研究—以逢甲、靜宜大學為例」，逢甲大學建築及都市計畫研究所碩士論文，台中。
- 教育部環保小組，(99 年)，<http://www.edu.tw/environmental/index.aspx> (accessed on 2010.06.03)。
- 張益誠，(90 年)，「應用因子分析方法為臺灣地區建構永續發展趨勢評估指標系統」，國立臺灣大學環境工程研究所博士論文，台北。
- 張家豪，(96 年)，「地方溫室氣體盤查系統」，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，新竹。
- 張清泉，沈盛達，(98 年)「臺北醫學大學的永續發展—創新、躍進、永續」，*第四屆綠色大學理論與實務研討會論文集*，8-1 至 8-15 頁，台北。
- 許志義、陳澤義、周鳳瑛，(89 年)，*溫室效應與永續發展*，俊傑書局股份有限公司，台北。
- 陳永昌，(92 年)，「綠色大學評量指標系統之建構研究」，國立高雄師範大學環境教育研究所碩士論文，高雄。
- 陳婉婷，(94 年)，「區域性自來水物質流之研究」，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，台北。
- 陳湜雅，(94 年)，「永續大學校園規劃設計準則及臺灣 33 所大學現況調查研究」，臺北市立教育大學教育行政與評鑑研究所，台北。
- 陳聰志，(96 年)，「永續校園生物棲地環境指標適切性現況之調查研究」，國立台中教育大學環境教育研究所碩士論文，台中。

- 陳世杰，(98年)，「綠色學之經營－以義守大學為例」，*第四屆綠色大學理論與實務研討會論文集*，16-1至16-14頁，台北。
- 郭天裕，(95年)，「大專校院實驗室廢液流佈與管理機制之探討」，*國立中央大學環境工程研究所碩士在職專班論文*，桃園。
- 黃書禮，(89年)，*生態土地使用規劃*，詹氏書局，台北。
- 黃書禮，翁瑞豪，陳子淳，(86年)，「台北市永續發展指標系統之建立與評估」，*都市與計劃*，第二十四卷，第一期，第23~42頁，中華民國都市計劃學會。
- 黃書禮，(97年)，*台灣永續發展指標2004年現況分析與研提策略期末報告*，行政院研究發展考核委員會，台北。
- 葉欣誠、陳永昌，(91年)，*綠色大學評量指標之建構研究(1/2)*，行政院國家科學委員會，台北。
- 葉欣誠、莊育禎，(92年)，*綠色大學評量指標之建構研究(2/2)*，行政院國家科學委員會，台北。
- 葉欣誠、郭彥宏、李育明，(91年)，「我國環境永續性指數之計算與分析」，*二〇〇二年環境資源經濟、管理暨系統分析學術研討會論文集*，國立台北大學資源管理研究所，台北。
- 葉欣誠，于蕙清，(94年)，*國際環境永續性指標之探討*，*永續環境管理之制度與方法研討會*，國立中央大學環境工程研究所，中壢市。
- 葉俊榮，(92年)，*永續台灣評量系統*，行政院國家科學委員會，台北。
- 葉武宗，(95年)，「大專院校舊有建築物耗能之研究」，*國立交通大學工學院營建技術與管理學程碩士論文*，新竹。
- 經濟部水利署，(97年)，<http://www.ftis.org.tw/water/2009prize/history.html#>  
(accessed on 2010.06.03)
- 廖本富，(89年)，「物質流分析架構與量制系統之探討」，*國立台北大學資源管理研究所碩士論文*，台北。

- 廖佳賢，(95年)，柏林運用 *Biotope Area Factor*(生物棲地指數) 將自然帶回都市，台灣環境資源協會，台北。
- 蔡美戀，(92年)，「鄉鎮層級都市永續發展指標系統架構之研究」，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文，高雄。
- 蔡昆達，(94年)，「全國國土計畫永續發展指標系統建構之研究」，國立成功大學都市計劃研究所碩士論文，台南。
- 蔡昀璋，(95年)，「以生態足跡模式評估大學校園環境永續性之研究」，國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文，高雄。
- 蔡宏達，(97年)，「校園溫室氣體盤查與減量措施」，第三屆綠色大學理論與實務研討會論文集，8-1—8-18頁，台北。
- 劉安平，(97年)，「綠色大學的建構—國立高雄大學的發展歷程與未來展望」，第三屆綠色大學理論與實務研討會論文集，7-1至7-19頁，台北。
- 劉安平，(98年)，「國立高雄大學對校園永續發展的承諾與持續改善」，第四屆綠色大學理論與實務研討會論文集，14-1至14-14頁，台北。
- 劉佑星，彭偉民，(97年)，「我國綠色大學發展經驗—以慈濟大學為例」，第三屆綠色大學理論與實務研討會論文集，6-1至6-19頁，台北。
- 劉家男，(98年)，「綠野仙蹤在暨大」，第四屆綠色大學理論與實務研討會論文集，12-1至12-12頁，台北。
- 環保署毒性化學物質網站，(99年)，  
<http://www.epa.gov.tw/ch/aioshow.aspx?busin=324&path=6080&guid=e80c19b6-e38d-4f59-a598-7ae98ee6d3f9&lang=zh-tw/> (accessed on 2010.06.03)。
- 謝隆欽，(94年)，「綠色校園課程規畫與實施之研究」，國立高雄大學科學教育研究所碩士論文，高雄。

謝政勳，(91 年)，「都市永續發展指標適用性評估—以高雄市為例」，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文，高雄。

蘇敬惠，(93 年)，「建構永續大學城整體規劃之研究—以宜蘭大學為例」，國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文，高雄。

Alshuwaikhat, H.M. and Abubakar, I. (2008). “An integrated approach to achieving campus sustainability : assessment of the current campus environmental management practices.” *Journal of Cleaner Production*, 16(16), pp. 1777-1785.

Armijo de Vega, C., Benitez, S.O., and Ramirez, B.M. (2008). “Solid waste characterization and recycling potential for a university campus.” *Waste Management*, 28, pp. 521-526.

Bardati, D.R. (2006). “The integrative role of the campus environmental audit: experience at Bishop’s University, Canada.” *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 7(1), pp. 57-68.

Dawe, G.F., Vetter, A., and Martin, S. (2004). “An overview of ecological footprinting and other tools and their application to the development of sustainability process-Audit and methodology at Holme Lacy College, UK.” *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 5(4), pp. 340-371.

Evangelinos, K.I., Jones, N., and Panorios, E.M. (2009). “Challenges and opportunities for sustainability in regional university : a case study in Mytilene, Greece.” *Journal of Cleaner Production*, 17, pp.1154-1161.

Espinosa, R.M., Turpin,S., Polanco, G., Delatorr, A., Delfin, I., and Raygoza, I. (2008). “Integral urban solid wast management program in a Mexican university.” *Waste Management*, 28, pp. 527-532.

- Esty, D.C. (2005). *2005 Environmental Sustainability Index : Benchmarking National Environmental Stewardship*, Yale Center for Environmental Law & Policy, New Haven, Connecticut, 2005.
- Esty, D.C. (2008). *2008 Environmental Performance Index*, Yale Center for Environmental Law & Policy, New Haven, Connecticut.
- Fisher, D.R. and Liebl, D.S. (1996). *Eau Clair County Indicator*, Sustainable Community Development, University of Wisconsin-Extension Cooperative Extension.
- Ford, A. (2007). *Designing the Sustainable School*, The Images Publishing Group Pty Ltd, Australia.
- Flint, K. (2001). "Institutional ecological footprint analysis-A case study of the University of Newcastle, Australia." *Institutional Journal of Sustainability in Higher Education*, 2(1), pp. 48-62.
- Granados, A.J. and Peterson, P.J. (1999). "Hazardous waste indicator for national decision makers." *Journal of Environmental Management*, 55, 249-263.
- Hails, C., Loh, J., and Goldfinger, S. (2007). "*Living Planet Report 2006*." WWF-World Wide Fund for Nature, Gland, Switzerland.
- Phillips, J. (2010). *FAS Campus Sustainability Report : Fiscal Year 2009*, Harvard University, Cambridge, USA.
- Graedel, T.E. (2002). "Quantitative sustainability in a college or university setting." *Institutional Journal of Sustainability in Higher Education*, 3 (4), pp. 346-358.
- Koester, R.J., Eflin, J., and Vann, J. (2006). "Greening of the campus: a whole-systems approach." *Journal of Cleaner Production*, 14, pp. 769-779.

- Kelly, T.C., Mason, I.G., Leiss, M.W., and Ganesh, S. (2006). "University community responses to on-campus resource recycling." *Resources Conservation & Recycling*, 47, pp. 42-55.
- Lengyel, S., Kobler, A., Kutnar, L., Framstad, E., Henry, P. Y., Babij, V., Gruber, B., Schmeller, D., and Henle, K. (2008). "A review and a framework for the integration of biodiversity monitoring at the habitat level." *Biodiversity and Conservation*, 17, pp. 3341-3356.
- Li, G.J., Wang, Q., Gu, X. W., Liu, J.X., Ding, Y., and Liang, G.Y. (2008). "Application of the componential method for ecological footprint calculation of a Chinese university campus." *Ecological Indicators*, 8, pp. 75-78.
- Loyola, R.D. and Martins, R.P. (2008). "Habitat structure components are effective predictors of trap-nesting Hymenoptera diversity." *Basic and Applied Ecology*, 9, pp. 735-742.
- Lukman, R., Tiwary, A., and Azapagic, A. (2009). "Toward greening a university campus : The case of the University of Maribor,Slovenia." *Resources, Conservation and Recycling*, 11(53), pp. 639-644.
- Lozano, R. (2006). "Incorporation and institutionalization of SD into universities : breaking through barriers to change." *Journal of Cleaner Production*, 14, pp. 787-796.
- McNeilly, L. (2010). *UC Berkeley 2010 Campus Sustainability Report*, UC Berkeley, California, USA.
- National Wildlife Federation (NWF). (2010). "Campus Ecology"  
<http://www.nwf.org/> (accessed on 2010.01.03)

- Organisation For Economic Co-operation And Development (OECD). (2009).  
“Sustainable Development”  
[http://www.oecd.org/departement/0,3355,en\\_2649\\_33713\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/departement/0,3355,en_2649_33713_1_1_1_1_1,00.html). (accessed on 2010.05.05)
- Senate Department for Urban Development (SDUD). (2010). *Biotope Area Factor (BAF)*, Senate Department for Urban Development of Berlin, Germany.  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/index\\_en.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/index_en.shtml). (accessed on 2010.01.03)
- Sustainable Seattle. (1998). *Sustainable Seattle, Sustainable seattle- indicators of sustainable community*, The Sustainable Seattle Indicators Task Team., Washington, USA.
- Savan, B. (2008). *University of Toronto Annual Sustainability Report 2008*, Toronto, Canada.
- United Nations Division for Sustainable Development, (2009), “Sustainable Development Topics.” [http://www.un.org/esa/dsd/dsd/dsd\\_index.shtml](http://www.un.org/esa/dsd/dsd/dsd_index.shtml). (accessed on May 5, 2010)
- University Leaders for a Sustainable Future. (2009). “Talloires Declaration” <http://www.ulsf.org/> (accessed on 2010.05.05)
- Venetoulis, J. (2001). “Assessing the ecological impact of a university, the ecological footprint for the University of Redlands.” *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2(2), pp. 180-196.
- Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A., and Taddei, J. (2006). “Sustainable university : what can be the matter ? ” *Journal of Cleaner Production*, 14, pp. 810-819.

Wylie, A.G. (2010). *Campus Sustainability Report 2010*, Maryland University, College-Park, USA.

Wackernagel, M. and Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint : Reducing Human Impact on the Earth*, New Society publisher, Gabriola.

Yeh, S.C. (2006). “Greening the university campuses in Taiwan: Development of A Green University Evaluation Index System as Example.” *Journal of the Chinese Institute of Engineering*, 15 (2), pp. 69-81.

