

Estudi preliminar per la creació d'una nova categoria d'impacte ambiental dins el marc de l'ACV: La dimensió natural del paisatge

Autora: Anna Petit Boix

Directors: Julia Martínez Blanco, Jordi Oliver i Solà, Joan Rieradevall Pons

Institució: Llicenciatura de Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona

Bellaterra, Juny 2012

Resum: L'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) és una eina emprada per gestionar els impactes ambientals i els recursos usats al llarg del cicle de vida d'un bé o servei. Existeixen reptes de futur en el desenvolupament de l'ACV, tals com la introducció de noves categories d'impacte ambiental, que permetin una anàlisi més específica dels impactes sobre determinats elements del medi, com ara el paisatge. En el present estudi s'analitza la dimensió natural del paisatge per tal de proposar la creació d'un índex de paisatge. Així doncs, s'han revisat les noves propostes de categories d'impacte en ACV que inclouen directament o indirecta el paisatge i s'ha analitzat una mostra de 33 estudis d'indicadors de paisatge. Aquesta cerca deriva en l'elecció de 6 indicadors: els usos del sòl, la diversitat paisatgística, la fragmentació, la connectivitat, la riquesa d'espècies i la densitat de carreteres. En la determinació dels seus respectius mètodes de càlcul s'ha detectat la importància de l'ús dels SIG, l'elecció d'una base de dades d'usos del sòl comuna (CORINE) i les interrelacions que existeixen entre indicadors. La proposta de l'índex hauria de poder ésser un punt de partida per a futurs estudis en aquest àmbit i derivar en una nova categoria d'impacte de paisatge, donat que caldrà estudiar alguns elements, com la interrelació entre indicadors.

Paraules clau: paisatge, categoria d'impacte, Anàlisi de Cicle de Vida, indicador ambiental, usos del sòl, ecologia del paisatge

Estudio preliminar para la creación de una nueva categoría de impacto ambiental en el marco del ACV: La dimensión natural del paisaje

Resumen: El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta usada para gestionar los impactos ambientales y los recursos usados a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio. Existen retos de futuro en el desarrollo del ACV, tales como la introducción de nuevas categorías de impacto ambiental, que permitan un análisis más específico de los impactos sobre determinados elementos del medio, como por ejemplo el paisaje. En el presente estudio se analiza la dimensión natural del paisaje con el fin de proponer la creación de un índice de paisaje. Así pues, se han revisado las nuevas propuestas de categorías de impacto en ACV que incluyen directa o indirectamente el paisaje y se ha analizado una muestra de 33 estudios de indicadores de paisaje. Esta búsqueda deriva en la elección de 6 indicadores: los usos del suelo, la diversidad paisajística, la fragmentación, la conectividad, la riqueza de especies y la densidad de carreteras. En la determinación de sus respectivos métodos de cálculo se ha detectado la importancia del uso de los SIG, la elección de una base de datos de usos del suelo común (CORINE) y las interrelaciones que existen entre indicadores. La propuesta del índice debería poder ser un punto de partida para futuros estudios en este ámbito y derivar en una nueva categoría de impacto de paisaje, dado que será necesario estudiar algunos elementos, como la interrelación entre indicadores.

Palabras clave: paisaje, categoría de impacto, Análisis de Ciclo de Vida, indicador ambiental, usos del suelo, ecología del paisaje

Preliminary study for the creation of a new impact category in the LCA framework: The natural dimension of landscape

Abstract: Life Cycle Assessment (LCA) is a tool used to assess the environmental impacts and resources used throughout a product's or service's life cycle. There are future challenges in the development of the LCA, such as the introduction of new environmental impact categories that may allow a more specific analysis of the impacts on certain elements of the environment, for example the landscape. In the present study, the natural dimension of the landscape is analysed, with the aim to propose the creation of a landscape index. New LCA impact categories, which include landscape directly or indirectly, have been reviewed and a sample of 33 landscape indicator studies have been analysed. This search leads to the choice of 6 indicators: land use, landscape diversity, fragmentation, connectivity, species richness and road density. While determining their respective calculation methods, the importance of the use of GIS was detected, as well as the choice of a common land use database (CORINE) and the existent interrelations between indicators. The proposal of an index may be a start point in future studies regarding this field and lead to a new landscape impact category, given that further analysis of some elements, such as the interrelations between indicators, will be required.

Keywords: landscape, impact category, Life Cycle Assessment, environmental indicator, land use, landscape ecology

1. Introducció

El paisatge és un element natural, econòmic i social sobre el qual es produeixen transformacions i alteracions a causa, principalment, de l'acció antròpica. La producció de béns i serveis juga un paper important en el consum de recursos. Al llarg del cicle de vida d'aquests béns i serveis, algun dels elements que conformen el paisatge es pot veure afectat. És per això que en el present estudi es du a terme una interrelació entre 3 elements: el paisatge, els indicadors ambientals i l'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV).

1.1 El paisatge i els indicadors ambientals

El terme "paisatge" és definit de forma vàlida i consensuada pel Conveni Europeu del Paisatge o de Florència (2000), com "una part del territori, tal i com la percep la població local i els visitants, que evoluciona al llarg del

temps com a resultat de l'acció de les forces naturals i els éssers humans". S'identifiquen 3 dimensions a l'hora de caracteritzar el paisatge (Landscape Institute, 2002): **natural o ecològica** (conjunt de plantes, animals, comunitats i ambients on la forma, les dimensions i la distància del terreny són els elements estructurals), **econòmica** (el paisatge com a recurs que satisfà les necessitats humanes) i **sociocultural** (vessant estètic i simbòlic; percepció per part de la població).

D'altra banda, un "indicador ambiental" es pot entendre com un paràmetre o valor derivat de paràmetres que descriuen l'estat del medi ambient i el seu impacte en l'ésser humà, els ecosistemes i els materials, les pressions sobre el medi, les forces motrius i les respostes que dirigeixen el sistema (Agència Europea de Medi Ambient, EEA, 2011). En l'àmbit del paisatge pot ser útil per donar

informació sobre l'estat en què es troben els diferents elements que conformen i defineixen un paisatge determinat.

1.2 L'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV)

L'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) és una eina internacional estandarditzada per les ISO 14040 a 14044 que és emprada per a l'avaluació dels fluxos d'entrada i sortida (energia, material, emissions, etc.) i dels seus potencials impactes al llarg del cicle de vida d'un producte, servei o procés (EKVALL i FINNVEDEN, 2000). A partir d'aquesta anàlisi es permet millorar les actuacions ambientals

en la producció i la presa de decisions i seleccionar els indicadors més rellevants, així com actuar com a eina de màrqueting. S'utilitza en la gestió ambiental integrada de productes (béns i serveis) (*ILCD Handbook*, 2010).

L'ACV consta de 4 fases interrelacionades entre elles, les quals es presenten a la **Figura 1**.

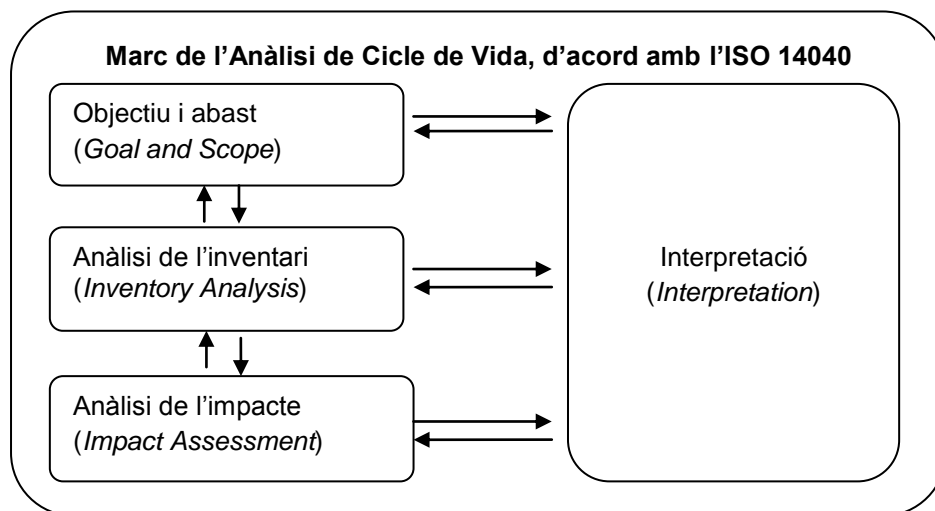


Figura 1 Esquema de fases de l'ACV. Font: ISO 14040

La fase d'*Objectiu i abast* defineix quin és l'objectiu de l'anàlisi, a qui va destinat i quins són els seus límits. L'element més important és la definició de la unitat funcional, és a dir, el valor de referència emprat per expressar les entrades i sortides derivades de la producció d'un bé o servei. En la segona fase es quantifiquen els fluxos associats a un producte, servei o procés (materials, energia, residus, emissions, transport, etc.), tot referenciant-los per unitat funcional.

L'*Anàlisi de l'impacte* es pot dividir en 4 passos: *classificació*, en què cada tipus d'emissions, consums, etc., s'associen a una o més de les categories d'impacte definides per aquesta eina d'anàlisi, essent exemples de **categoria d'impacte** el canvi climàtic o l'acidificació; *caracterització*, en què es defineixen uns factors que han de reflectir la contribució relativa de cada resultat dins la categoria d'impacte; *normalització*, on es determina la contribució del sistema a l'impacte ambiental total d'una regió per a

cada categoria d'impacte, i *valuació*, per obtenir una unitat única de puntuació de l'impacte. Finalment, l'última fase, d'interpretació, consisteix en la representació i estudi dels resultats obtinguts, detectant-ne hotspots, comparant resultats i proposant recomanacions.

L'ACV és una eina en constant millora metodològica i hi ha determinats temes que presenten certa preocupació. Alguns d'ells són la no inclusió de determinats vectors del medi com a categories d'impacte (usos del sòl, biodiversitat, etc.) i el fet que no hi ha un tractament espaciotemporal dels impactes, cosa que no fa possible l'anàlisi de la sensibilitat de diferents regions, ja que cada zona és afectada per un mateix impacte de manera diferent (REAP *et al.*, 2008).

1.3 Justificació i Objectius

El paisatge no ha estat prou considerat en el marc de l'ACV, només d'una forma parcial i indirecta. La importància de considerar-lo rau en les transformacions i impactes que hi tenen lloc com a conseqüència de les activitats humanes (per exemple l'extracció de recursos, ocupació de sòl, etc.) i que deriven del cicle de vida de diferents productes i serveis. És per això que aquestes transformacions sobre el medi natural haurien de poder ésser considerades dins l'ACV com a categoria d'impacte.

El present estudi se centrarà en la proposta i desenvolupament de potencials indicadors d'impacte sobre el paisatge - tenint només en compte el seu vessant natural- amb l'objectiu futur de desenvolupar una nova categoria

d'impacte que integri els vessants naturals, econòmics i socioculturals. Els principals objectius seran, per tant:

- 1)** Recercar les propostes de noves categories d'impacte ambiental en ACV, o nous indicadors dins de categories ja existents, que s'han dut a terme en els últims anys, relacionades directa o indirectament amb el paisatge.
- 2)** Seleccionar indicadors d'impacte sobre el paisatge, en la seva dimensió natural, que podrien ser útils a l'hora de crear una potencial nova categoria d'impacte ambiental adreçada al paisatge i dins del context de l'Anàlisi de Cicle de Vida.
- 3)** Establir relacions entre els indicadors de paisatge seleccionats en la dimensió natural i les darreres categories d'impacte proposades en ACV.
- 4)** Proposar un índex preliminar de paisatge en el seu vessant natural i les accions de futur per a la creació d'una categoria d'impacte ambiental en aquest àmbit.

2. Metodologia

Donada la diversitat d'elements que calia interrelacionar i la complexitat d'aquests, ha estat necessària una recerca en profunditat sobre el paisatge, els indicadors ambientals i l'ACV.

Determinant quins són els elements que conformen el paisatge en la dimensió natural, es va procedir a cercar publicacions internacionals que proposessin una metodologia concreta per elaborar noves categories d'impacte, com ara els usos del

sòl, la biodiversitat, l'aigua superficial o el soroll.

Paral·lelament es van cercar els indicadors de paisatge més emprats a nivell internacional, europeu i autonòmic, tot analitzant el seu grau d'aplicació, dins d'una mostra de 33 estudis. Aquests indicadors es van classificar en 4 grups: *Característiques del paisatge*, *Biòtops*, *Estressors humans* i *Aigua*. Dins d'aquests es van seleccionar els més emprats

dins la mostra i es van analitzar amb profunditat, tot observant, també, la seva relació amb les noves propostes de categories d'impacte. Finalment, es va dur a terme una discussió sobre com es podria plantejar un índex de paisatge que integrés els indicadors seleccionats i que servís com a proposta per a la creació d'una nova categoria d'impacte en el futur. Tot el procediment es pot observar de forma esquemàtica a la **Figura 2**.

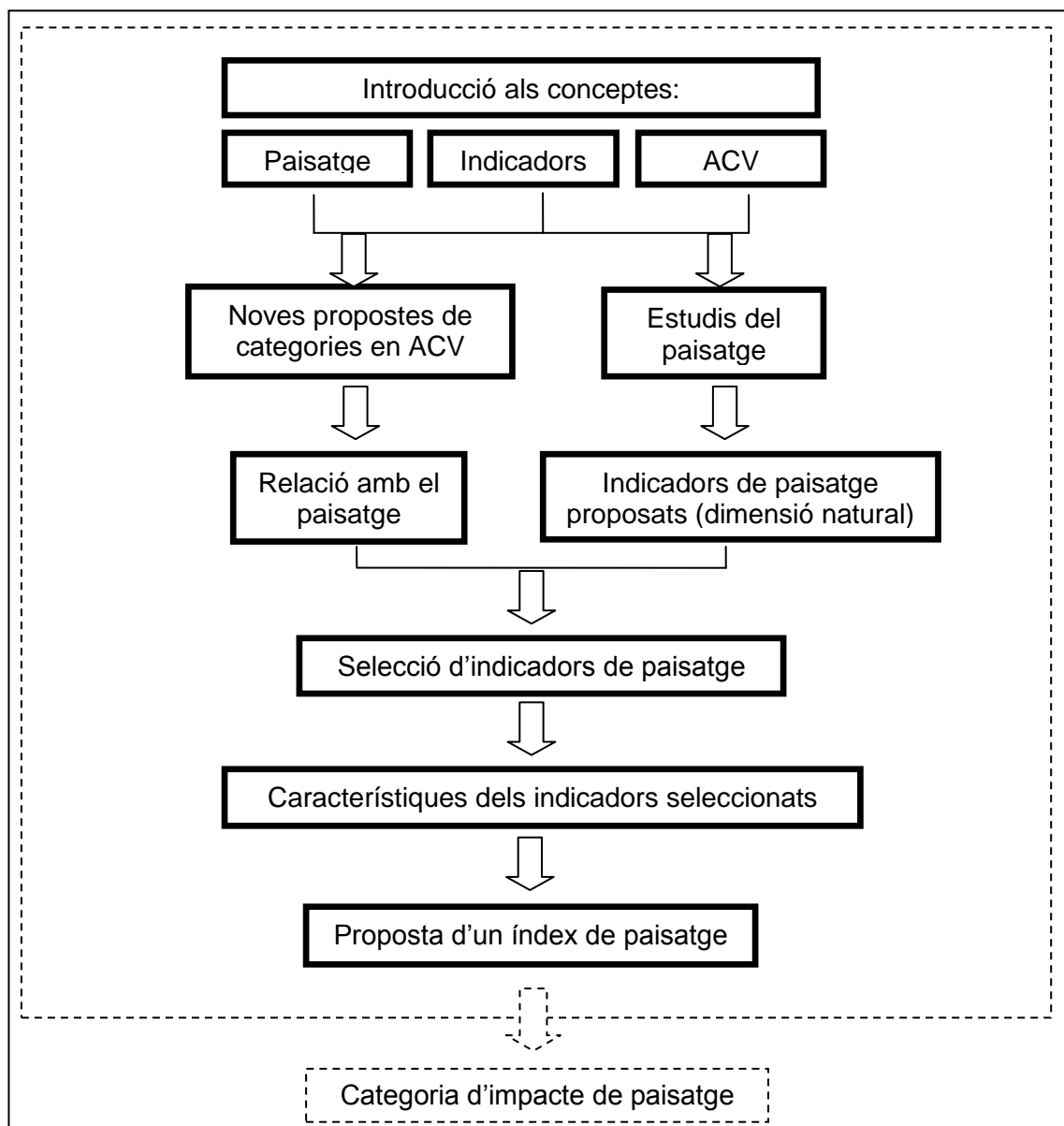


Figura 2 Diagrama de fases del projecte i límit de la recerca. *Font:* Elaboració pròpia

3. Potencials noves categories d'impacte ambiental i relació amb el paisatge

Tal i com s'ha esmentat, avui dia encara existeixen impactes sobre vectors a protegir que no han estat incorporats, individualment com a categoria d'impacte o dins de categories d'impacte més àmplies, en ACV, com ara els usos del sòl, la biodiversitat, etc. Per tant, els impactes no queden reflectits en l'anàlisi perquè durant la fase de classificació no es pot atribuir a cap categoria concreta. És per això que l'estudi i desenvolupament de noves categories d'impacte es continua duent a terme en l'actualitat. L'anàlisi que s'ha realitzat en aquest estudi s'ha centrat en 5 vectors, els quals estan relacionats amb la dimensió natural del paisatge.

Els vectors estudiats han estat els **usos del sòl**, la **biodiversitat**, les **aigües superficials**, les **proprietats del sòl** i el **soroll**. Diferents mètodes han estat presentats per tal d'incloure aquests vectors en l'ACV i destaca la importància de les propostes d'indicadors. Una de les observacions més rellevants en aquesta anàlisi ha estat la determinació que existeixen interrelacions entre els 5 vectors. En la majoria de casos, per exemple, l'estudi dels usos del sòl no es duu a terme de manera individual, sinó que inclou d'altres elements, ja que un canvi en l'ús del sòl pot donar lloc a efectes adversos per a la biodiversitat, la qualitat del sòl i l'aigua, entre d'altres (SCHENCK, 2001; HEUVELMANS *et al.*, 2005; MILÀ I CANALS *et al.*, 2007; MICHELSEN, 2008; SCHMIDT, 2008; MAES *et al.*, 2009; SAAD *et al.*, 2011).

Es podria dir que existeix una relació directa entre els usos del sòl i el paisatge, ja que les relacions de causa-efecte que tenen lloc entre els canvis en els usos del sòl i la resta de vectors englobarien els processos que poden tenir lloc en el paisatge en la seva dimensió natural. D'aquesta manera es podria dir que canvis en el paisatge afectarien la dinàmica de la biodiversitat, les aigües superficials, etc. La construcció d'una carretera, per exemple, seria un canvi en l'ús del sòl d'una zona i implicaria una disminució de la biodiversitat, reducció de la infiltració d'aigua, etc.

El paisatge no ha estat presentat de forma explícita dins d'aquestes propostes de noves categories d'impacte ambiental, però com que s'estableixen relacions entre els diferents vectors, la seva anàlisi s'ha considerat rellevant. A més, a partir d'aquests estudis es podrà observar si les propostes d'indicadors de paisatge que s'han dut a terme en els darrers anys tenen alguna relació amb les darreres propostes de noves categories d'impacte en ACV (**Secció 5**).

4. Perspectiva d'indicadors de paisatge

Al llarg del temps, s'han dut a terme nombrosos estudis mitjançant els quals es pretén establir les bases per a una correcta gestió del territori, en els quals, en molts casos, el paisatge hi ha estat representat. A partir d'una mostra de 33 estudis de referència, s'ha realitzat un recull amb els principals indicadors de paisatge en la dimensió natural que s'han proposat en aquests estudis. El recull s'ha organitzat d'acord amb la regió o país del qual prové

l'estudi. Per cadascun d'ells, s'han identificat els indicadors que han estat emprats, tot classificant-los, segons el procediment indicat a la **Secció 2**.

A partir d'aquest recull, s'han observat diferents tendències (**Taula 1**). En primer lloc, s'ha detectat que el 33% dels estudis han estat desenvolupats als països europeus i el 27% del total de projectes és elaborat per organismes de la Unió Europea. Dins la mostra, els estudis més antics han estat elaborats a Amèrica del Nord (a partir de 1995), fet que representa un major grau de maduresa en aquesta regió. A més, els Estats Units és el país del qual s'ha obtingut un recull més important d'estudis (6). A l'Estat Espanyol s'han realitzat 5 estudis d'indicadors de paisatge, 3 d'ells de Catalunya. Destaca que els primers estudis que s'han analitzat en l'àmbit català daten dels anys successius als estudis nord-americans de la mostra (1997), fet que implica un cert grau de maduresa en l'estudi del paisatge a Catalunya.

Independentment del país o regió, els estudis utilitzen en major mesura els indicadors del grup *Característiques del paisatge*, considerats com a *molt emprats*, essent especialment rellevants els *usos del sòl* amb un 76% d'aplicacions. Aquests últims, juntament amb la *Riquesa/Diversitat paisatgística* i *Fragmentació*, també es troben presents en algunes de les categories d'impacte ambiental proposades anteriorment, com ara la biodiversitat i el soroll. Podria dir-se, doncs, que existeixen indicadors que ja es troben de forma incipient dins l'ACV. Entre les eines de recolçament, destaca l'ús de les SIG a l'hora de tractar les dades i obtenir informació sobre l'estat del paisatge. Existeixen, però, algunes limitacions en l'anàlisi. Mentre que des de l'ecologia del paisatge s'empren els mateixos indicadors i una nomenclatura comuna, analitzant altres estudis destinats a la gestió del paisatge, entre d'altres, s'ha trobat certa manca de consens. Això ha conduït a la selecció d'una nomenclatura pròpia que engloba diferents aspectes, que és la que es presenta a la **Taula 1**.

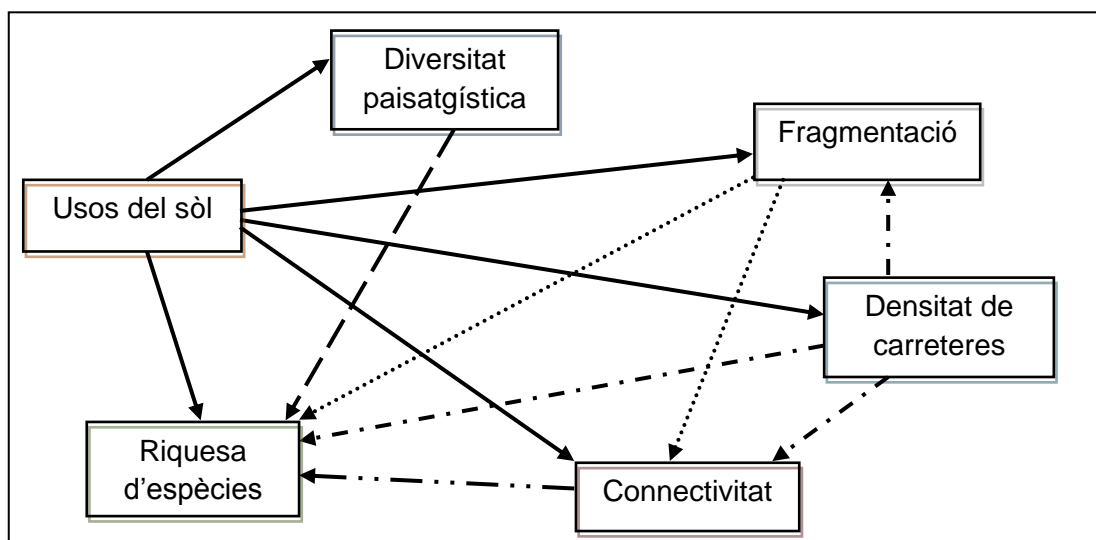


Figura 3 Interrelació entre els diferents indicadors. *Font:* Elaboració pròpia

Taula 1 Grau d'aplicació dels indicadors. Font: Elaboració pròpia

INDICADORS/ ÍNDEXS		Nombre total d'aplicacions				TOTAL	Grau d'aplicació (%)
		Organismes	Amèrica del Nord	Països Europeus	Estat Espanyol		
Característiques del paisatge	Usos del sòl	9	4	9	3	25	76
	Riquesa/Diversitat	7	5	8	3	23	70
	Fragmentació	7	4	5	5	21	64
	Connectivitat	3	2	7	2	14	42
	Dimensions taca	4	4	3	2	13	39
	Contagi	1	2	3	1	7	21
	Forma taca	1	3	2	0	6	18
	Geometria fractal	0	3	3	0	6	18
	Pendent	2	2	0	0	4	12
	Dominància	0	2	2	1	5	15
	Dispersió taques	0	2	2	0	4	12
	Entropia	0	0	1	0	1	3
	Biòtops	Diversitat espècies	1	1	7	1	10
Zones protegides		3	2	4	0	9	27
Vegetació		1	2	4	1	8	24
Qualitat		1	1	3	0	5	15
Tipus de bosc		0	1	2	0	3	9
Biomassa		0	0	1	0	1	3
Estressors humans	Gestió forestal/ agrícola	4	1	5	0	10	30
	Densitat carreteres	2	4	3	0	9	27
	Consum sòl	0	1	4	2	6	18
	Edificacions	1	0	4	1	6	18
	Grau impermeabilització	0	2	2	1	5	15
	Contaminació	0	1	3	0	4	12
	Densitat població	1	2	0	0	3	9
Aigua	Qualitat	1	1	6	0	8	24
	Longitud trams	0	3	2	0	5	15
	Naturalitat dels cursos	0	0	2	0	2	6

REGIONAL		TOTAL	
■	Molt emprat (61-100%)	■	Molt emprat (14-25 vegades)
■	Força emprat (31-60%)	■	Força emprat (7-13 vegades)
■	Poc emprat (0-30%)	■	Poc emprat (1-6 vegades)

5. Anàlisi dels indicadors de paisatge més emprats

A partir de l'anàlisi d'indicadors, se n'han escollit i desenvolupat 6 per tal de poder analitzar-los en profunditat i poder presentar una metodologia de càlcul per a cadascun d'ells. Com a resultat, els indicadors escollits han estat: els **Usos del sòl**, la **Diversitat paisatgística**, la **Fragmentació**, la **Connectivitat**, la **Riquesa d'espècies** i la **Densitat de carreteres**.

Paral·lelament a l'estudi de les potencials noves categories d'impacte ambiental, s'ha observat que existeixen interrelacions entre els diferents indicadors (**Figura 3**), cosa que implica que canvis en uns donen lloc a canvis en uns altres. En aquest cas, la presència dels usos del sòl és destacable no només pel nombre d'aplicacions que s'han presentat, sinó també pel seu ús com a base per a calcular la resta d'indicadors, a excepció de la riquesa d'espècies.

Per tal de presentar el mètode de càlcul s'han discutit i escollit la fórmula de càlcul i la/les fonts de dades més adequades per a cada cas, recurrent sovint al grau d'ús de cadascuna per tal de poder prendre la decisió, així com a l'adequació entre la fórmula i les dades disponibles, com en el cas del càlcul de la riquesa d'espècies (mentre era preferible calcular la diversitat, s'ha proposat la riquesa per obtenir les dades més fàcilment). A més, també s'ha discutit quina nomenclatura defineix millor cada indicador. La metodologia proposada per cadascun d'ells es presenta a la **Taula 2**.

Tal i com ja s'ha observat a l'hora de seleccionar els indicadors de paisatge, les SIG són una eina molt estesa per a realitzar el càlcul dels valors de cada indicador, ja que destaca la important base cartogràfica de les determinacions. Referent a aquesta última, s'ha detectat certa controvèrsia pel que fa a l'elecció de les bases de dades a emprar, existint una important discussió entre CORINE i LUCAS, les quals s'afirma que són complementàries (GALLEGO i BAMPS, 2002). En aquest cas, s'ha escollit CORINE pel seu ús en altres propostes de categories d'impacte ambiental en ACV, ja que es pretén que aquesta sigui una proposta encaminada al desenvolupament d'una nova categoria d'impacte. En el cas de la riquesa, però, s'han cercat altres fonts de dades.

A partir tota l'anàlisi desenvolupada, es pot dir que aquests indicadors es poden aplicar a qualsevol regió del món, sempre i quan s'utilitzin les bases de dades adequades en cada cas. Tot i així, existeixen certes limitacions pel que fa a l'ús d'indicadors de paisatge, ja que: cal tenir molt en compte els processos que tenen lloc a la natura per tal d'establir relacions causals; és costum emprar índexs poc rellevants; i es poden donar confusions pel que fa a les dades en funció de l'escala d'observació (LI i WU, 2004).

Taula 2 Metodologies de càlcul seleccionades per cada indicador. Font: Elaboració pròpia

Nom de l'indicador	Mètode de càlcul		Font(s) de dades
	Nom	Fórmula	
Usos del sòl	Proporció de cobertes forestals i agrícoles	$P_x = \frac{\text{Àrea de coberta forestal} + \text{Àrea de coberta agrícola}}{\text{Àrea de cobertes total}}$	CORINE (Co-ordination of Information on the Environment)
Diversitat paisatgística	Índex de Diversitat de Shannon	$H = - \sum_{k=1}^s (p_k) \ln(p_k)$ <p>on s és el nombre d'elements del paisatge (clapes) i p_k és la relació entre l'àrea ocupada per l'element k i la zona d'estudi</p>	CORINE (Co-ordination of Information on the Environment) Ortofotografies
Fragmentació	Índex de dissecció del paisatge	$LDI = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sqrt{\pi A_t \sum_{i=1}^n A_i}}$ <p>on P_i és el perímetre de n clapes, A_i és la mida de cada clapa i A_t és la mida total de la regió</p>	CORINE (Co-ordination of Information on the Environment) TeleAtlas Multinet® Ortofotografies
Connectivitat	Índex gamma de connectivitat de xarxes	$Y = \frac{L}{3(V-2)}$ <p>on L és el nombre de camins i V és el nombre de nodes. Els nodes són elements individuals dins la xarxa i els camins representen les rutes possibles que relacionen els nodes</p>	CORINE (Co-ordination of Information on the Environment) Dades sobre les principals espècies
Riquesa d'espècies	Riquesa d'espècies arbòries i arbustives	$R = s$ <p>on s és el nombre d'espècies diferents</p>	Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya Global Biodiversity Information Facility (GBIF) Publicacions científiques Reculls de dades de col·lectius o individuals
Densitat de carreteres	Fórmula de la densitat de carreteres	$\rho = \frac{\text{longitud total de carreteres}}{\text{Àrea de la zona d'estudi}}$ <p>on la longitud de carreteres es troba en km i l'àrea d'estudi en km^2</p>	CORINE (Co-ordination of Information on the Environment) TeleAtlas Multinet® Ortofotografies

6. Proposta d'un índex de paisatge

L'objectiu últim d'aquesta anàlisi consisteix en discutir com es poden combinar els 6 indicadors per tal d'obtenir una proposta d'índex de paisatge. A tals efectes, són dues les propostes que s'han presentat: (1) L'**índex bàsic de paisatge** i (2) L'**índex ponderat de paisatge**, les fórmules dels quals es basen en el sumatori dels indicadors, sense i amb ponderació. L'opció (2) ha estat la proposada finalment, ja que té en compte la contribució (pes) de cada indicador dins de l'índex total. La seva expressió és tal com (1.1):

$$(1.1) IP_p = aP_x + bH + c\left(1 - \frac{LDI}{E_{LDI}}\right) + d\gamma + e\frac{R}{E_R} + f\left(1 - \frac{\rho}{E_p}\right)$$

on IP_p és l'índex ponderat de paisatge, P_x és la proporció de cobertes forestals i agrícoles (indicador usos del sòl), H és l'índex de Shannon (indicador diversitat paisatgística), LDI és l'índex de dissecció del paisatge (indicador fragmentació), γ és l'índex gamma de connectivitat de xarxes (indicador connectivitat), R és la riquesa d'espècies, ρ és la densitat de carreteres i E és el valor màxim de l'indicador. a , b , c , d , e i f són els coeficients de cada indicador.

La primera aproximació que ha calgut desenvolupar ha estat com normalitzar els resultats. 3 dels 6 indicadors no es troben dins del rang de valors 0-1, de manera que per dur a terme el sumatori calia que tots els resultats es trobessin dins d'aquest rang i fossin adimensionals. Per això s'han presentat dues propostes. La primera d'elles, la qual ha estat escollida finalment, ha estat dividir el valor de l'indicador pel *valor màxim* que

aquest podria prendre en un territori determinat (E). La problemàtica d'aquesta assumpció rau en l'escala territorial en què es puguin obtenir les dades (global, regional, local). Per això, la segona proposta consisteix en emprar les anomenades *funcions de transformació*, mitjançant les quals és possible passar d'un valor real a un valor entre 0 i 1. No obstant, no s'han trobat funcions de transformació per a tots els indicadors.

A partir d'aquí, el següent pas ha estat decidir com contribueix cada indicador a l'índex global. En aquest cas, s'ha proposat calcular el valor complementari d'aquests indicadors (*fragmentació* i *densitat de carreteres*), és a dir: 1 menys el valor obtingut en l'indicador. D'aquesta manera es pot continuar sumant els indicadors i no calen canvis en el signe.

També s'ha presentat com a problemàtic proposar un valor per a cada coeficient, ja que no només és important quantes vegades s'ha aplicat l'indicador, sinó que també cal tenir en compte les interrelacions que existeixen entre ells i la rellevància real de l'indicador, ja que potser no s'han de fer servir tots o només aquests sis indicadors. És força clar, però, que els usos del sòl hi tindran un pes rellevant.

Donats els problemes i les assumpcions que s'han presentat, a continuació s'enumeren algunes de les línies de recerca que caldria desenvolupar:

- Determinar si els sis indicadors proposats són realment rellevants en la definició de l'índex.

- Analitzar la resta d'indicadors presentats en el recull (**Secció 3**), detectant-ne els potencialment aplicables a l'índex, i cercar possibles nous indicadors que no s'hagin trobat dins la mostra d'estudis analitzada.
- Establir el grau d'interrelació existent entre els diferents indicadors i els problemes que la integració d'aquests pot presentar.
- Determinar el pes de cada indicador dins de l'índex mitjançant mètodes amb una major base estadística.
- Determinar el mètode més adequat per normalitzar els valors dels indicadors, tot analitzant el mètode proposat de determinació a partir d'un valor màxim i també les funcions de transformació.
- A partir d'un índex de paisatge més concret i definit, es pot procedir al desenvolupament d'una proposta de categoria d'impacte de paisatge per tal que es pugui considerar la seva aplicació dins del marc de l'ACV.

7. Conclusions

S'ha observat que existeixen certes mancances en l'ACV, com no considerar determinats vectors en l'anàlisi dels impactes i la manca de tractament espaciotemporal de les dades.

La cerca de noves potencials categories ha portat a la conclusió que el paisatge té una relació directa amb els usos del sòl i una relació més aviat indirecta amb els altres vectors que s'han analitzat: la biodiversitat, les aigües superficials, les propietats del sòl i el soroll. No obstant, no s'ha identificat una important presència del paisatge en la definició d'aquestes categories, fet que

reforça la necessitat de desenvolupar-ne una d'independent.

La recerca d'indicadors/índexs per a la caracterització de la dimensió natural del paisatge ha derivat en una mostra de 33 estudis desenvolupats a diferents regions: organismes mundials i de la Unió Europea; Amèrica del Nord; Països europeus i l'Estat Espanyol. S'ha detectat una gran **sensibilitat en temes de paisatge a la Unió Europea**, ja que el 33% dels estudis han estat desenvolupats als països europeus i el 27% del total de projectes és elaborat per organismes de la Unió Europea. Dins dels estudis analitzats, els més antics han estat elaborats a Amèrica del Nord, fet que representa un **major grau de maduresa en aquesta regió**. A més, els Estats Units és el país del qual s'ha obtingut un recull més important d'estudis (6). A l'Estat Espanyol s'han realitzat 5 estudis d'indicadors de paisatge, 3 d'ells de **Catalunya**. Cal destacar, especialment, la **manca de consens** existent a l'hora d'establir una nomenclatura comuna d'indicadors, de manera que ha calgut presentar-ne una de pròpia.

A partir del recull, els **6 indicadors** més implantats s'han desenvolupat. Aquests són: **usos del sòl, diversitat paisatgística, fragmentació, connectivitat, riquesa d'espècies i densitat de carreteres**. Els quatre primers corresponen al Grup 1. *Característiques del paisatge*, mentre que els dos darrers s'inclouen dins del Grup 2. *Biòtops* i el Grup 3. *Estressors humans*, respectivament. La presència dels usos del sòl és important, ja sigui com a indicador

(aplicats en el 76% dels estudis) o com a base per al càlcul d'altres indicadors.

Les **SIG** han estat destacables com a eina d'anàlisi en tots els casos, però s'han detectat controvèrsies en l'elecció d'una **base de dades** d'usos del sòl. S'ha escollit CORINE pel seu ús en altres propostes de categories d'impacte ambiental en ACV.

Existeixen relacions entre els diferents indicadors que cal tenir en compte a l'hora d'emprar-los.

Els indicadors es poden aplicar a qualsevol regió del món, sempre i quan s'utilitzin les bases de dades adequades en cada cas.

S'han presentat dues propostes per tal de combinar els 6 indicadors i donar lloc a un índex de paisatge, essent la més adequada l'**índex ponderat de paisatge**.

És una tasca complicada proposar un índex sense un tractament estadístic complet i la confirmació del mètode, a més de totes les complicacions que s'han anat presentant i totes les variables que cal tenir en compte. donada la **inexistència d'una categoria d'impacte ambiental de paisatge**, les línies de recerca futures haurien de començar en aquest estadi, completant un índex de paisatge més concret, analitzant tots els possibles indicadors i finalment presentant una proposta per a l'elaboració d'una possible categoria.

Agraïments

Aquest projecte no hauria estat possible sense l'ajuda i el suport de la MSc Julia Martínez, el Dr. Jordi Oliver i el Dr. Joan

Rieradevall. Gràcies també a l'equip de l'Observatori del Paisatge de Catalunya, a la Dra. Montserrat Núñez, la Dra. Àngela Ribas, així com a la meua família, el suport de la qual ha estat molt important.

Referències

EKVALL, Thomas; FINNVEDEN, Göran (2000): "Allocation in ISO 14041—a critical review", dins *Journal of Cleaner Production*, núm. 9; pàg.197–208

European Environment Agency (EEA). *Environmental Terminology and Discovery Service*. [online] <<http://glossary.eea.europa.eu>> [Accés Novembre 2011]

GALLEGO, Javier; BAMPS, Catharina (2008): "Using CORINE land cover and the point survey LUCAS for area estimation", dins *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, núm. 10; pàg. 467–475

HEUVELMANS, Griet; MUYS, Bart; FEYEN, Jan (2005): "Extending the Life Cycle Methodology to Cover Impacts of Land Use Systems on the Water Balance", dins *Int J LCA* núm. 10 (2), pàg. 113 – 119

"ILCD Handbook. International Reference Life Cycle Data System. General Guide for Life Cycle Assessment – Detailed Guidance" (2010). *First edition*. Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability.

"ISO 14040. Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework" (1997). International Organization for Standardization

KÖLLNER, Thomas (2000): "Species-pool effect potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity", dins *Journal of Cleaner Production*, núm, 8; pàg. 293-311.

Landscape Institute (2002): "Guidelines for Landscape and Visual Impact Assessment",

- Institute of Environmental Management and Assessment (London)
- LI, Harbin; WU, Jianguo (2004): "Use and misuse of landscape indices", dins *Landscape Ecology*, núm.19; pàg. 389–399
- MAES, Wouter H.; HEUVELMANS, Griet; MUYS, Bart (2009): "Assessment of Land Use Impact on Water-Related Ecosystem Services Capturing the Integrated Terrestrial-Aquatic System", dins *Environ. Sci. Technol*, núm. 43; pàg. 7324–7330
- MICHELSEN, Ottar (2008): "Assessment of Land Use Impact on Biodiversity. Proposal of a new methodology exemplified with forestry operations in Norway" dins *Int J LCA*, núm. 13 (1); pàg. 22–31
- MILÀ I CANALS, Llorenç; BAUER, Christian; DEPESTELE, Jochen; DUBREUIL, Alain; FREIERMUTH KNUCHEL, Ruth; GAILLARD, Gérard; MICHELSEN, Ottar; MÜLLER-WENK, Ruedi; RYDGREN, Bernt (2007): "Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA", dins *Int J LCA*, núm. 12 (1); pàg. 5-15
- REAP, John; ROMAN, Felipe; DUNCAN, Scott; BRAS, Bert (2008): "A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: impact assessment and interpretation", dins *Int J Life Cycle Assess*, núm. 13; pàg. 374–388
- SAAD, Rosie; MARGNI, Manuele; KOELLNER, Thomas; WITTSTOCK, Bastian; DESCHÊNES, Louise (2011): "Assessment of land use impacts on soil ecological functions: development of spatially differentiated characterization factors within a Canadian context", dins *Int J Life Cycle Assess*, núm. 16,;pàg. 198–211
- SCHENCK, Rita C. (2001): "Land Use and Biodiversity Indicators for Life Cycle Impact Assessment", dins *Int. J. LCA*, núm. 6 (2); pàg. 114 - 117
- SCHMIDT, Jannick H. (2008): "Development of LCIA characterisation factors for land use impacts on biodiversity", dins *Journal of Cleaner Production*, núm. 16; pàg. 1929-1942
- The European Landscape Convention (Florence, 2000). Council of Europe. [online] <http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/Landscape/presentation_en.asp> [Accés Novembre 2011]*

