

## **Proposta metodològica per a l'anàlisi de la sostenibilitat urbana, utilitzant indicadors i índexs, implementats i analitzats amb un sistema de suport a la decisió**

Dra. Bàrbara Sureda Carbonell\* i Dr. José Juan de Felipe Blanch

Professors de la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat.

C/ Colom, 1. 08222. Terrassa. Espanya

Universitat Politècnica de Catalunya.

email: barbara.sureda@upc.edu

email: felipe@mmt.upc.edu

### **Resum**

Les ciutats d'avui en dia es caracteritzen per un progressiu creixement de la població dins un territori físic limitat. Aquest creixement comporta problemes diversos, com ara la falta d'autocontenció de la ciutat; la segregació espacial de segments de població i heterogenis i el col·lapse de les infraestructures de transport, entre molts altres aspectes que podríem destacar.

El present treball pretén facilitar l'anàlisi de la sostenibilitat d'un sistema, en concret d'un sistema urbà, proposant una metodologia general d'anàlisi de la sostenibilitat de sistemes urbans.

Amb el suport d'un marc conceptual (concepte de desenvolupament sostenible, consideració del sistema com a sistema complex i incertesa que caracteritza els sistemes), la metodologia proposada conforma un procés que integra un conjunt d'eines (models, correlacions entre variables, indicadors, índexs i escenaris de futur) que possibiliten analitzar un sistema urbà, amb la finalitat de poder definir estratègies o polítiques per aconseguir un desenvolupament sostenible del sistema objecte d'estudi.

Paraules clau: Sostenibilitat urbana, mesura, modelització, escenaris de futur.

\* \* \*

**Título:** Propuesta metodológica para el análisis de la sostenibilidad urbana, utilizando indicadores e índices, implementados y analizados con un sistema de soporte a la decisión.

**Resumen:** Las ciudades de hoy en día se caracterizan por un crecimiento progresivo de la población dentro de un territorio físico limitado. Este crecimiento conlleva problemas diversos, como la falta de autocontención de la ciudad, la segregación espacial de segmentos de la población heterogéneos y el colapso de las infraestructuras de transporte, entre otros muchos aspectos que podríamos destacar.

El presente trabajo pretende facilitar el análisis de la sostenibilidad de un sistema, concretamente de un sistema urbano, proponiendo una metodología general de análisis de la sostenibilidad de sistemas urbanos.

Con el soporte de un marco conceptual (concepto de desarrollo sostenible, consideración del sistema como sistema complejo e incertidumbre que caracteriza a los sistemas), la metodología propuesta conforma un proceso que integra un conjunto de herramientas (modelos, correlaciones entre variables, indicadores, índices y escenarios de futuro) que posibilitan el análisis de un sistema urbano, con la finalidad de definir estrategias o políticas para conseguir un desarrollo sostenible del sistema objeto de estudio.

**Descriptor:** Sostenibilidad urbana, medida, modelización, escenarios de futuro.

\* \* \*

**Title:** Methodological proposal for analysing urban sustainability through the use of indicators and indices, which are implemented and analysed using a decision support tool.

**Abstract:** Modern cities are characterised by progressive population growth in limited physical spaces. This growth raises many problems, including lack of self-containment of cities, spatial segregation of heterogeneous population sectors and the collapse of transport infrastructures.

The aim of this paper is to facilitate the analysis of a system's sustainability. It examines a particular urban system and puts forward a methodology for analysing the sustainability of urban systems.

The methodology proposed is based on a conceptual framework (sustainable development concept, urban systems considered as being inherently complex, and with high level of uncertainty) and a review of existing tools for measuring and modelling sustainability. The result is a process based on a set of tools (models, correlations between variables, indicators, indices and future scenarios) that can be used to analyse urban systems characterised by specific problems and to define strategies and policies for achieving sustainable development in these systems.

**Keywords:** Urban sustainability, measuring, modelling, future scenarios.

## 1 Introducció

El concepte *desenvolupament sostenible* és un concepte dinàmic que ha anat transformant-se. Històricament, el concepte *desenvolupament*, vist des del punt de vista de la sostenibilitat, ha evolucionat des d'una perspectiva purament econòmica (Schumpeter, 1911), fins a una perspectiva econòmica, mediambiental, política, social i cultural (Selman, 2000), i des d'una visió a curt i mitjà termini, intrageneracional, fins a una visió a llarg termini, intergeneracional (Brundtland, 1992). El pas d'una perspectiva a una altra és influenciat per una preocupació important que té la humanitat, el deteriorament dels sistemes mediambientals (Herce, 1992).

La necessitat de reflexionar sobre el concepte *desenvolupament sostenible*, segons W. C. Clark i R. E. Munn (1986), es pot associar amb la demanda que hi ha cada cop més urgent de trobar punts de confluència i harmonització entre els plantejaments que provenen d'àrees d'acció i conservació, o bé d'àrees del coneixement com l'ecologia i l'economia, reflexió interessant ja que reflecteix la necessitat d'una visió multitransdisciplinària del concepte de *desenvolupament sostenible*.

L'ésser humà, des del punt de vista de l'ecologia humana, ha superat, a diferència d'altres espècies, el nivell de subsistència, caracteritzat per la lluita per la supervivència, per assolir un determinat nivell de benestar, és a dir, per adquirir una millora de la seva qualitat de vida (Castro, 2002). Per això ha anat modificant el seu entorn sense gaires consideracions, fins a arribar moltes vegades a fer malbé recursos naturals, ja que aquests són fàcils d'aconseguir, sense pensar en les conseqüències futures que tindran aquestes accions sobre el seu entorn, el medi ambient (Munford, 1994).

Les ciutats han nascut com a resultat del procés de satisfacció de necessitats humanes, juntament amb la necessitat de control sobre el medi, la lluita de poder i la recerca del coneixement de l'home. Aquest procés té principalment connotacions demogràfiques i urbanístiques (Castro, 2002), però suposa una transformació ecològica important de l'entorn (Wackernagel i Rees, 1996).

Parlar de *sostenibilitat urbana* és força complicat, ja que per si mateixes les ciutats són el clar exemple d'insostenibilitat, a causa del fort impacte que exerceixen sobre el medi ambient (Alberdi i Susskind, 1996).

Aquest impacte és degut sobretot al creixement que han experimentat les ciutats, sobretot des de la revolució industrial, les quals l'any 2006 han arribat a concentrar gairebé la meitat de la població mundial, i les previsions de futur estimen que el creixement encara serà més important, i l'any 2030 arribaran a concentrar aproximadament el 62 % de la població mundial (UNCHS, 2006).

Les ciutats, com a complexos sistemes urbans, contribueixen a la generació de greus desequilibris en l'àmbit nacional i global, ja que constitueixen grans centres de consum de

recursos i de generació de residus, cosa que comporta que excedeixin la seva capacitat de càrrega (Carrasco, 2001). El seu creixement socioeconòmic ha esdevingut insostenible i causa danys irreversibles als sistemes que donen suport a la vida a la Terra (Huang et al., 1998). És molt difícil conciliar el desenvolupament socioeconòmic de les ciutats amb la capacitat de càrrega dels ecosistemes que les suporten, ja que són processos que entren en conflicte (Zhang et al., 2006). De fet, alguns autors pensen que les ciutats són «solament paràsits de la biosfera» (Odum, 1971). I l'única manera de resoldre els problemes mediambientals que ocasionen és veure les ciutats com a ecosistemes urbans complexos (Tjallingii, 1995) i identificar les interrelacions que hi ha entre els components de l'ecosistema (Zhang et al., 2006). Naredo assenyala el procés urbanitzador intensiu com el màxim exponent de la intervenció o domesticació del medi per part de l'home (Naredo, 1996).

L'ecosistema urbà no és un sistema independent i tancat (Rueda, 1996). La seva dependència, ja sigui econòmica, social o ecològica, s'estén fora dels seus límits, motiu pel qual les ciutats són considerades *sistemes heteròtrofs incomplets* (Odum, 1971), per la dependència que tenen de l'exterior de tots aquells *inputs* necessaris per a la seva existència, ja que no solen tenir producció primària, i si en tenen, és escassa. Per això podem considerar els ecosistemes urbans com a sistemes complexos, formats per components naturals, socials i econòmics (Diputació de Barcelona, 2000), que necessàriament necessiten un enfocament sistèmic a causa de la seva pròpia complexitat (AEMA, 1996) i incertesa.

## 2 Proposta metodològica

La proposta que farem intenta sintetitzar i organitzar la informació que hi ha al voltant del tema de la mesura, modelització i avaluació de la sostenibilitat en un procediment que ens permeti diagnosticar quin és l'estat del sistema urbà objecte d'estudi i avaluar quines seran les implicacions i conseqüències, a curt, mitjà o llarg termini, que tindran en el sistema urbà les polítiques o decisions que prenguem en un moment concret. Això facilitarà la presa de decisions en l'àmbit polític.

La metodologia proposada (Sureda, 2007), pretén ser una eina que ajudi a la planificació del desenvolupament sostenible de ciutats, identificant la problemàtica principal que plantegin, facilitant-ne l'anàlisi i estudiant les seves possibles evolucions futures, en funció de les polítiques adoptades.

Les fases de què consta la proposta metodològica les podem veure esquematitzades a la figura 1.

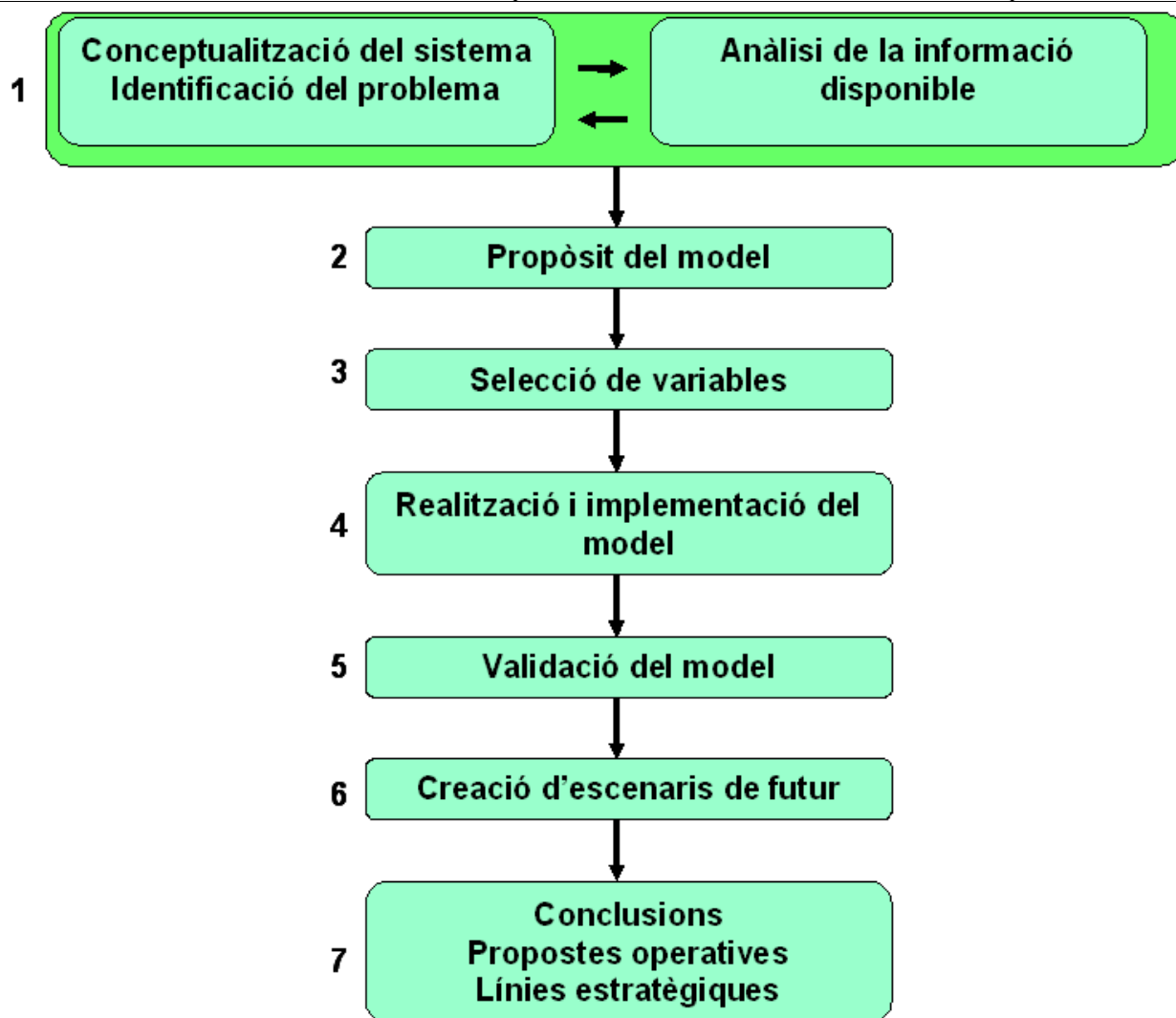


Figura 1. Fases de la proposta metodològica

Comentem tot seguit cada una de les fases de què consta la proposta metodològica.

## 2.1 Conceptualització del sistema. Identificació del problema. Anàlisi de la informació disponible

Aquesta primera fase constitueix un bucle retroalimentatiu, que té com a objectiu la identificació de la problemàtica que caracteritza el sistema que es vol estudiar.

El pas previ que s'ha de fer, quan volem identificar una problemàtica, és conceptualitzar el sistema amb què treballarem, lo qual consisteix a obtenir una visió del sistema per identificar-ne els elements bàsics i les relacions d'aquests entre si i amb el seu entorn. Ajuda a conceptualitzar el sistema l'anàlisi funcional i de condicions del mateix.

La conceptualització del sistema, en aquest cas del municipi objecte d'estudi, es porta a terme

mitjançant la combinació de treball de camp (Palerm, 1997), i de la consulta de documentació específica (estudis, informes, diagnòstics, etc.), sempre que aquests últims estiguin disponibles.

El treball de camp es pot portar a terme de maneres diferents, les quals no són excloent les unes de les altres. Una primera forma és mitjançant la realització d'entrevistes amb els responsables dels diferents departaments que conformen l'organització municipal, responsables de serveis estadístics, d'observatoris socials, econòmics, empresarials, etc., en definitiva, entrevistant els diferents responsables del govern local i de les diverses xarxes locals; la visió conjunta dels quals ens pugui donar la conceptualització del sistema i del problema o problemes que tingui el municipi. Una segona manera consisteix a consultar la documentació específica existent del municipi que es vol estudiar (estudis, informes, diagnòstics, anuaris, etc.). I en tercer i últim lloc, realitzant entrevistes o enquestes concretes a la població.

Sembla molt lògic definir el problema que volem estudiar *a priori*, i moltes vegades és un punt que ja entenem com a pressuposat dins la metodologia d'anàlisi de la problemàtica, però no és tan obvi, ja que a vegades la identificació d'aquesta dins un sistema complex queda amagada pels impactes o les conseqüències que aquest problema ocasiona (Vennix i Jac, 1996).

El primer aspecte que s'ha de considerar quan fem l'anàlisi és determinar clarament quin és l'impacte o impactes que ens interessa analitzar de la ciutat que volem estudiar. És important, un cop els hàgim determinat, establir l'ordre d'importància d'aquests impactes, ja que de vegades els podrem analitzar tots i de vegades, ja sigui per falta de temps, ja sigui per falta de dades o bé per algun altre motiu, n'haurem de deixar de banda algun. Aquest punt ens dona una idea de l'abast de l'anàlisi que començarem i determinarà, més endavant, les dades que haurem d'aconseguir.

Un cop determinats els impactes, hem de veure quina és la problemàtica que els ocasiona, i això moltes vegades no és fàcil. Per exemple, si ens interessa estudiar el creixement de la població, podem tenir diversos factors que contribueixin a aquest creixement: potser és degut a l'elevada natalitat, o bé a la baixa mortalitat que hi ha, o bé a l'alta immigració. Aquest és un dels passos més importants per aclarir de la metodologia proposada (De Jouvenel, 2000). Per facilitar la identificació del problema es poden utilitzar tècniques estadístiques d'anàlisi multivariant o bé tècniques d'anàlisi discriminant de variables (Cea, 2002; Sánchez, 1999).

Una vegada definit el problema, s'ha de contrastar amb les bases de dades existents per poder validar-lo.

Una primera font d'informació en l'àmbit municipal de les ciutats la constitueix el govern local de la ciutat, o bé els departaments o organismes locals vinculats o dependents del mateix govern local, que s'encarreguen de recopilar la informació del municipi —normalment són els serveis estadístics. Una segona font de dades la constitueixen els instituts d'estadística, ja sigui d'àmbit regional o bé d'àmbit estatal. Una tercera font de dades municipal, no gens negligible, la conformen els informes generats, generalment en l'àmbit regional, per instituts o empreses vinculades a un territori determinat.

Un cop vistes les possibles fonts d'informació, s'ha de fer una síntesi i una anàlisi prèvia de tota la informació que hi ha disponible del municipi objecte d'estudi, que ens permeti determinar l'abast de desagregació de la informació. Aquesta informació normalment es troba classificada per temes (població, economia, consum, salut, ensenyament, urbanització, transports, mobilitat, etc.).

És molt important que l'anàlisi de les bases de dades es faci de manera acurada, ja que ens condicionarà posteriorment el tipus de model que s'haurà de realitzar per estudiar la problemàtica. La manca de dades pot limitar o acotar el model i els submodels que calgui realitzar.

A la figura 2 podem veure de manera esquemàtica l'execució de la primera fase de la proposta metodològica, la qual porta a la segona fase, la definició del propòsit del model.

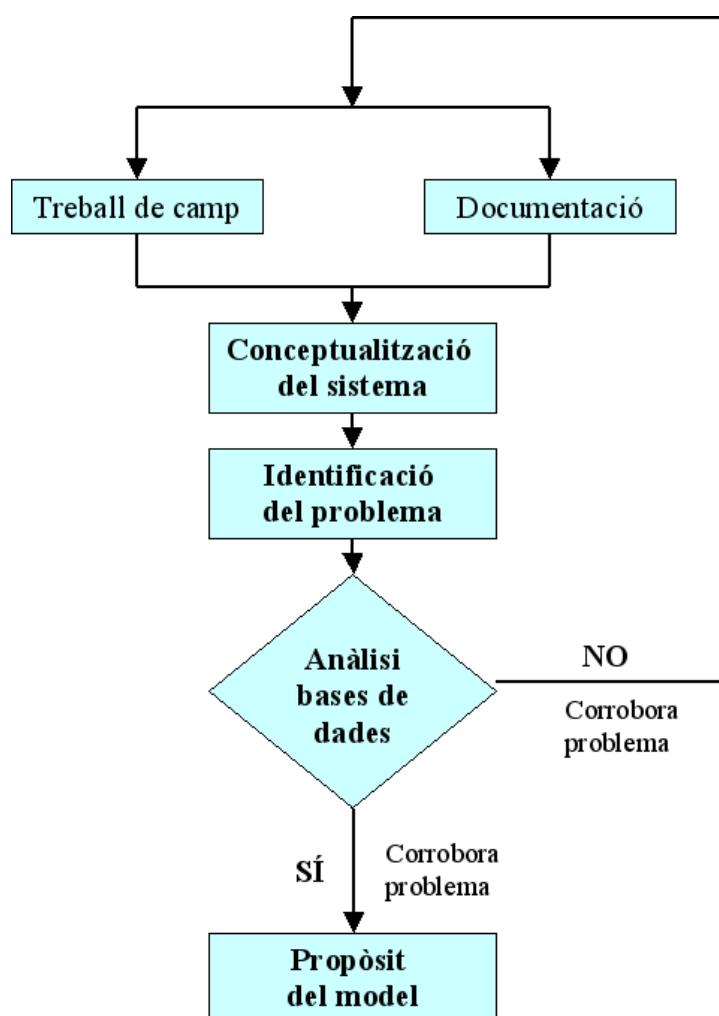


Figura 2. Diagrama d'execució de la primera fase de la proposta metodològica

## 2.2 Propòsit del model

Un cop identificat el problema, si la consulta de les bases de dades disponibles corrobora la problemàtica identificada, ja podem definir clarament quins són els objectius que ha de complir el model. En definitiva, podem definir clarament quin és el propòsit o propòsits (si és que n'hi ha més d'un) que persegueix el model. En cas que hi ha hagi més d'un propòsit, és molt útil prioritzar-los, ja que a vegades el model no els podrà cobrir tots (Martín, 2004).

El model que es realitzarà estarà limitat per les dades disponibles i pel seu grau d'agregació, cosa que també ens pot condicionar el propòsit del model. Es pot donar el cas que no puguem modelitzar un fenomen per manca de dades.

## 2.3. Selecció de variables

Un cop definit el propòsit del model, se seleccionen les variables del model de manera organitzada. És convenient escollir un marc conceptual per facilitar l'organització de la informació (Olewiler, 2004).

Podem utilitzar diferents marcs conceptuals per estructurar la informació, entre els quals podem destacar el marc PER: pressió-estat-resposta (OECD, 1993; BM 1996); el marc FER: forces motrius-estat-resposta (Mortensen, 1997); el marc PEIR: pressió-estat-impacte-resposta (Hardi i Zdam, 1997); el marc FPEIR: forces motrius-pressions-estat-impacte-resposta (EEA 1999) i el marc sistèmic proposat dins el projecte ESALC, Evaluació de la sostenibilitat a Amèrica Llatina i Carib (Gallopín, 2006). Altres marcs a considerar són els següents, el marc conceptual proposat pel Grup Balaton (Meadows, 1998), el marc generat per Bossel (Bossel, 1999) i el marc suís del Model Monet (SFSO, SAEFL i ARE, 2004).

A nivell europeu un dels marcs més utilitzats és el marc consensuat internacionalment FPEIR: forces motrius-pressions-estat-impacte-resposta (EEA, 1999; Haase i Nuissl, 2006). Aquest marc considera que determinades tendències (forces motrius) són responsables de les pressions, que a la vegada alteren l'estat del sistema. La societat intervé per intentar modificar l'estat derivat de l'efecte d'aquestes pressions, adoptant mesures que puguin actuar sobre l'estat del sistema (estat) o sobre les seves causes directes (pressions) o indirectes (forces motrius) (EUROSTAT, 2000). Aquestes mesures poden ser, en qualsevol d'aquests àmbits, de tipus corrector, mitigador o compensatori, i retroalimenten cada un dels altres tipus d'indicadors (Olewiler, 2004).

Agafant un marc de referència, se seleccionen les variables del model. És important considerar que el model que es realitzi valori de manera integrada les diferents dimensions del concepte de *sostenibilitat*. S'han d'identificar les forces motrius del desenvolupament urbà. Aquestes forces motrius, quan parlem d'una ciutat, en general són dues: la població i l'economia (Xiao et al., 2006), i com a element comú a aquestes forces i element específic urbà, l'ús del sòl (Grübler, 1994). Per tant, les variables seleccionades hauran de preveure com a mínim aquests elements, que són els que determinen el desenvolupament urbà i, per tant, el desenvolupament del sistema. Si aquestes variables motrius no engloben el problema que hem identificat i que volem estudiar,



hem d'incloure la força motriu apropiada per estudiar-lo.

A més de les forces motrius, cal tenir en compte les variables exògenes del sistema, les quals tenen un gran pes dins el desenvolupament urbà actual, en un món cada vegada més globalitzat i interrelacionat. Són aquelles variables d'entorn o exteriors al sistema que, encara que no siguin específiques del sistema que es vol estudiar, influeixen sobre les variables del mateix sistema i poden alterar-lo significativament (Krutilla i Reuveny, 2006). Alguns exemples de variables exògenes serien les diferències de preus del sòl de la ciutat que es vol estudiar respecte del d'altres ciutats de l'entorn, o bé l'oferta de llocs de treball del municipi respecte de l'oferta de municipis de l'entorn, etc. Hem d'escollir aquelles variables exògenes de les quals tinguem dades, cosa que no sempre resulta senzilla.

A més de les forces motrius i les variables exògenes, hem de tenir en compte un altre tipus de variables: les variables que ens permetin mesurar les pressions i l'estat del sistema considerat. Les pressions són les variables que afecten l'estat del sistema, per exemple: fertilitat, immigració, emissions antropogèniques, consum de recursos, generació de residus, parc de vehicles, etc. L'estat és la situació del sistema durant un període temporal concret, per exemple, la superfície verda del municipi, els residents que treballen fora del municipi, el nombre d'immigrants, el nivell cultural de la població, etc.

Els elements o variables principals de les dimensions d'estudi per si mateixos posseeixen elements intrínsecs i dinàmiques pròpies de comportament. Per això cal anar més enllà i seleccionar més variables que descriguin el comportament de cadascuna de les forces motrius, variables exògenes i variables d'estat i pressió. Aquestes variables les anomenem *variables relacionades*. Per exemple, en el cas de la força motriu població, tenim com a variables dependents la natalitat, la mortalitat, la immigració i l'emigració, entre altres.

Sigui quin sigui el marc escollit, es convenient fer la fase de selecció de variables de forma molt acurada, ja que ens condicionarà el model que anem a desenvolupar.

## **2.4 Realització i implementació del model**

El procés de realització i implementació del model és un procés interrelacionat, tal com es pot veure a la figura 3.

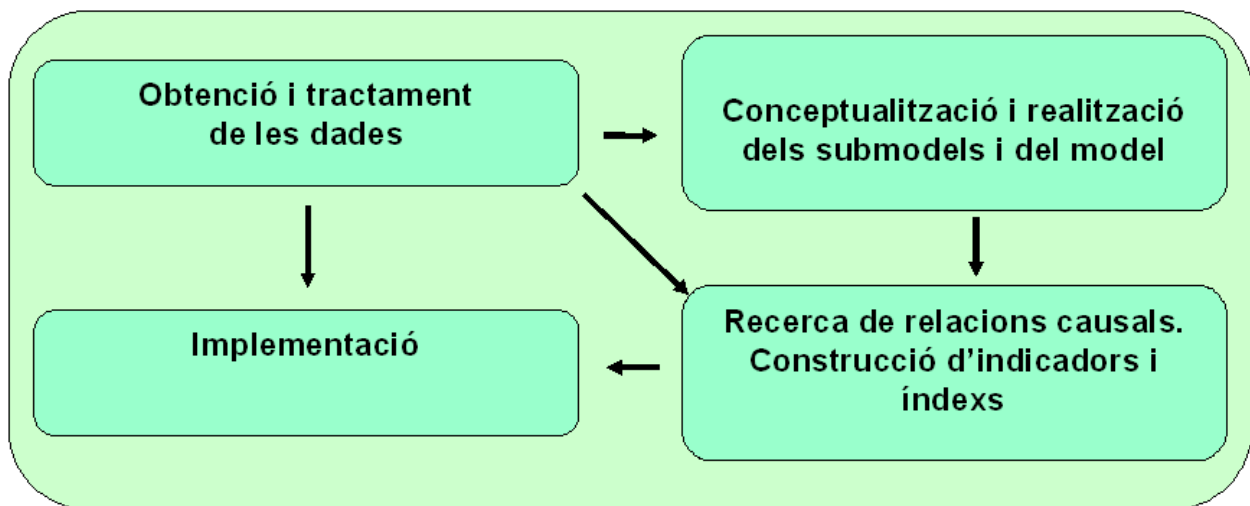


Figura 3. Diagrama d'execució de la fase de realització i implementació del model

Primerament s'obtenen i es tracten les dades necessàries per a la realització del model. S'ha de recopilar tota la informació necessària de les bases de dades disponibles, pel que fa a l'historial de valors de les variables seleccionades del sistema, segons la selecció de variables realitzada a la fase tercera de la proposta metodològica. I si cal, es poden fer treballs de camp per obtenir les dades necessàries.

A l'hora de recopilar dades ens podem trobar diversos problemes. Un dels problemes habituals en l'àmbit local és la manca de dades d'algun tema específic —generalment la dimensió econòmica sol ser la més escassa. Un altre problema habitual és la falta d'homogeneïtzació de les dades. I un tercer problema existent és la falta de desagregació que tenen les bases de dades municipals, excepte en algunes dimensions concretes, com és el cas, per exemple, de la dimensió població, la qual generalment disposa de les dades desitjades amb el nivell de desagregació requerit (població per anys, per cohorts, etc.).

Un cop recopilades les dades que necessitem, hem de fer-ne el tractament (Narvaiza, 1998), donant coherència a les sèries de dades recopilades, revisant les sèries històriques i solucionant els problemes derivats que hi pugui haver, tant per possibles canvis de procediment o metodologia a l'hora de presentar les dades, com de la imposició de nous models de recollida de dades, cosa que pot dificultar la comparació entre l'historial de dades. En alguns casos és necessari reconstruir les sèries històriques (Peña i Romo, 1997).

Un cop tenim les dades, estructurarem el model del sistema en funció del propòsit definit.

Un model és una estructura conceptual que utilitza l'ésser humà per donar sentit de manera simplificada a un conjunt de dades que ens arriben de manera no ordenada (Gell-Mann, 1995). Per tant, el concepte *model* ha de ser entès com una representació, necessàriament simplificada, d'un fenomen o procés i, en general, d'un sistema, en aquest cas, d'un sistema urbà.

Un sistema pot tenir diferents nivells de resolució o d'escala, segons el grau de detall amb què s'intenti analitzar. A cada grau de resolució o d'escala li correspondrà un model amb un grau de

desagregació diferent i amb diferents submodels. De fet, un sistema es pot definir com un conjunt d'unitats interrelacionades (Bertalanffy, 1968).

El marc de treball escollit per seleccionar les variables es pot utilitzar per estructurar conceptualment el model i els diferents submodels que l'integren.

Primerament es desenvolupen els submodels que calculen les variables principals, segons el marc conceptual escollit. La conceptualització i creació d'aquests submodels es realitzen seguint les diferents disciplines que intervenen en la problemàtica, intentant utilitzar submodels ja contrastats, sempre que sigui possible.

Per implementar les dades dins el model recorrem a la recerca de relacions causals entre les variables d'un mateix submodel, o de diferents submodels, i a la construcció d'indicadors i/o índexs entre variables de diferents submodels. La recerca de relacions causals entre variables del sistema és un punt molt important, a la vegada que laboriós. Mitjançant aquest procés identifiquem correlacions matemàtiques entre el comportament de dues o més variables del sistema a partir de l'estudi de les sèries històriques d'aquestes variables.

La recerca de relacions causals ens permet, per un costat la interrelació entre variables d'un mateix submodel o de diferents submodels, i per altre banda, la construcció d'indicadors i índexs per estudiar i monitoritzar determinats fenòmens del sistema objecte d'estudi.

La investigació i el coneixement del comportament del sistema, tant en l'àmbit social com ambiental i econòmic, així com l'estudi de les variables que intervenen en una determinada problemàtica, faciliten la recerca i la identificació de correlacions matemàtiques entre les variables del sistema objecte d'estudi.

Quan tenim relacions entre dues variables de submodels diferents, podem procedir a la construcció d'indicadors, si ens interessa monitoritzar-los en un futur. La construcció d'indicadors representatius d'una determinada problemàtica és un procés senzill, ja que està força referenciat i estudiat (Gallopín, 1997; OECD, 1993; Hardi i Zdan, 1997; Hammond et al., 1995; entre altres autors).

Si tenim relacions entre més de dues variables, s'ha de recórrer a la construcció d'índexs. La construcció d'índexs és un procés més complicat, a diferència de la construcció d'indicadors. En general, és fàcil identificar els components que intervenen en la formació de l'índex, és a dir, els indicadors de què depèn una determinada problemàtica. En cas de que la identificació de variables que formen l'indicador presenti problemes, es recorre a la utilització de tècniques d'anàlisi de components principals (Pearson, 1901). Un cop identificats els indicadors, s'han de normalitzar. El pas que resulta més complex dins la formació dels índexs és ajustar els ponderadors adequats, per a cada un dels indicadors, a fi de comprovar la relació causal entre l'índex creat per estudiar una variable concreta i la sèrie històrica de dades disponibles de la variable (CDS, 2001).

El procés de recerca de relacions causals entre les variables dels diferents submodels i de

construcció d'indicadors i/o índexs s'utilitza també per enllaçar els diferents submodels entre si, a fi de dinamitzar el model. En general, els indicadors i/o índexs construïts s'utilitzen com a variables motores o dinàmiques del model. Aquest és un bucle iteratiu d'aproximacions successives i, per tant, s'ha de repetir fins que la implementació conjunta dels diferents submodels doni valors contrastats amb els valors històrics.

A la figura 4 es pot veure de manera esquemàtica el procés de recerca de correlacions i de creació d'indicadors i índexs.

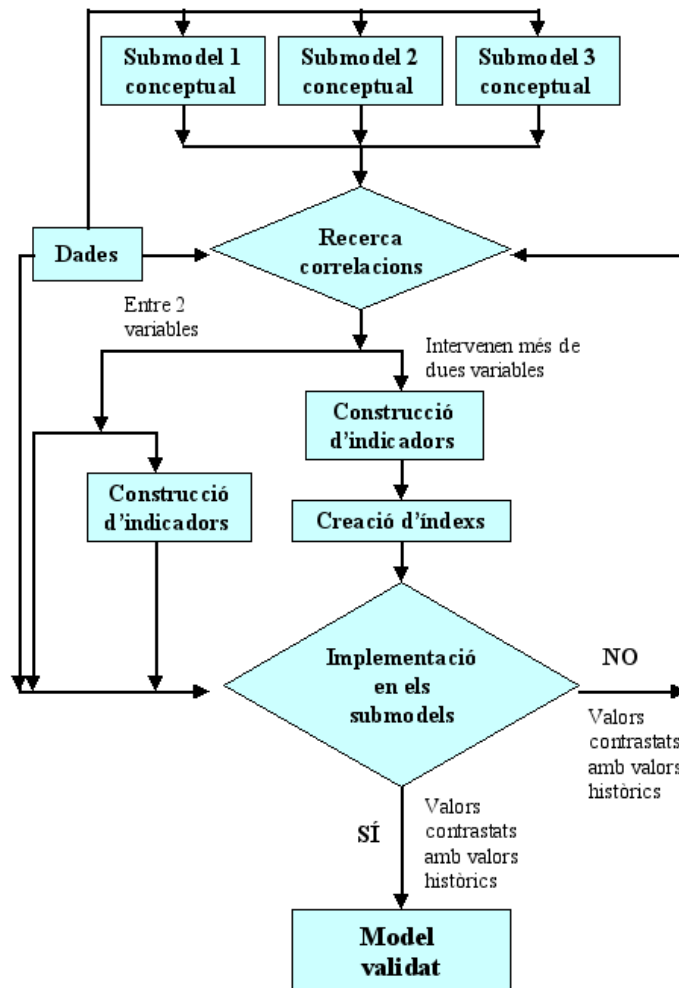


Figura 4. Recerca de correlacions i creació d'indicadors i/o índexs, i fase de validació del model

La implementació del model es realitza amb el software específic que es vulgui utilitzar segons la metodologia de representació del sistema que es faci servir, és a dir, segons el tipus de modelització que escollim. Cal comentar que aquesta fase està especificada per ser implementada en dinàmica de sistemes. Si la representació del sistema escollida és implementada en models econòmics i/o xarxes complexes, pot variar considerablement.

## 2.5 Validació del model

Un cop realitzat i implementat el model, és imprescindible validar-lo a fi de comprovar que l'anàlisi que es farà del sistema sigui correcta.

Per fer la validació del model s'ha de comprovar que respongui al comportament històric del sistema durant el període contemplat, comparant les dades obtingudes durant la implementació amb les dades històriques reals (Martín, 2004).

Així mateix, s'ha de comprovar que el model sigui consistent i complet i respongui sensiblement a les variacions de les variables d'entrada considerades.

## 2.6 Creació d'escenaris de futur

El futur dels éssers humans no està definit i no es pot deduir de manera senzilla mitjançant equacions matemàtiques. Tampoc no està subjecte a l'atzar, ja que el passat i el present el condicionen. La investigació sobre el futur implica anticipar-se als fets a fi de poder-hi reaccionar. La prospectiva és la disciplina que s'encarrega dels estudis de futur, en base a l'anàlisi de les causes científiques, tècniques, econòmiques, polítiques, socials i culturals que provoquen l'evolució del món i la previsió de les situacions que sorgeixen de les seves interaccions. Fer prospectiva és interrogar-se sobre els grans problemes i desafiaments de la societat i explorar els possibles futurs. La prospectiva proveeix metodologies i eines per a l'estudi i exploració dels possibles futurs. Una d'aquestes metodologies és la construcció d'escenaris de futur.

Kahn va introduir el terme *escenari* dins la planificació. Va desenvolupar els escenaris gràcies a estudis militars i estratègics realitzats a la dècada de 1950, treballant per a la Rand Corporation. El terme *escenari* el van popularitzar Kahn i Weiner a la dècada de 1960, a causa dels escenaris realitzats com a conseqüència de la guerra freda, amb la finalitat de desenvolupar l'estudi de les possibilitats futures d'ordre mundial (Kahn i Weiner, 1967).

Els escenaris de futur proveeixen una eina per a la planificació creativa del futur i tenen la capacitat de preparar-nos per el canvi i la incertesa, ja que intenten anticipar els futurs possibles dins la complexitat que caracteritza l'actual sistema en què estem immersos com a humanitat.

En general, els escenaris els utilitzen els decisors per comunicar plans de futur i preveure possibles canvis que es produiran. Els escenaris faciliten l'adaptació a aquests canvis, ja que fan tasques d'anticipació. Són essencials per a la gestió, ja que permeten prendre decisions en el present preveient els possibles canvis que tindran lloc en el futur.

Els escenaris no són exclusivament projeccions de la situació passada i actual en el futur, sinó que proveeixen diferents vies o camins per ajudar a veure les implicacions que tenen les polítiques o decisions actuals en el futur per facilitar l'adaptació als canvis (McLain i Lee, 1996). Els escenaris són descripcions narratives del futur en les quals el focus principal se centra especialment en els processos causals i els punts per a la presa de decisions (Kahn i Weiner,

1967). Segons Godet, un escenari és un conjunt format per la descripció d'una situació futura i la progressió dels esdeveniments que permetin passar de la situació d'origen a la situació de futur (Godet, 1985).

Un escenari no és una predicció d'un pronòstic específic per si mateix; preferentment és una descripció del que pot passar. Els escenaris descriuen fets i tendències i com poden evolucionar. Els escenaris de futur són una manera de desenvolupar futurs alternatius basats en diferents combinacions de supòsits, fets i tendències.

El sistema urbà constitueix un sistema complex. Els escenaris de futur són eines útils quan la complexitat i la incertesa del sistema són elevades (De Felipe, 2004; Xercavins, 2000), ja que estimulen noves formes de pensament per facilitar l'adaptació a aquest futur incert (Lee, 1993).

Per a la construcció d'escenaris de futur és necessari fer una sèrie de passes (Schwartz, 1996). En primer lloc, cal tenir en compte l'estructura actual del sistema complex, fer un diagnòstic del present a partir d'elements del passat que hi han influït, identificant les *driving forces*, és a dir, les forces motrius de la problemàtica i les seves tendències de les zones geogràfiques de l'estudi (Bossel, 1999). Aquestes forces motrius normalment es poden classificar en quatre categories:

- Dinàmica social: inclou tendències demogràfiques, estils de vida, valors, creences religioses...
- Dinàmica econòmica: aquí podem diferenciar les tendències macroeconòmiques i les tendències microeconòmiques.
- Dinàmica política: regulacions i legislacions.
- Dinàmica tecnològica: inclou les possibilitats tecnològiques.

Com més forces motrius identificades, més gran serà la complexitat per a la construcció dels escenaris de futur.

El primer que hem de fer a l'hora de crear els escenaris de futur del model és plantejar l'horitzó de temps que es pretén cobrir. Un bon horitzó és aquell que té en compte la inèrcia del sistema i permet trencar-la i preveure les conseqüències més enllà d'aquesta inèrcia. L'horitzó de temps que ens plantejem estarà molt condicionat per l'historial de dades que tinguem. A més de l'horitzó, cal determinar l'any base a partir del qual es desenvoluparà l'escenari.

En l'anàlisi d'un sistema mitjançant escenaris de futur podem diferenciar dos tipus d'escenaris:

- Escenari de futur de referència.
- Escenaris de futur alternatius.

L'escenari de futur de referència és l'escenari de projecció de tendències. És aquell escenari que descriu l'evolució en el futur de les forces motrius més importants del sistema, partint de les condicions presents de les variables que dinamitzen les forces motrius i de les seves tendències

històriques. El que es fa és la projecció de les tendències històriques de les variables seleccionades en el futur. És l'extrapolació de variables. Involucra primer un component retrospectiu, per després projectar.

Els escenaris de futur alternatius són aquells escenaris obtinguts aplicant diferents hipòtesis a les variables seleccionades, ja siguin hipòtesis possibles i/o desitjables. Els escenaris alternatius són un conjunt coherent d'hipòtesis respecte de com evolucionarà una problemàtica, segons com es comportin i articulin els diferents factors que hi intervenen, els mecanismes d'evolució del problema i les estratègies dels diferents actors (Licha, 2000).

A l'hora de seleccionar els escenaris alternatius, s'han de considerar les hipòtesis preses. Respecte a l'anàlisi de les diferents alternatives de decisió, hipòtesis assumides, potser només es creuran amb un o dos escenaris dels realitzats, però, si tenim decisions que es creuen amb la majoria d'escenaris, llavors estem segurs de considerar les millors hipòtesis (Fabey i Randall, 1998).

El conjunt d'escenaris ens permet analitzar i extreure conclusions del funcionament del sistema.

## **2.7 Conclusions. Propostes operatives i línies estratègiques**

Un cop desenvolupats els escenaris de futur, arriba una de les parts més importants de la metodologia: extreure les conclusions del comportament del sistema urbà.

Les conclusions extretes ens permetran identificar els factors clau que condicionen el comportament del sistema. Aquests factors clau són els que podrien condicionar el futur de la problemàtica estudiada, a curt, mitjà o llarg termini. Aquesta identificació facilita la proposta de polítiques i estratègies concretes, la selecció d'indicadors i d'índexs per fer el seguiment d'aquestes polítiques aplicades, així com la posterior avaluació de l'estat del sistema, a fi d'aconseguir uns determinats objectius a favor de la sostenibilitat.

## **3 Conclusions**

La metodologia que proposem pretén sistematitzar i ordenar eines i metodologies que ens permetin estudiar i analitzar la problemàtica d'un sistema urbà, per dissenyar un procés que faciliti l'anàlisi de la seva sostenibilitat.

La proposta metodològica que presentem està formada per una sèrie d'etapes, algunes ja contrastades i reconegudes internacionalment (De Jouvenel, 2000; EEA, 1999; Haase i Nuissl, 2006; Xiao et al., 2006; Grübler, 1994; Bertalanffy, 1968; Hammond et al., 1995; CDS, 2001; Aracil, 1986; McLain i Lee, 1996; Schwartz, 1996), però utilitzades, en general, de manera independent. Unes altres són d'aportació pròpia, com és el cas de la recerca de relacions causals per a la validació del model realitzat, així com la construcció d'índexs per enllaçar els diferents submodels.

El que pretén la proposta és configurar un procés que ens permeti analitzar, mitjançant un conjunt d'eines (model, recerca de relacions causals entre variables, indicadors, índexs i escenaris de futur), un sistema complex, conformat per un sistema urbà caracteritzat per una problemàtica concreta, amb la finalitat de poder definir estratègies o polítiques per aconseguir un desenvolupament sostenible de la ciutat objecte d'estudi.

Si bé alguns autors han treballat dins el camp d'identificació de les possibles etapes de modelització d'un sistema complex per facilitar la presa de decisions de problemes complexos (Gu i Tang, 2005; Makowski, 2005), la metodologia proposada és innovadora, pel fet que conforma un conjunt de passos ordenats, necessaris per a un anàlisi sistèmica de l'estat i els processos que es desenvolupen en una ciutat, i a la vegada és una metodologia suficientment pragmàtica, ja que permet utilitzar tot un conjunt d'eines desenvolupades dins el camp de la mesura i modelització de la sostenibilitat durant els últims anys, sense que siguin excloents les unes de les altres.

Una aportació original de la metodologia és la creació d'indicadors i índexs concrets la qual ens permet interrelacionar els submodels que s'han realitzat per representar les diferents dimensions dins el model conjunt desenvolupat. En general, els submodels d'una dimensió estan molt ben estudiats, la dificultat es troba en les seves interrelacions. Els indicadors i índexs creats ens permeten, a més, l'estudi de fenòmens concrets del sistema i la seva monitorització.

La metodologia proposada és útil, ja que ens permet preveure les conseqüències que tindran en el futur les accions i polítiques que es prenguin sobre les variables considerades del sistema en un moment donat. Els escenaris de futur permeten analitzar les variables més rellevants del sistema per estudiar una problemàtica determinada, a la vegada que ens permeten veure la influència sobre les altres variables i sobre el conjunt del sistema.

La metodologia, a més, ens ajuda a l'estudi de les dinàmiques urbanes i a la planificació i gestió urbana del sistema objecte d'estudi.

La implementació feta en un cas d'estudi i els resultats obtinguts demostren la possibilitat d'estudiar el sistema urbà i les dinàmiques urbanes mitjançant l'aplicació de la proposta metodològica, lo qual ens ha permès la seva validació (Sureda, 2007).

La pretensió final de la proposta metodològica és ajudar a construir un futur millor, buscant un procediment que orienti accions i conductes de l'home cap a la construcció de societats sostenibles, ja que l'home en aquestes societats hi té un paper fonamental, com a principal actor transformador del sistema complex en què viu.

## **Referències bibliogràfiques**

- AEMA (1996). "Ciudades Europeas Sostenibles. Informe". Brussel·les: Grup d'experts sobre M.A.U. Comissió Europea, Direcció General XI Medi Ambient, Seguretat Nuclear i Protecció Civil.
- Alberti, M. i Susskind, L. (1996). "Managing urban sustainability: an introduction to the special issue". *Environmental Impact Assessment Review*, 16, p. 213-221.



- Aracil, J. (1986). *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Madrid: Editorial Alianza, 1986.
- BM (1996). *Banc Mundial. Social indicators of development*. Washington DC: Banco Mundial.
- Bertalanffy, L.W. (1968). *Teoría general de los sistemas*. Mèxic: Editorial Fondo de cultura.
- Bossel, H. (1999). *Indicators for sustainable development: Theory, Method, Applications*. Report del Grup Balaton. Canadà: International Institute for Sustainable Development.
- Brundtland, G.H. (1992). *Nuestro futuro común*. Madrid: Alianza Editorial.
- Carrasco, R.J. (2001). *La ciudad sostenible, movilidad y desarrollo metropolitano, su aplicación y análisis comparativo entre las áreas metropolitanas del Vallés y Puebla*. UPC. Barcelona: Edicions UPC.
- Castro, J.M. (2002). *Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía*. Universitat de Màlaga: Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales.
- CDS. (2001). Disponible a: <http://www.uN.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isd.htm>.
- Cea, M.A. (2002). *Análisis multivariable. Teoría y práctica en la investigación social*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Clark, W.C. i Munn R.E. (1986). *Sustainable Development of the Biosphere*. Cambridge: University Press.
- De Felipe, J.J. (2004). *Posibles escenarios futuros mundiales y absorciones de CO<sub>2</sub> y cumplimiento de los acuerdos de Kyoto*. UPC. Barcelona: Edicions UPC.
- De Jouvenel, H. (2000). "A brief methodological guide to scenario building". *Technological Forecasting and Social Change*. 65, p. 37-48.
- Diputació de Barcelona (2000). *Xarxa de ciutats i pobles cap a la sostenibilitat. Sistema municipal d'indicadors de sostenibilitat*. Hannover: Expo 2000. Diputació de Barcelona.
- EEA (1999). *Medio Ambiente en la Unión Europea en el cambio de siglo*. Luxemburg: Oficina de Publicacions Oficials de les Comunitats Europees.
- EUROSTAT (2000). *Toward Environmental Pressure Indicators for the EU*. Luxemburg: Oficina de Publicacions oficials de les Comunitats Europees.
- Fabey, L. i Randall, R.M. (1998). *Learning from the future: Competitive foresight scenarios*. Nova York: John Wiley and Sons.
- Gallopín, G. C. (1997). *Indicators and their Use: Information for Decision-making*. Citat a: Moldan, B. i Billharz, S. (1997). *Sustainability Indicators. Report of the project on indicators of sustainable development*. Anglaterra: SCOPE 58.
- Gallopín, G.C. (2006). *Los indicadores de desarrollo sostenible: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Ponencia realizada para el Seminario de Expertos sobre Indicadores de Sostenibilidad en la Formulación y Seguimiento de Políticas. Santiago de Chile: FODEPAL.
- Gell-Mann, M. (1995). *The quark and the jaguar*. San Francisco: Freeman, 1994. Traducció de García, A.; Pastor, R. *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y en lo complejo*. Barcelona: Metatemas 38. Tusquets Editors.
- Godet, M. (1985). *Prospectivas y planificación*. Paris: CPE. Economía.
- Grübler, A. (1994). *Technology*. Citat a: Meyer, W.B.; Turner, L. *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Nova York: Cambridge University Press.
- Gu, J. i Tang, X. (2005). "Meta-synthesis approach to complex system modelling". *European Journal of Operational Research*. Vol. 166, n. 3, p. 597-614.

- Haase, D. i Nuissl, H. (2006), "Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy?: The case of Leipzig (Germany) 1870–2003". *Landscape and Urban Planning*. In Press, Corrected Proof.
- Hammond, A. et al. (1995). *Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Hardi, P. i Zdan, T. (1997). *Assessing Sustainable Development. Principles and Practice*. Report of the Conference on Sustainable Development Performance Measurement. Bellagio. Itàlia. 1996. Winnipeg: IISD.
- Herce, J.A. (1992). "Economía y medio ambiente. Crecimiento Sostenible", ICE. *Revista de economía*, 14, p. 25-31.
- Huang, S. et al. (1998). "A framework of indicator system for measuring Taipei's urban sustainability". *Landscape Urban Plan*, 42, p. 15–27.
- Kahn, H.; i Weiner, A. J. (1967). *The Year 2000: A framework for speculation on the next thirty-three years*. Nova York: The Macmillan Co.
- Krutilla, K. i Reuveny, R. (2006). "The systems dynamics of endogenous population growth in a renewable resource-based growth model". *Ecological Economics*. Vol. 56, n. 2, p. 256-267.
- Lee, K.C. (1993). *Compass and Gyroscope. Integrating science and politics for the environment*. Washington DC: Island Press.
- Licha, I. (2000). *La construcción de escenarios: herramientas de la gerencia social*. Washington: INDES. BID.
- Makowski, M. (2005). "A structured modeling technology". *European Journal of Operational Research*. Vol. 166, n. 3, p. 615-648.
- Martín, J. (2004). *Sysware*. Barcelona: Juan Martín García cop.
- McLain, R.J. i Lee, R.G. (1996). "Adaptative management: promises and pitfalls". *Environmental Management*. Vol. 20, n. 4, p. 437-448.
- Meadows, D. (1998). *Indicators and Information Systems for Sustainable Development*. Un article del Grup Balaton. Estats Units: The Sustainability Institut.
- Mortensen, L. (1997). *The Driving Force- State-Response framework used by the Commission on Sustainable Development*. Citat a: Moldan, B.; Billharz, S; Matravers, R. (1997). *Sustainability Indicators: a report on the project on indicators of sustainable development*. Nova York: John Wiley & Sons.
- Munford, L. (1994). *Técnica y civilización*. Madrid: Alianza Editorial.
- Naredo, J.M. (1996). *Sostenibilidad, diversidad y movilidad horizontal en los modelos de uso del territorio*. A MOPTMA (Ed): *Ciudades para un futuro más sostenible*. Catálogo Español de Buenas Prácticas. Madrid: Comité Español Habitat II.
- Narvaiza, J.L. et al. (1998). *Estadística Aplicada a Gestión y a las Ciencias Sociales. Estadística Descriptiva y Probabilidad*. Bilbao: Editorial Desclee de Brouwer.
- OECD (1993). *Cuerpo de indicadores para revisiones de desempeño medioambiental de la OECD*. OECD Environment Monographs. n. 83. Paris: OECD.
- Odum, E.P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: Saunders.
- Olewiler, N. (2004). "Environmental sustainability for urban areas: the role of natural capital indicators". *Cities*. Vol. 23, n. 3, p. 184-195.
- Palerm, J. (1997). "El trabajo de campo y la formación de investigadores en antropología social", *Nueva Antropología. Revista de Ciencias Sociales*, 5, p. 133-146.

- Peña, D. i Romo, J. (1997). *Introducción a la estadística para las ciencias sociales*. Madrid: McGraw-Hill.
- Pearson, K. (1901). "On lines and planes of closets fit to systems of points in the space". *Philosophical Magazine*, 2, p. 559-572.
- Rueda, S. (1996). *Habitabilidad y calidad de vida. A MOPTMA (Ed): Ciudades para un futuro más sostenible. Catálogo Español de Buenas Prácticas*. Madrid: Comitè Espanyol Hàbitat II.
- Sánchez, J.J. (1999). *Manual de análisis estadístico de los datos*. Alianza Editorial. Madrid: Alianza Editorial.
- Schwartz, P. (1996). *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. Nova York: Currency Doubleday.
- Selman, P. (2000). "A sideways look at Local Agenda 21". *Journal of Environmental Policy & Planning*, 2, p. 39-53.
- Schumpeter, J. (1911). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Traducció espanyola: Teoría del desenvolvimiento económico. Mèxic: Fondo de Cultura económica, 1957.
- SFSO, SAEFL i ARE (2004). *Swiss Federal Statistical Office, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape i Federal Office for Spatial Development. MONET final report: Methods and results*. Neuchâtel. <http://www.monet.admin.ch>
- Sureda, B. (2007). *Proposta metodològica per a l'anàlisi de la sostenibilitat utilitzant indicadors i índexs, implementats i analitzats amb una eina de recolçament al raonament. Cas d'estudi: municipi de Terrassa*. Barcelona: Base de dades TDX. Universitat Politècnica de Catalunya. <http://www.tdcat.cesca.es/>
- Tjallingii, S.P. (1995). "Strategies for Ecologically Sound Urban Development". *Ecopolis*. Leiden: Backhuys Publishers, p. 44-53.
- UNCHS (2006). *State of the World's Cities 2006/7: The Millennium Goals and Urban Sustainability*. Nairobi: UNCHS (Habitat).
- Vennix, J. i Jac A.M. (1996). *Group Model Building: facilitating team learning using system dynamics*. Nova York: John Wiley.
- Wackernagel, M. i Rees, W.E. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
- Xercavins, J. (2000). *Carrying capacity in east sub-saharan Africa: A multilevel integrated assessment and Sustainable Development approach*. Barcelona: UPC.
- Xiao, J. et al. (2006). "Evaluating Urban Expansion and Land use Change in Shijiazhuang, China, by using GIS and Remote Sensing". *Landscape and Urban Planning*. Vol. 75, n. 1-2, p. 69-80.
- Zhang, Y. et al. (2006). "Measurement and evaluation of interactions in complex urban ecosystem". *Ecological Modelling*. Vol. 196, n. 1-2, p. 77-89.