

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT D'ENGINYERIA DE LA CONSTRUCCIÓ

TESI DOCTORAL

Títol:
**INSTRUMENTS D'ANÀLISI DE LA
SOSTENIBILITAT PER A L'ORDENACIÓ
DEL TERRITORI**

**EL CAS DE L'ENERGIA PER A L'ÀREA
METROPOLITANA DE BARCELONA**

DOCTORAND:

JOSEP BERNIS I CALATAYUD
ENGINYER INDUSTRIAL
D.N.I.: 38.168.989-Y
e-mail: wjbernis@correu.gencat.es

DIRECTORS:

ALBERT SERRATOSA I PALET
PERE ALAVEDRA I RIBOT

MAIG 2000

ÍNDEX

CAPÍTOL 0: RESUM	5
CAPÍTOL 1: PRESENTACIÓ	41
1.1. A TALL DE JUSTIFICACIÓ	42
1.2. OBJECTIUS	46
1.3. PLANTEJAMENT METODOLÒGIC	47
CAPÍTOL 2: INTRODUCCIÓ AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE	48
2.1. NAIXEMENT DEL CONCEPTE	49
2.1.1. Antecedents recents	49
2.1.2. Desenvolupament del terme	50
2.1.3. Interpretacions i crítiques	52
2.1.4. Definicions	52
2.2. MODELS DE SOSTENIBILITAT	58
2.2.1. Models Humanitzats i Models Naturalitzats	58
2.2.2. Model basat en l'economia ecològica	59
2.2.3. Model de l'Agenda 21	62
2.2.4. Model del V Programa	68
2.2.5. Model del "factor 4" o la revolució de l'eficiència	71
2.2.6. Declaració de Río sobre medi ambient i desenvolupament	72
2.2.7. Exemples d'aplicació dels criteris de sostenibilitat	77
2.3. VISIÓ DELS LÍMITS DEL CREIXEMENT DES DE LA ENGINYERIA: LA CAPACITAT DE CÀRREGA	79
2.4. LA TERMODINÀMICA DE PROCESSOS IRREVERSIBLES I LA TEORIA DEL CAOS, CAMÍ PER ESTABLIR LES VIES DE SOSTENIBILITAT	95
2.4.1. Sistemes oberts	95
2.4.2. Termodinàmica de processos irreversibles	96
2.4.3. Els sistemes estacionaris com models de sostenibilitat	100
2.4.4. Teoria no lineal	101
CAPÍTOL 3: PER A UN PROCÉS D'URBANITZACIÓ SOSTENIBLE	107
3.1. ORDENACIÓ DEL TERRITORI I SOSTENIBILITAT	108
3.2. PROCÉS HISTÒRIC RECENT	110
3.2.1. Des de l'Edat Mitjana fins l'arribada de la civilització industrial	110

3.2.2.	La necessitat d'ordenar el territori	111
3.2.3.	El funcionalisme com model d'ordenació durant el segle XX	111
3.2.4.	Els nous reptes urbans en el tombant de segle	112
3.3.	VISIONS SOBRE LA SOSTENIBILITAT URBANA	115
3.4.	LA TEORIA ECOLÒGICA REFERIDA AL TERRITORI	117
3.4.1.	El metabolisme urbà.....	117
3.4.2.	Sobre la flexibilitat de les variables urbanes	117
3.4.3.	Informació i complexitat.....	125
3.4.4.	L'imperatiu ecològic en la mobilitat	131
3.4.5.	La diversitat com índex d'organització	134
3.4.6.	L'evolució de la complexitat.....	136
3.5.	LA TEORIA DEL CAOS APLICADA A LA PLANIFICACIÓ TERRITORIAL.....	141
3.5.1.	La necessitat de nous models analítics.....	141
3.5.2.	L'aplicació als sistemes urbans	142
3.6.	LA SOSTENIBILITAT EN LA PRÀCTICA: POLÍTIQUES URBANES EN L'ORDENACIÓ DEL TERRITORI.....	146
3.6.1.	Els inicis de la preocupació mediambiental.....	146
3.6.2.	Els programes europeus	150
3.6.3.	La preparació de la Conferència de Río: l'Agenda 21 i el V Programa europeu.....	152
3.6.4.	Ciutat i territori després de Río i el V Programa: les agendes de Desenvolupament Local	158
3.6.5.	Els indicadors de sostenibilitat com eina metodològica	159
3.6.6.	Les Auditories Ambientals Municipals: AAMs	163
3.6.7.	El concepte de sostenibilitat a Espanya	165
3.7.	EL PROCÉS D'OCUPACIÓ DE SÒL A L'AMB	168
3.8.	TOT VERIFICANT LA SOSTENIBILITAT DEL PTMB.....	171
 CAPÍTOL 4: DISSENY D'UN MODEL MATEMÀTIC LINEAL D'OPTIMITZACIÓ DE RECURSOS ENERGÈTICS SOTA RESTRICCIONS DE SOSTENIBILITAT		174
4.1	INTRODUCCIÓ A LA INVESTIGACIÓ OPERATIVA	175
4.2.	CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL MATEMÀTIC	176
4.3.	PROGRAMACIÓ LINEAL	177
4.3.1.	Formulació d'un problema de programació lineal	177
4.3.2.	Hipòtesis de la programació lineal	178
4.4.	APLICACIÓ DE LA PROGRAMACIÓ LINEAL A L'OPTIMITZACIÓ DE RECURSOS ENERGÈTICS	180

4.4.1.	Models energètics amb restriccions de sostenibilitat	180
4.4.2.	Construcció d'un model energètic adaptat a les necessitats de l'ordenació territorial....	181
CAPÍTOL 5: APLICACIÓ DEL MODEL MATEMÀTIC AL TERRITORI DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA		191
5.1.	INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS	192
5.2.	ESTUDI DELS PARÀMETRES DEL MODEL	193
CAPÍTOL 6: CONCLUSIONS		202
CAPÍTOL 7: BIBLIOGRAFIA		211

CAPÍTOL 0: RESUM

Objecte de l'Estudi

1

☞ Definir un instrument d'anàlisi per a l'ordenació del territori, amb criteris de sostenibilitat

☞ 5 aspectes rellevants:

- ✓ *l'ocupació del territori*
- ✓ *la gestió del transport*
- ✓ *la gestió dels residus*
- ✓ *la gestió dels recursos hídrics*
- ✓ *la gestió dels recursos energètics*

☞ Aquest Estudi pretén desenvolupar uns criteris generals i comprovar la seva aplicabilitat, mitjançant un amidament de la sostenibilitat aportada per la Proposta d'ordenació territorial del Pla Territorial Metropolità de Barcelona (PTMB), en relació a l'eficiència energètica de l'ocupació del territori

Etales de l' Estudi

2

- ☞ La sostenibilitat i el territori: una visió global

- ☞ La sostenibilitat i el territori: una visió particular
 - ✓ *Situació actual i Proposta del PTMB*

- ☞ La sostenibilitat i l'energia
 - ✓ *Polítiques energètiques*
 - ✓ *Models de gestió energètica*

- ☞ Construcció d'un nou model energètic
 - ✓ *Anàlisi del model*
 - ✓ *Aplicació del model a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB)*

- ☞ Anàlisi dels resultats

- ☞ Conclusió final

El desenvolupament sostenible

3

“És aquell que satisfà les necessitats de les generacions presents sense comprometre les capacitats de les generacions futures de satisfer les seves pròpies necessitats”
(Inf.Brundtland)

☞ **Concepte amb diverses interpretacions**

✓ *Visió ecològica* ⇨ *“capacitat de càrrega, gràcies a la qual un líndar màxim de població pot ser mantingut de manera indefinida”*

✓ *Visió econòmica*

- *Sostenibilitat “dèbil”* ⇨ *economistes neoclàssics*
- *Sostenibilitat “forta”* ⇨ *economistes ecològics*

✓ *Visió termodinàmica*

- *Entropia* ⇨ *Mesura quantitativa de la sostenibilitat*

“La manera d'acostar-se al màxim a les situacions més estables dels equilibris dinàmics és minimitzant la producció d'entropia”

La sostenibilitat i el territori

4

☞ Dos models diferents: el model anglosaxó d'ordenació difusa i el model mediterrani d'ordenació compacta

✓ *Ordenació difusa*

- elevat consum de sòl
- elevat consum de materials i energia
- costos elevats de les xarxes (inversió, explotació i manteniment)
- tendència a explotar i desestructurar els sistemes de l'entorn més enllà de la seva capacitat de càrrega
- baix preu del sòl i menor cost de l'habitatge
- necessitat de més autonomia per a la unitat familiar
- dificultats per a l'establiment d'un sistema públic de transport

✓ *Ordenació compacta*

- menor cost per càpita en infraestructures
- alta densitat de població i contenció en la demanda de sòl
- reducció important del consum energètic, principalment del sector transport
- alt preu del sòl i major cost de l'habitatge
- millors possibilitats per a un sistema públic de transport

Situació territorial actual a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) 5

- ☞ El territori s'estructura funcionalment
- ☞ El creixement i la qualitat de l'entorn es contradiuen
- ☞ Barcelona perd població en benefici de les corones
- ✓ *Es redueixen les disfuncionalitats d'una alta densitat a la conurbació central*
- ✓ *Es produeix un territori més vertebrat espacialment*
- ✓ *Existeix una distribució homogènia de les oportunitats de treball*
- ✗ *Augmenten les despeses corrents associades a infraestructures i manteniments*
- ✗ *El creixement accelerat d'urbanitzacions ha desestructurat el territori, en molts casos, de forma irreversible*
- ✗ *Augmenta el consum d'energia i materials, dedicats en gran part a la mobilitat*

Proposta d'ordenació territorial del PTMB

6

Una nova concepció territorial

- ✓ *Illes metropolitanes ⇨ àrees de concentració urbana*
- ✓ *Espai obert ⇨ conjunt d'urbanització restringida*

Avantatges del nou disseny territorial

- ✓ *Compactació del territori en àmbits delimitats*
- ✓ *Contenció del creixement en taca d'oli*
- ✓ *Reducció de les despeses corrents associades a infraestructures i manteniments*
- ✓ *Justificació de més inversió en transport públic, socialment i econòmicament rendible*

Energia sostenible: definició del terme

7

Visió ecològica

- ✓ *La taxa d'utilització dels recursos renovables no ha de superar la taxa de regeneració*
- ✓ *La taxa d'utilització dels recursos no renovables no ha de superar la taxa amb la que es desenvolupen substituïts renovables*
- ✓ *Les taxes d'emissió de contaminants no han de superar la capacitat d'assimilació del medi*

Visió tecnològica

- ✓ *Augment de l'eficiència en els processos de transformació energètica i en el consum final*

Visió política

- ✓ *Desregulació energètica en un mercat que tingui en compte la problemàtica ambiental*
- ✓ *Estimular l'ús racional de l'energia*

Les polítiques energètiques

8

El V Programa de la UE

- ✓ *Reducció de la contaminació*
- ✓ *Desenvolupament de fonts renovables d'energia mitjançant programes de R+D*
- ✓ *Reducció del consum d'energia*

L'estratègia espanyola: el PEN

- ✓ *Minimització dels costos*
- ✓ *Diversificació energètica*
- ✓ *Potenciació dels recursos autòctons*
- ✓ *Protecció mediambiental*

Gestió energètica amb restriccions de sostenibilitat (I)

9

☞ Etapa de desenvolupament en creixement

☞ Sistemes de Gestió de la Demanda

- ✓ *Aplicació en els operadors de les xarxes*
- ✓ *Control del nivell de generació i venda d'energia*
- ✓ *Manteniment de prestacions i serveis als usuaris*

☞ Planificació Integrada de Recursos

- ✓ *Aplicació per als diferents sectors de demanda energètica*
- ✓ *Introdueix variables ambientals*
 - *eficiència energètica*
 - *ús de tecnologies menys contaminants*
 - *introducció de les energies renovables*

Gestió energètica amb restriccions de sostenibilitat (II) **10**

Àmbit: Ordenació territorial

☞ Etapa de desenvolupament embrionari

☞ Basada en la Planificació Integrada de Recursos

El model ve determinat per:

- ✓ *Tipologia del sistema energètic*
- ✓ *Període de vigència de la planificació territorial*
- ✓ *La sostenibilitat entesa com una condició:*
 - socialment desitjable
 - econòmicament viable
 - ecològicament sostenible

Objectius del model

11

☞ Optimitzar les necessitats energètiques d'un territori determinat

☞ Aplicació de la programació lineal

- ✓ *Variables de decisió*
- ✓ *Funció Objectiu (F.O.)*
- ✓ *Restriccions funcionals*

☞ Models basats en l'optimització energètica

- ✓ *H.M.Groscurth, T.H.Bruckner, R.Kümel (ITPUW): descriu un marc general dels sistemes municipals i regionals basant-se en xarxes de fluxos de dades*
- ✓ *T.Kagazyo, K.Kaneko, M.Akai, K.Hijikata (TIT): estableix prioritats en l'avaluació de projectes energètics basant-se en aspectes socials i tecnològics*
- ✓ *R.K.Bose, G.Anandalingam (University of Pennsylvania): estableix múltiples objectius relacionats amb la gestió energètica sostenible en una àrea urbana*

Model matemàtic de Bose i Anandalingam (I)

12

Variables de decisió:

✓ *Es parteix de les variables referides a necessitats energètiques en el sector domèstic, industrial i transport.*

Funció Objectiu (F.O.):

✓ *minimitzar les desviacions de “mancaça” o “excés” de les restriccions*

$$\text{MIN } Z = P_1A^- + P_2D^- + P_3B^+ + P_4C^+ + P_5A^+$$

$$\text{on } A^- = \sum w_{js}^- d_{js}^- \quad A^+ = \sum w_{js}^+ d_{js}^+ \quad B^+ = \sum w_s^+ d_s^+ \quad C^+ = \sum w_p^+ d_p^+ \quad D^- = \sum w_k^- d_{ijk}^-$$

Restriccions funcionals:

✓ *obtenir l'energia mínima necessària per satisfer la demanda dels diferents sectors*

$$\sum a_{ijk} \cdot X_{ijk} \geq u_j^s$$

Model matemàtic de Bose i Anandalingam (II)

13

✓ *utilitzar al màxim rendiment les centrals energètiques*

$$\sum a_{ijk} \cdot X_{ijk} \leq b_{ijk}$$

✓ *minimitzar la despesa energètica dins d'un pressupost*

$$\sum c_{ijk} \cdot X_{ijk} \leq e^s$$

✓ *reduir les emissions contaminants*

$$\sum \sum q_{ijk}^{ps} \cdot t^s \cdot X_{ijk}^s \leq v^p$$

✓ *adaptar la demanda energètica a les disponibilitats en l'àmbit*

$$\sum \sum t^s \cdot X_{ijk}^s \leq r_i$$

☞ Àmbit d'aplicació: Àrea Metropolitana de Nova Delhi (2020)

☞ Creació de 2 escenaris:

- 1) No es té en compte l'eficiència ni la reducció d'emissions
- 2) Millora de la tecnologia, de l'eficiència i reducció de trànsit

☞ Resultats: Estalvi energètic del 10% pel segon escenari

Construcció d'un nou model matemàtic

14

☞ ¿Quines són les prioritats del planificador territorial?

- ✓ *Conèixer les necessitats energètiques del territori dins del període de vigència de la planificació territorial*
- ✓ *Simular diferents escenaris per poder conèixer el més adient des del punt de vista econòmic i social*
- ✓ *El model ha d'estar format per paràmetres d'ús comú en l'ordenació territorial*

☞ Objectiu: Dissenyar el model tenint presents les prioritats anteriors i l'ús d'aquest sigui possible en qualsevol territori determinat

- ✓ *El planificador, al analitzar els resultats, ha de tenir presents les peculiaritats del seu territori que escapen a les generalitats del model*

Variables de decisió

15

☞ Les variables de decisió són els paràmetres a optimitzar

✓ *Variables energètiques renovables [tep_p]*

- X1 ⇨ BIOMASSA (biocombustibles, RSU, biogas)
- X2 ⇨ HIDROELÈCTRICA
- X3 ⇨ EÒLICA
- X4 ⇨ SOLAR FOTOVOLTAICA
- X5 ⇨ SOLAR TÈRMICA

✓ *Variables energètiques no renovables [tep_p]*

- X6 ⇨ CARBÓ
- X7 ⇨ GAS NATURAL
- X8 ⇨ DERIVATS DEL PETROLI
- X9 ⇨ NUCLEAR

Funció Objectiu (F.O.) (I)

16

☞ Expressió matemàtica funció de les variables de decisió de la que es buscarà l'òptima solució amb els mínims costos

$$\begin{aligned}
 \text{MIN} \quad Z_k &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \cdot X_i \\
 \forall i &= 1, \dots, 9 \quad \forall j = 1, \dots, 4 \quad \forall k = 1, \dots, t
 \end{aligned}$$

Z_k : valor total de la despesa energètica l'any k [euros]

A_{ik} : coeficient de variació temporal del cost de la variable energètica "i"

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

C_{ij} : cost total d'una unitat energètica primària [euros / tep_p]

Funció Objectiu (F.O.) (II)

17

☞ Anàlisi dels costos de la F.O.

✓ *en plantes energètiques* [euros / tep_f]

- Costos d'instal·lació (enginyeria i construcció) ⇨ C_{i1}
- Costos d'operació i manteniment fixos ⇨ C_{i2}
- Costos d'operació i manteniment variables més cost de combustibles ⇨ C_{i3}
- Costos de transport i distribució ⇨ C_{i4}

✓ *sense transformació energètica* [euros / tep_p]

- Costos d'extracció ⇨ C_{i1}
- Costos de manipulació ⇨ C_{i2}
- Costos de transport i distribució ⇨ C_{i3}

Restriccions funcionals (I)

18

☞ Respecte al model anterior té en comú:

- ✓ *Anàlisi d'emissions*
- ✓ *Eficiència energètica dels processos*
- ✓ *Introducció de les energies renovables*

☞ Respecte al model anterior difereix en:

- ✓ *Permet analitzar la desviació entre escenaris pressupostaris*
- ✓ *Es independent la demanda de l'oferta energètica dins el territori*
- ✓ *Introdueix coeficients de variació temporal*
- ✓ *Introdueix paràmetres habituals en l'àmbit de l'ordenació territorial en els termes independents*

Restriccions funcionals (II)

19

☞ RESTRICCIÓ 1: Anàlisi de les emissions

✓ *Equació tipus*

$$\sum_{i=6}^m C_{ij} \cdot \left(1 - \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \cdot X_i \leq b_{0j} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right)$$

$\forall i=6, \dots, 8$ $\forall j=1, \dots, 3$ $\forall k=1, \dots, t$

C_{ij} : emissions per unitat energètica primària

C_{i1} : emissions de CO₂ [ton / tep_p]

C_{i2} : emissions de SO₂ [kg / tep_p]

C_{i3} : emissions de NO_x [kg / tep_p]

A_{ik} : variació temporal de C_{ij}

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

b_{0j} : quantitat d'emissions durant l'any inicial

B_k : variació de b_{0j} en el temps

Restriccions funcionals (III)

20

☞ RESTRICCIÓ 2: Eficiència energètica dels processos

✓ *Equació tipus 1: ús d'energies fòssils*

✓ *Equació tipus 2: ús d'energies renovables*

$$\sum_{i=6}^m \left[\left(\prod_{r=1}^s C_{ir} \right) \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \right] \cdot a_i \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(1 - B_0 + \sum_{K=1}^t B_k \right)$$

$\forall i=1, \dots, 5$ $\forall j=1, \dots, 3$ $\forall k=1, \dots, t$ $\forall r=1, \dots, 5$

$\prod C_{1r}$: eficiència dels processos energètics [$\text{tep}_f / \text{tep}_p$]
(extracció, manipulació, transport, conversió, distribució)

A_{ik}, B_k : coeficients de variació temporal

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

B_0 : utilització de les energies fòssils per producció elèctrica

a_i : coeficient d'ús elèctric

Restriccions funcionals (IV)

21

☞ RESTRICCIÓ 3: Ús de l'energia

✓ *Equació tipus 1: ús d' energies fòssils*

$$\sum_{i=1}^m C_i \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(B_0 - \sum_{k=1}^t B_k \right)$$

$\forall i=6,\dots,9$ $\forall j=1,\dots,4$ $\forall k=1,\dots,t$

✓ *Equació tipus 2: ús d' energies renovables*

$$\sum_{i=1}^m C_i \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(1 - B_0 + \sum_{k=1}^t B_k \right)$$

$\forall i=1,\dots,5$ $\forall j=1,\dots,4$ $\forall k=1,\dots,t$

C_i : coeficient d'ús energètic

A_{ik} , B_k : coeficients de variació temporal

B_0 : utilització de les energies fòssils en %

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

Restriccions funcionals (V)

22

☞ RESTRICCIÓ 4: Ús energètic no elèctric en sector transport

✓ *Equació tipus*

$$C_{10} \cdot \left(\sum_{k=1}^t A_k \right) \cdot X_1 + C_{80} \cdot \left(1 - \sum_{k=1}^t A_k \right) \cdot X_8 \geq b_{1k}$$
$$\forall k = 1, \dots, t$$

C_{10} : ús dels biocombustibles en el transport

C_{80} : ús dels derivats del petroli en el transport

A_k : coeficient de variació temporal

☞ RESTRICCIÓ 5: Capacitat d'introducció de les energies renovables

✓ *Equació tipus*

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

$$X_i \leq b_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, 3$$

$$X_i \geq b_{ik} \quad \forall i = 4, 5$$

b_{ik} : quantitat d'energia renovable l'any k [tep_p]

Restriccions funcionals (VI)

23

☞ Termes independents: quantifiquen necessitats energètiques

b_{jk} : consum energètic elèctric / total per sectors d'activitat

b_{1k} : consum del sector transport [tep]

$$b_{1k} = \left(d_{sem\ 0} + \sum_{k=1}^t d_{sem\ k} \right) \cdot s \cdot ef \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot r$$

$\forall k = 1, \dots, t$

$d_{sem\ 0}$: n^o de desplaçaments setmanals l'any inicial

$d_{sem\ k}$: variació temporal del número de desplaçaments

s: setmanes

ef: eficiència [tep / km]

r: recorregut [km / desp]

B_k : variació temporal de l'eficiència

Restriccions funcionals (VII)

24

b_{2k} : consum del sector serveis i habitatge [tep]

$$b_{2k} = \left[\frac{h_0 \cdot e_c}{NMO_0 \cdot PRI_0} + \sum_{k=1}^t \frac{[a_k \cdot e_c + (1 - a_k) \cdot e_b] \cdot h_k}{\left(NMO_0 + \sum_{k=1}^t NMO_k \right) \cdot \left(PRI_0 + \sum_{k=1}^t PRI_k \right)} \right] \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right)$$

$\forall k = 1, \dots, t$

h_0 : nº de habitants l'any inicial

h_k : variació temporal de h_0

e_c : energia total utilitzada en construcció convencional [tep / viv]

e_b : energia total utilitzada en construcció bioclimàtica [tep / viv]

a_k : % de construccions convencionals l'any k

B_k : variació temporal de b_{2k}

NMO_0 : nº medi d'ocupació l'any inicial

NMO_k : variació temporal de NMO_0

PRI_0 : ús construcció com primera residència l'any inicial

PRI_k : variació temporal de PRI_0

Restriccions funcionals (VIII)

25

b_{3k} : consum del sector industrial [tep]

$$b_{3k} = e_{in} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot \left(i_0 + \sum_{k=1}^t i_k \right)$$
$$\forall k = 1, \dots, t$$

e_{in} = energia utilitzada en establiment industrial [tep / est]

i_0 = número d'establiments industrials l'any inicial

i_k = variació d'establiments industrials l'any k

B_k = variació temporal de b_{3k}

b_{4k} : usos no energètics [tep_p]

Aplicació del model a l'AMB

26

☞ Creació de 2 escenaris:

- ✓ *Escenari Proposta* ⇨ segons l'ordenació proposada pel PTMB
- ✓ *Escenari Tendencial* ⇨ segons el patró d'ordenació actual

☞ Estudi de 6 períodes temporals

- $k = 1$ ⇨ 2000
- $k = 2$ ⇨ 2005
- $k = 3$ ⇨ 2010
- $k = 4$ ⇨ 2015
- $k = 5$ ⇨ 2020
- $k = 6$ ⇨ 2025

☞ Hipòtesis en las restriccions

- ✓ *RESTRICCIÓ 1: ↑ emissions 17% any 2010 (Conferencia de Kyoto)*
- ✓ *RESTRICCIÓ 2: ↑ eficiència F (temps, energia) (ICAEN)*
- ✓ *RESTRICCIÓ 3: Ús energètic segons Comissió Europea (D.G. XVII)*
- ✓ *RESTRICCIÓ 4: Introducció biocombustibles segons UE*
- ✓ *RESTRICCIÓ 5: Capacitat d'introducció de les energies renovables segons limitacions físiques del territori (ICAEN)*

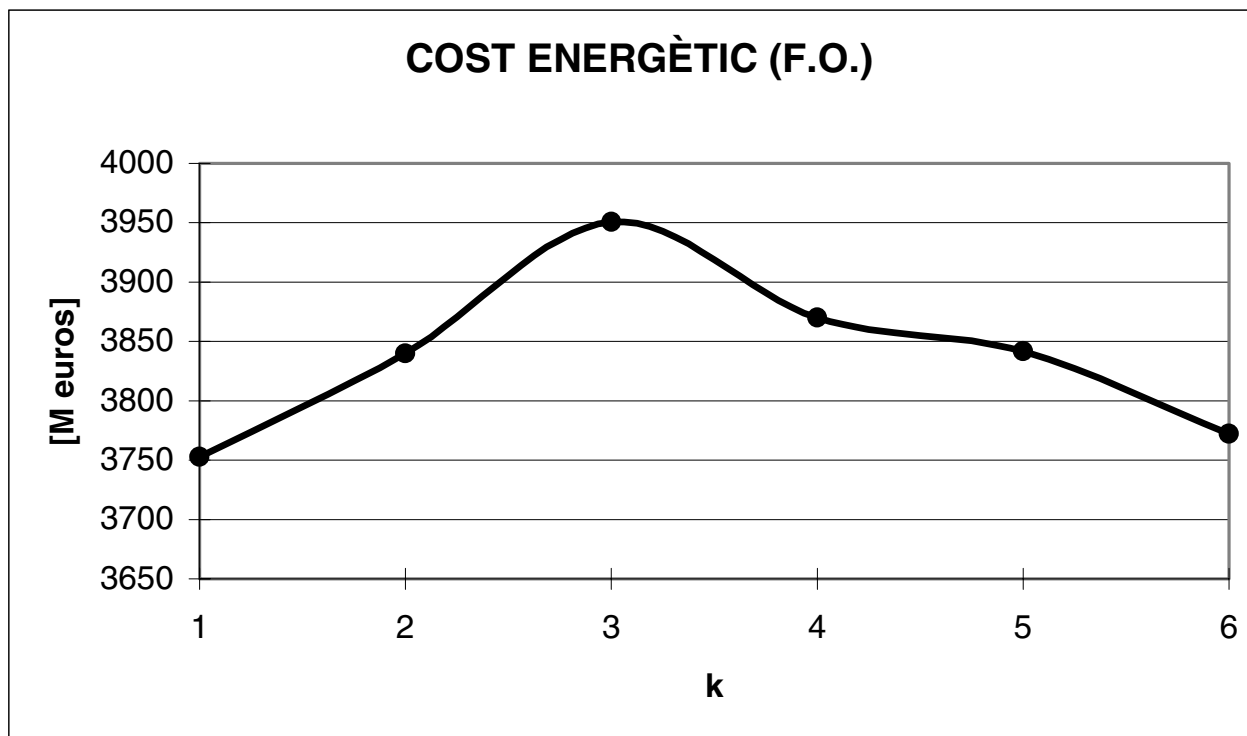
Resultats del model aplicat a l'AMB (I)

27

ESCENARI PROPOSTA

✓ *Costos energètics*

- Període 2000-2010: Increment dels costos
- Període 2010-2025: Disminució dels costos



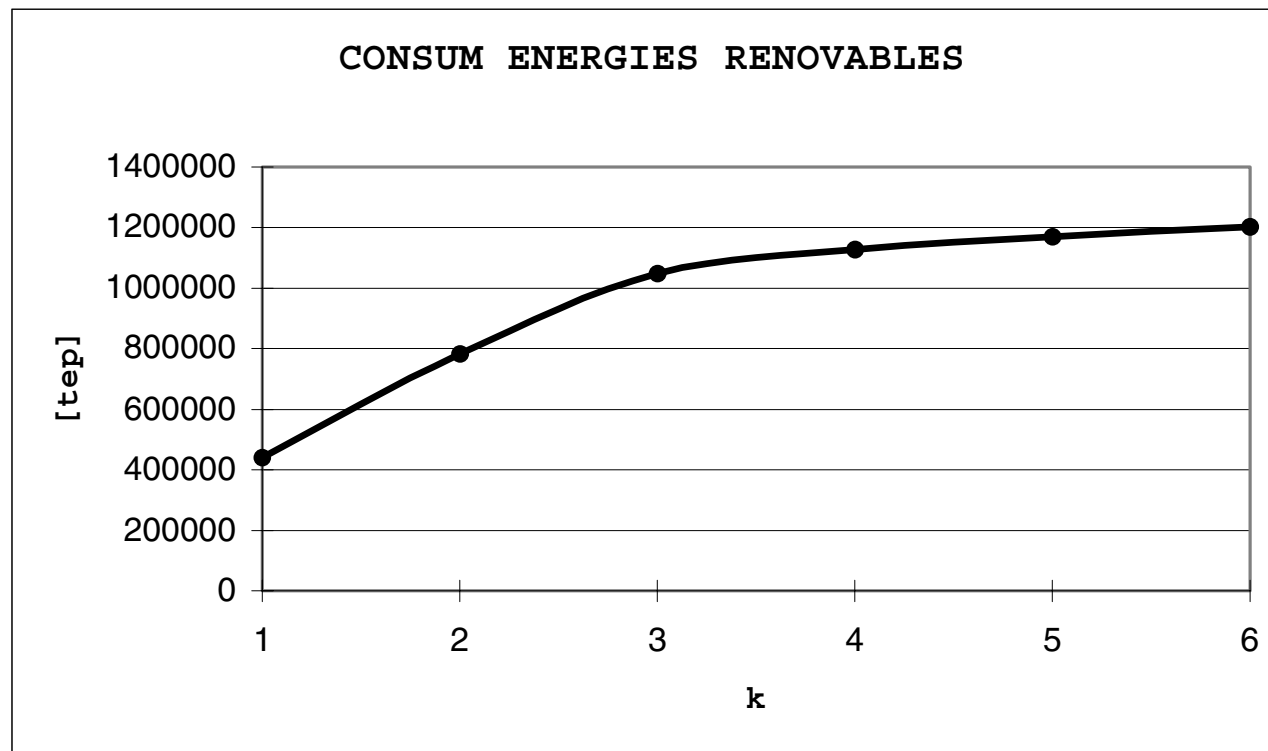
Resultats del model aplicat a l'AMB (II)

28

ESCENARI PROPOSTA

✓ *Energies renovables*

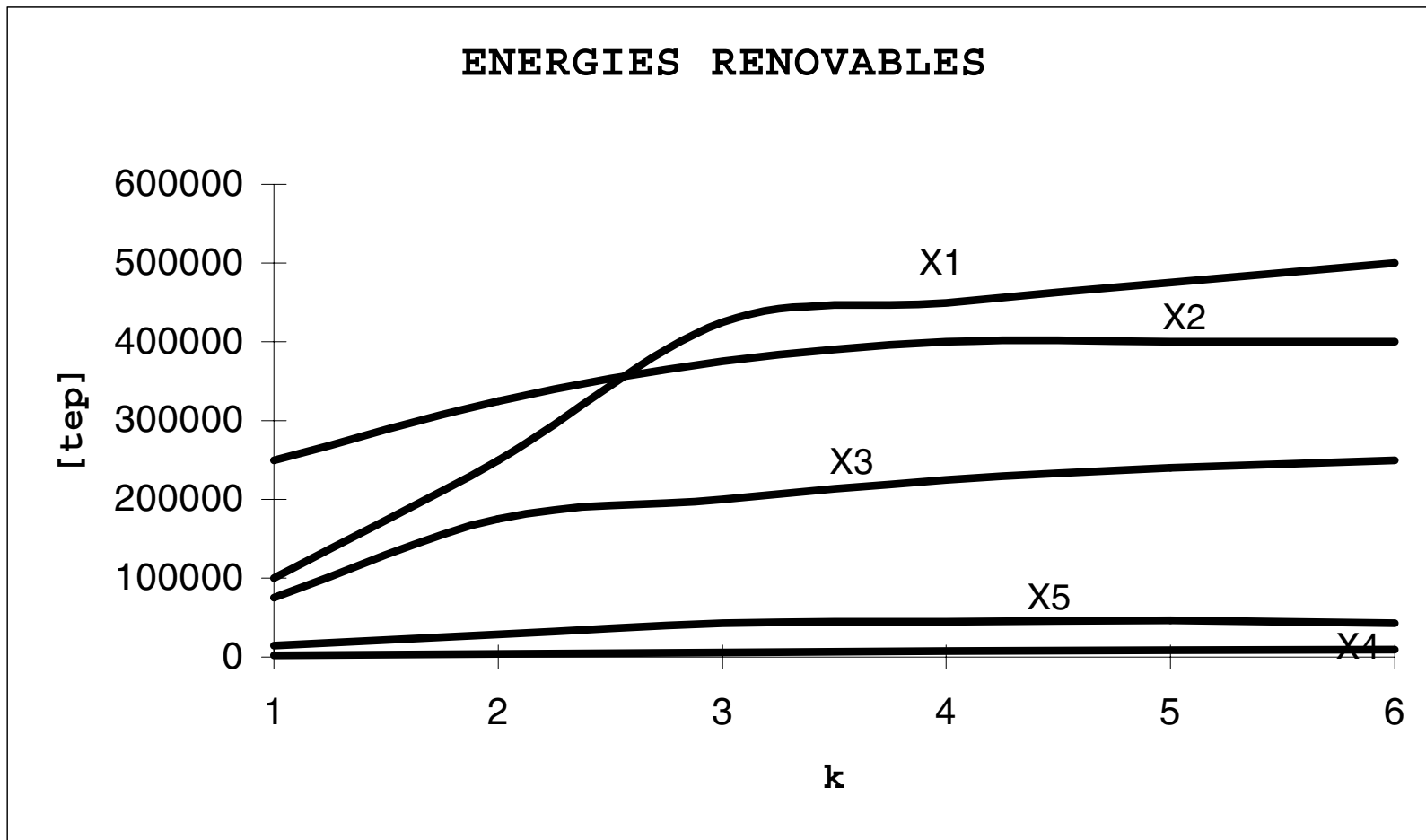
- Període 2000-2010: Creixement
- Període 2010-2025: Estabilització



Resultats del model aplicat a l'AMB (III)

29

ESCENARI PROPOSTA



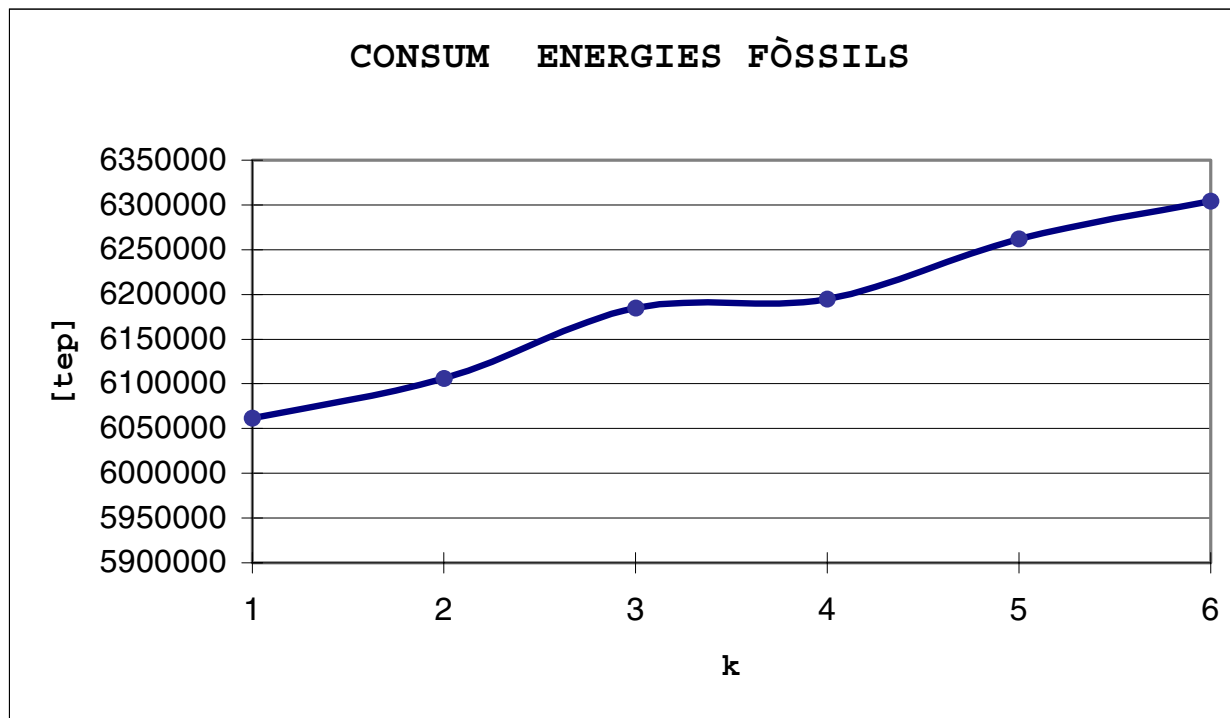
Resultats del model aplicat a l'AMB (IV)

30

ESCENARI PROPOSTA

✓ Energies fòssils

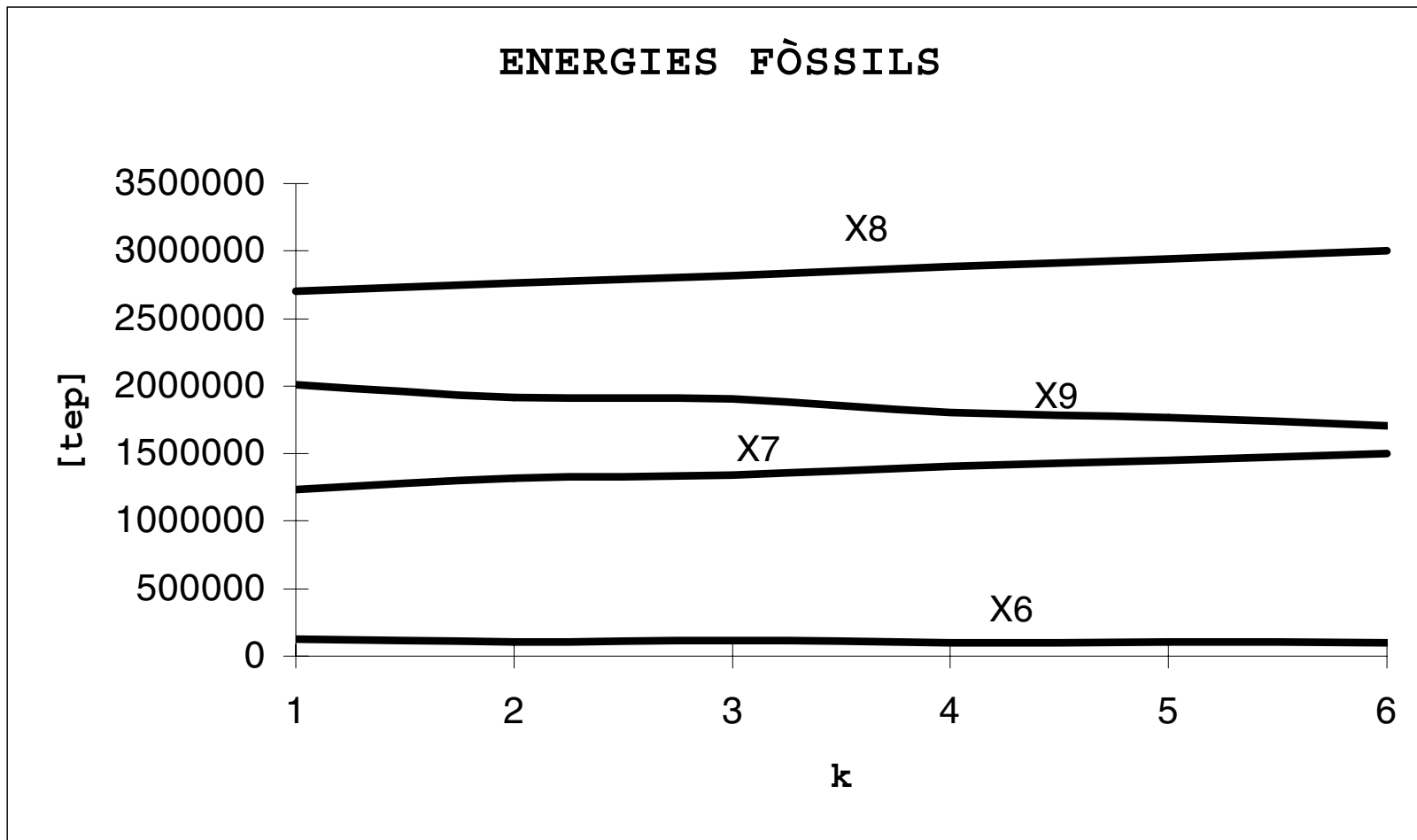
- Període 2000-2010: Creixement
- Període 2010-2015: Estabilització
- Període 2015-2025: Creixement



Resultats del model aplicat a l'AMB (V)

31

ESCENARI PROPOSTA



Resultats del model aplicat a l'AMB (VI)

32

☞ ESCENARI TENDENCIAL

✓ *Estudi energètic en el període k=6 (2025)*

- Variació de costos
- Variació de la tipologia energètica

☞ COMPARATIVA ESCENARIS (K=6)

✓ *Escenari tendencial*

- Costos ⇨ 3.901.459.000 euros
- Consum energètic ⇨ 7.995.765 tep

✓ *Escenari Proposta*

- Costos ⇨ 3.772.351.000 euros
- Consum energètic ⇨ 7.506.493 tep


☞ ESCENARI PROPOSTA

✓ *Estalvi econòmic anyal de 129 M euros (21.613 M ptes)*

✓ *Estalvi energètic anyal de 500.000 tep (DERIVATS DEL PETROLI)*

Proposta de gestió energètica per a l'AMB

33

 Preveure nous canals de pas per completar la xarxa de línies elèctriques i coordinar-la amb les infraestructures viàries i altres xarxes

- ✓ *Gestionar el subministrament elèctric com una xarxa integrada*
- ✓ *Preveure el progressiu soterrament de les línies elèctriques aèries*
- ✓ *Concentrar les línies d'alta tensió en pocs passadissos*
- ✓ *Regular la planificació coordinada amb altres xarxes*

 Fomentar l'ús del gas natural

- ✓ *Eliminar les centrals tèrmiques de carbó i substituir els combustibles derivats del petroli per gas natural*

 Fomentar l'ús d'energies renovables

- ✓ *Reservar espais per a la ubicació de centrals de producció energètica*

Conclusions: les propostes del PTMB i la sostenibilitat energètica 34

☞ Quin nivell de sostenibilitat aporten les propostes del PTMB?

☞ Anàlisi global

- ✓ *Organitza el territori potenciant el transport públic per a la mobilitat de les persones i de les mercaderies*
- ✓ *Fomenta les noves tecnologies (cogeneració, renovables...)*
- ✓ *Integra les infraestructures energètiques en l'entorn des d'un punt de vista estètic i ecològic*
- ✓ *Té en compte un creixement de l'ús energètic total*
- ✓ *Permet el creixement de les emissions fins el 2010*
- ✓ *No s'autoproveeix totalment amb energies autòctones*

☞ Anàlisi comparativa

- ✓ *Ordenació territorial ⇨ Proposta / Tendència*

☞ La Proposta del PTMB permet reduir el consum energètic, el nivell d'emissions i els costos energètics

Resultats del model aplicat a l'AMB

35

Període	<i>k=1 (P)</i>	<i>k=2 (P)</i>	<i>k=3 (P)</i>	<i>k=4 (P)</i>	<i>k=5 (P)</i>	<i>k=6 (P)</i>	<i>k=6 (T)</i>
<i>Costos (Meuro/any)</i>	3 752,537	3 839,995	3 950,293	3 869,831	3 841,822	3 772,351	3 901,459
Variable (tep)	<i>k=1 (P)</i>	<i>k=2 (P)</i>	<i>k=3 (P)</i>	<i>k=4 (P)</i>	<i>k=5 (P)</i>	<i>k=6 (P)</i>	<i>k=6 (T)</i>
<i>Biomassa</i>	100 000	250 000	425 000	450 000	475 000	500 000	500 000
<i>Hidroelèctrica</i>	250 000	325 000	375 000	400 000	400 000	400 000	400 000
<i>Eòlica</i>	75 000	175 000	200 000	225 000	240 000	250 000	250 000
<i>Solar Fotovolt.</i>	2 000	4 000	6 000	8 000	9 000	10 000	10 000
<i>Solar Tèrmica</i>	14 038	28 304	42 651	44 805	46 218	42 579	40 456
<i>Carbó</i>	129 000	105 000	117 000	100 000	105 000	100 000	95 000
<i>Gas Natural</i>	1 235 178	1 317 437	1 341 812	1 408 488	1 449 364	1 500 071	1 509 039
<i>Petroli</i>	2 700 201	2 765 331	2 820 127	2 883 672	2 940 111	3 000 207	3 500 775
<i>Nuclear</i>	2 009 722	1 918 192	1 906 022	1 802 743	1 767 250	1 703 636	1 690 495
TOTAL	6 502 539	6 888 264	7 233 612	7 322 708	7 431 943	7 506 493	7 995 765

CAPÍTOL 1: PRESENTACIÓ

1.1. A TALL DE JUSTIFICACIÓ

Estem assistint a un certa revolució heurística, en el sentit d'un capgirament en l'ordre "lògic" del conjunt encadenat dels diferents vessants del coneixement. A cada època de la història trobem diferents "lògiques" implícites en la preeminència que s'hi dona a les diferents branques del saber. Aspectes culturals de cada moment hi tenen a veure, en especial el grau de desenvolupament o evolució de cadascuna d'aquestes branques amb "velocitats" o dinàmiques variades i irregulars al llarg del temps. A més, en aquest procés s'hi sobreposa l'aparició i emergència de noves categories, i la seva subdivisió continuada.

Nomès per referir-nos als temps més recents, el fenomen de la industrialització ha aportat un predomini de les ciències econòmiques al cap d'amunt. Des de les visions marxistes a les més liberals. En general, des de la política, avui encara es veu majoritàriament així, i així es reflecteix de forma absolutament generalitzada en les estructures organitzatives de l'Administració Pública, amb una prevalença dels corresponents departaments competents en l'àmbit de l'economia i les finances, que assumeixen així el màxim grau de transversalitat per la seva incidència sobre pràcticament tots els altres.

El medi ambient pretén, hi ho està aconseguint -més depressa en els governs locals-, fer-se amb aquest atribut de màxima transversalitat i passar al davant. És així que es comença a introduir una nova configuració del terreny de joc polític: donant per superats els extremismes ideològics marxistes i feixistes, on els patrons d'organització social autoregulada -o condicions democràtiques- no podien sino quedar enmascarats, en ambdós cassos, per les pretensions totalitàries, en el nostre entorn socio-econòmic, la dialèctica esquerres (socialdemocràcia) vs. dretes (liberalisme capitalista), amb la lluita de classes o l'alienació de les classes treballadores pel capital, suposadament compensada pel protagonisme d'un sector públic socialment avançat, comença a virar vers una dialèctica ambientalisme/ sostenibilisme vs. el liberalisme del capital multinacional i de la competitivitat radical (Folch, R., 1999).

L'emergència d'aquesta nova situació posa clarament en entredit idees tan consolidades com la utilització del PIB (creixement econòmic), com indicador únic del desenvolupament social en un territori determinat. Cal admetre que el concepte de "qualitat de vida" està esdevenint més i més complex, més ric en matisos i ajustat. Una definició precisa del creixement sostenible, que tingui en compte una internalització dels factors ambientals, vorejant el simplisme del creixement econòmic "a qualsevol preu", és quelcom que comença a gaudir d'un suport per part de capes socials cada vegada més àmplies a les regions desenvolupades del planeta, així com a informar els criteris estratègics institucionals que actuen sobre els països en vies de desenvolupament (Racionero. Ll., 1983).

Tanmateix, en aquesta nova polarització hi trobem un tret radicalment diferent: una major potencialitat d'interrelació entre els dos costats, degut a un control democràtic suficientment efectiu. La concreció progressiva de la *open society* enunciada per Karl Popper, ho permet allà on pot considerar-se que s'ha assolit un grau irreversible de consolidació, on els patrons de vida (d'organització social) occidental, tot i les seves imperfeccions i insuficiències, es troben en expansió i poden versemblantment acabar configurant en algunes dècades un únic sistema socioeconòmic global –de nivell mundial-, indiscutit per indiscutible, autorregulat sota condicions democràtiques.

Això, malgrat que la confusió conceptual sigui encara enorme pel creuament, ben sovint, d'idees o ideologies poc definides o amb contorns imprecisos. Seria el cas, per exemple, del conservacionisme radical, autoproclamat com “el nou progressisme”, però que pot ser interpretat també –questió de matisos- com un consevadurisme immobilista, o la mateixa noció de progrés a l'ús, que resulta, en aquest context, força ambivalent. Per tant, parlar de “capgirament” –tot pensant encara en un cert “arbre” del coneixement- no deixa de ser una notable simplificació; cada vegada sembla més pertinent parlar de “matriu” del coneixement, on els elements científics i culturals es barregen i s'influeixen tots a tots, sense un predomini clar de cap d'ells (interdependència creuada de causes i efectes).

No és qüestió tanmateix de ficar en el mateix sac els avenços tecnològics en les telecomunicacions i la informàtica, -relatius a la informació i el coneixement, i la seva difusió general-, pel fet que no lluiten en el mateix camp; la seva importància és cabdal però de caràcter instrumental i, en aquest cas i en aquest moment històric, sí que resulta avinent dir que “són causa inèdita de nombrosos i variats efectes”.

En aquesta tesi es pretén fer una aportació en el sentit de justificar un pas més en l'esmentada revolució heurística, postulant que l'ordenació del territori constitueix un camp científic i experimental amb una transversalitat emergent. Ni molt menys l'únic, amb la pretensió d'imposar-se a l'economia o el medi ambient, però si prou significatiu i amb capacitat d'aportar solucions a la societat. La idoneïtat del territori com a referent i receptacle, limitat i sensible, de tota activitat natural o artificial i de les respectives conseqüències que s'hi projecten, fa que l'optimització del medi ambient es vegi mancada de sentit (desubicació dels seus continguts) si no es refereix a un territori determinat, amb els seus condicionants característics. Els atributs ambientals o naturals i la noció de qualitat de vida es refereixen tant a les persones com al marc geogràfic on desenvolupen la seva activitat. El procés d'urbanització en escenaris d'elevada complexitat, com són les àrees metropolitanes dels països desenvolupats, constitueix un substracte ben apropiat per a l'anàlisi de la sostenibilitat ambiental.

Per altra banda, la polarització esquerres/dretes derivada de la industrialització i que ha vingut dominant l'escenari polític al llarg de més d'un segle, està també relacionada amb la paral·lela

culminació del paradigma científic, de tall determinista i estructural, que té les seves arrels en la mecànica clàssica newtoniana que, no per casualitat, va servir de justificació als teòrics del materialisme històric en les seves anàlisis socio-econòmiques del procés d'industrialització, incloses les corresponents formulacions filosòfiques que s'en derivaren. Avui aquell robust paradigma és posat en qüestió des de vessants científics com la física quàntica, la termodinàmica o dinàmica de processos irreversibles, la biologia o el conjunt d'elements teòrics que configuren l'anomenada ciència del caos.

Recolzant-se ben sovint en la instrumentació aportada per la Teoria General de Sistemes, es configura com alternativa un nou paradigma científic, de tall indeterminista i processual, on adquireixen protagonisme nocions com entropia, probabilitat, indeterminació, irreversibilitat, inestabilitat, evolució, morfogènesi, autoorganització, autopoiesi, sensibilitat a les condicions inicials, resonància, acoblament, sinèrgia, interacció no-lineal, retroalimentació, ...

Reconeixem el canvi de paradigma en el progressiu decantament de l'accent del primer al segon component en els següents parells: permanència /canvi, arbre /matriu, ordre /caos, matèria /energia, estàtic /dinàmic, àmbit o zona /xarxa, simetria /assimetria, equilibri /desequilibri, reversible /irreversible, element /interacció, partícula /fluxe, dependència /correlació, estabilitat /inestabilitat, llei /autoregulació, independència /interdependència, estructura /conjuntura, disseny /funcionalitat, dictat /autoorganització, jerarquia /consens o compromís, què /com, pensar /fer, ésser /esdevenir,...

Apart de situar l'ordenació del territori i el desenvolupament (econòmicament i ambientalment) sostenible en aquestes noves coordenades socio-polítiques i científiques, amb aquesta tesi es pretén obrir un camí de recerca que en sigui conseqüent. S'ha escollit una situació concreta, l'àrea metropolitana de Barcelona (AMB), plantejant-se la qüestió de com mesurar la sostenibilitat del seu procés d'urbanització. Això es fa a la llum de les propostes del Pla Territorial Metropolità de Barcelona –que defineixen, per tant, un escenari horitzó voluntarista-, tot comparant-les amb l'escenari tendencial o inercial de la no-planificació. Tot i donar criteris per a un estudi actualitzat dels diferents vectors de la sostenibilitat, s'ha escollit entre aquests l'anàlisi específica de l'eficiència energètica en aquest àmbit territorial, tot desenvolupant un model matemàtic concret que li pugui ser d'aplicació, tret de la programació lineal. Avanço en això que en el procediment escollit es dona una certa paradoxa que més endavant m'ocuparé de justificar.

No cal dir la importància que en aquest treball ha de tenir la mobilitat de persones i mercaderies -i en conseqüència el transport-, pel pes que té en relació al consum energètic i per la seva "dimensió" genuïnament territorial. Resulta intuïtiu -i en certa manera obvi- que les propostes del PTMB conduirien a una àrea metropolitana **més sostenible** que la d'un escenari *laissez-faire*. L'aportació que es desitja fer consisteix en trobar mitjans objectius per determinar **quant més sostenible** és l'escenari voluntarista que les esmentades propostes determinen. Es tracta d'optimitzar una funció objectiu (despesa energètica entre set tipus d'energies renovables i no

renovables), subjecta a un seguit de restriccions funcionals de sostenibilitat, donades pels requisits normatius, els compromisos internacionals i una sèrie d'elements prospectius sobre els condicionants tecnològics de tota mena que intervenen (millora de processos, viabilitat i capacitat d'assimilació de les energies alternatives,.....).

1.2. OBJECTIUS

Es tracta d'obrir noves vies de recerca que permetin objectivar científicament la relació entre ordenació del territori i el concepte de sostenibilitat, des d'una perspectiva integral i interactiva que englobi:

- les diferents visions sectorials que incideixen sobre el territori en el procés d'urbanització (habitatge, activitats industrials, comerç, lleure, sanitat, xarxes d'abastament, infraestructures del transport,...)
- els requeriments de conservació i millora del medi ambient, en els seus diferents vessants (energia, aigua, recursos naturals, residus, qualitat atmosfèrica, biomassa, diversitat biològica, qualitat urbana, paisatge, ...)
- el paper que hi estan cridats a jugar la informació i els instruments de suport, fornits per les telecomunicacions i la informàtica
- l'acció de l'administració i el control democràtic per part de la ciutadania

Es pretén donar una visió articulada d'un bloc instrumental suficientment complet, capaç d'afrontar analíticament el conjunt de fenòmens complexos que formen o haurien de formar part de la planificació i del procés de presa de decisions per part dels responsables polítics en matèria d'urbanisme, infraestructures i medi ambient, amb les corresponents implicacions socials i econòmico-financeres, en un context global de sostenibilitat.

Aquesta articulació s'està buscant en els instruments matemàtics propis de diversos camps científics, detectant les possibles aplicacions en el terreny delimitat. L'Ecologia, la Termodinàmica, la Biologia, així com el conjunt d'àmbits del coneixement que configuren l'anomenada teoria o ciència del Caos, poden versemblantment aportar, com la tesi proposada tracta de justificar, aquest instrumental analític, recolzant en la Teoria General de Sistemes com a estructura formal que els pot englobar.

Sense perdre la referència d'una aplicabilitat universal, s'ha triat el camí de la verificació i quantificació de la sostenibilitat que pot aportar, en el cas que s'acabi aprovant i es pugui complir, el Pla Territorial Metropolità de Barcelona a l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, en relació a un comportament inercial del procés d'urbanització real en curs.

Amb el referent d'aquesta visió de conjunt articulada, s'ha triat anar més enllà en el cas d'un vector concret del concepte de sostenibilitat, concretament el cas de l'energia, determinant un model matemàtic que permeti una anàlisi quantitativa dels efectes de l'adopció d'una planificació territorial, en particular, sobre el consum energètic dins l'àmbit considerat.

1.3. PLANTEJAMENT METODOLÒGIC

Es planteja un treball de recerca per part de qui subscriu en relació al concepte de desenvolupament sostenible, concretament aplicat a les relacions entre eficiència energètica i ordenació del territori. L'anàlisi general que es fa sobre l'"estat de la qüestió" palesa la pertinència d'aprofundir en l'estudi d'aquest vessant.

Cal considerar el territori urbanitzat com un "organisme" complex, format per pobles i ciutats, que consumeix i transforma l'energia. Per tal de subsistir i evolucionar, fa un cert ús d'aquesta energia.

La recerca d'una eficiència energètica sobre el territori és un objectiu social general, independent i previ –que es planteja, en tot cas, en una escala més àmplia- a l'eficiència que pugui derivar-se d'un disseny arquitectònic i de les instal·lacions de l'edificació o de la millora dels processos industrials, que permetin obtenir-hi bons rendiments. La planificació territorial i urbanística, per altra banda, no necessita pràcticament esperar al desenvolupament de cap tècnica o tecnologia especial. Podriem dir que permet aportar una eficiència de caràcter estructural. Només cal que socialment s'assumeixi fer-ho d'una determinada manera, la qual cosa es materialitza mitjançant la tramitació administrativa del corresponent figura de planejament i la seva ulterior vigència i compliment.

Això té a veure amb **com urbanitzem** (quina distribució de la població, l'activitat industrial, el comerç, el lleure,.. es promou des dels plans urbanístics que s'aproven) i amb **el model desitjable de mobilitat de persones i mercaderies** (quines infraestructures prioritzem i com les fem: ferrocarril, vehicle privat, com movem les mercaderies, millora d'intercanviadors, plantejament logístic del transport,...).

Tot plegat, sotmès a un imperatiu democràtic; és a dir, en un context d'equilibri iniciativa pública/llibertat individual. No estem en una economia planificada: es pot tractar d'induir un canvi cultural pero no imposar-lo. No podem passar per alt l'existència d'hàbits de mobilitat, relacionats amb la fixació de residència, el món del treball, el comerç o el lleure, avui socialment assumits, que els processos de globalització o les noves fórmules d'organització familiar plantejen. A propòsit d'això –i valgui com a mostra del que estem tractant-, polítiques públiques de dinamització dels centres tradicionals, que fomentin fins allà on sigui possible la barreja d'usos ben diferents, poden fer recuperar el seu atractiu i eficiència urbana, tot compensant tendències més o menys "espontànies", fins cert punt inevitables.

CAPÍTOL 2: INTRODUCCIÓ AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE

2.1. NAIXEMENT DEL CONCEPTE

2.1.1. Antecedents recents

Ja en el segle passat, l'interès per la conservació va anar convergint en la configuració d'una nova ciència, l'Ecologia. Malgrat que, quan al 1944 es va portar a terme la conferència de Bretton Woods per establir el sistema financer i monetari en la postguerra i, un any més tard, quan es va donar el primer pas per fundar el que més endavant seria l'Organització de les Nacions Unides (ONU), en l'agenda política internacional no es va incloure el tema del medi ambient. Actualment les Nacions Unides és l'organisme públic més actiu a favor de la preservació ambiental.

En els anys seixanta, un número considerable i cada vegada més creixent d'autors en les àrees de l'Economia i la planificació del desenvolupament, van treballar tractant d'harmonitzar els conceptes de creixement econòmic i equilibri ecològic, i amb aquesta finalitat van anar afegint certs "adjectius" als termes de creixement i desenvolupament.

A principis dels anys setanta els experts de la ONU encunyaren el terme ecodesenvolupament, el qual va començar a utilitzar-se en les convencions internacionals, cada vegada més freqüents, sobre medi ambient i desenvolupament. En última instància aquest terme seria substituït pel concepte de desenvolupament sostenible que podia ser acceptat més universalment, potser per la seva similitud i possibilitats de generalització, a partir de la noció de desenvolupament sostingut que era ja habitual en l'àmbit de l'Economia.

Possiblement la primera vegada que es va utilitzar l'expressió desenvolupament sostenible en una publicació va ser en el document "World Conservation Strategy", que tractava de l'aprofitament sostenible dels recursos. Al 1983 la Comissió Mundial del Medi Ambient i Desenvolupament de les Nacions Unides, va tenir constància d'aquest document i al 1987 aquesta comissió va fer un informe sobre els treballs que li havia encomanat la Assemblea General, al que convencionalment se l'ha anomenat "Informe Brundtland", que va convertir el desenvolupament sostenible en un instrument conceptual per tractar de compatibilitzar el medi ambient i els propòsits de desenvolupament, conferint, de passada, una inusitada celebritat en aquest terme.

Avui en dia, el concepte de "desenvolupament sostenible" aplicat a les formes d'organització social, pot entendre's en un sentit força semblant a l'emprat a l'Ecologia i als processos irreversibles amb evolució autoregulada de la Biologia termodinàmicament interpretada, tot recolzant en els formalismes de la Teoria General de Sistemes, quan ens ajuden a analitzar els patrons més essencials de la cultura humana o el mateix comportament de les espècies animals, molt abans de l'aparició de l'home sobre la terra -quan, per exemple, els herbívors i els rapaços ja es nodrien

sense sobre-explotar els territoris dels quals depenia la seva subsistència-, tot i que les diferents espècies lluitaven les unes amb les altres en el procés evolutiu i configurant les cadenes tròfiques.

2.1.2. Desenvolupament del terme

2.1.2.1. L'informe Brundtland

A finals del 1983 l'Assamblea General de les Nacions Unides va decidir crear una comissió especial independent, perquè elaborés un programa global per al canvi. El Secretari General de la ONU va demanar a una defensora del Medi Ambient i dels drets de la dona, la Primer Ministre de Noruega, la Dra. Gro Harlem Brundtland, que formés i presidís la comissió que s'anomenaria "World Commission on Environment and Development" (WCED).

Després de tres anys de treball, la Comissió conformada per membres de 21 països, va concloure que la transició a formes sostenibles de desenvolupament era possible i es va publicar, al 1987, el corresponent informe denominat "Our Common Future", més conegut per Informe Brundtland.

La Comissió se'n va adonar des del principi de les seves reunions que, la problemàtica ambiental no podia aïllar-se d'altres problemes, tals com la pobresa i la desintegració social, i va estimar que un desenvolupament sostenible podria minimitzar el risc d'exacerbació dels problemes existents, afirmant en una definició que s'ha fet mundialment coneguda, que està a les mans de la humanitat propiciar "la satisfacció de les necessitats de la present generació sense comprometre la capacitat de les futures generacions per satisfer les seves".

L'informe va plantejar el concepte de desenvolupament sostenible com un objectiu global que integra els aspectes institucional, econòmic, social i ambiental, considerant-lo com un procés de canvi continu en lloc d'un estat fix d'harmonia, en el qual la utilització dels recursos, la orientació de l'evolució tecnològica i la modificació de les Institucions concorden amb el potencial actual i futur de les necessitats humanes.

En síntesi, l'Informe Brundtland està constituït per tres parts amb els seus corresponents capítols. Per plantejar la proposta en un marc analític es refereix a les preocupacions, les tasques i els esforços comuns que han de realitzar-se.

En la **primera part** s'exposa el futur amenaçat, el desenvolupament sostenible pròpiament dit i el paper de l'economia internacional.

La **segona part** analitza les tasques comunes a realitzar pel que fa a població i recursos humans, seguretat alimentària, espècies i ecosistemes, energia, indústria i urbanisme.

La **tercera part** es refereix a l'administració dels espais comuns, pau, seguretat, desenvolupament i medi ambient, i planteja canvis en les institucions, en les lleis, i fa una crida a l'acció.

Finalment la WCED va proposar que a la conclusió i anàlisi de l'Informe els succeïssin varies reunions regionals, fruit de les quals va esdevenir, cinc anys després, la celebració de la Conferència del Medi Ambient i Desenvolupament a Rio de Janeiro, Brasil, ocasió que va marcar l'inici del procés de difusió de la idea de sostenibilitat.

2.1.2.2. La Cimera de la Terra

Així doncs, quan es complien vint anys de la Conferència d'Estocolm sobre el Medi Ambient Humà, que havia donat lloc al Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA), es va celebrar a Rio de Janeiro la Conferència de les Nacions Unides sobre Medi Ambient i Desenvolupament, coneguda com la "Cimera de la Terra" (*"Earth Summit"*), del 3 al 14 de juny de 1992, amb l'assistència de quasi 30.000 persones, entre els quals es trobaven més de 100 Caps d'Estat i de Govern, més de 100 Ministres, així com delegats i assistents de 178 països.

Els temes que es van tractar a la Cimera de la Terra es resumeixen en la "Declaració de Rio", també anomenada la "Carta de la Terra", la qual està integrada per 27 principis que es refereixen fonamentalment a l'entorn natural i al desenvolupament. També van ser signats per més de 150 països els Tractats sobre "Biodiversitat Biològica" i "Canvi Climàtic", es va formalitzar el Programa per al segle XXI, comunament denominat "Agenda 21" i es va crear la "Comissió per al desenvolupament sostenible".

Una característica destacada de la Cimera de Rio, és que el consens va ser obtingut directament pels responsables polítics de màxim nivell al seus respectius països, però amb el suport d'assessors científics i experts tècnics. Aquesta manera de procedir resultava imprescindible, particularment per garantir resultats significatius pel que fa als temes ambientals de caire global o supranacional.

Després de la seva realització s'han constatat importants avenços en termes de consciència social i institucional en els assumptes ambientals i uns nivells acceptables de compliment pel que fa als compromisos establerts. Aquests compromisos es manifesten de diferents formes, tals com la formulació per part d'alguns països de propostes de polítiques estratègiques amb l'enfocament del desenvolupament sostenible, o demostracions concretes per traslladar les polítiques a accions específiques que atenguin necessitats identificades.

2.1.2.3. L'Agenda 21

Bona part de la Cimera de la Terra es va dedicar a discutir els articles que formarien el pla d'acció de Rio, anomenat Programa o Agenda 21, la versió original de la qual és un llibre de 800 pàgines que conté, en forma exhaustiva i detallada, els deures dels governs nacionals per als anys a venir i que constitueix, en definitiva, la base per a una nova aliança global en matèria de medi ambient i desenvolupament fins ben entrat el segle XXI.

En aquest text es destaca a l'ésser humà com centre del desenvolupament sostenible. Totes les polítiques hauran d'anar encaminades a aconseguir aquest objectiu i, així, els punts de l'Agenda 21 s'han de transformar en lleis en els respectius països, per tal que les actuacions locals respectin els interessos globals.

2.1.3. Interpretacions i crítiques

Pel que es desprèn de l'apartat 2.1.1, la preocupació pel medi ambient té els seus orígens en la insostenibilitat del model econòmic actual vers el que ens ha conduït la cultura de la industrialització a qualsevol preu.

Ara bé, l'èxit de la nova terminologia apareguda en els últims anys és objecte de controvèrsia quan es vol precisar el seu contingut o la forma de dur-lo a la pràctica degut a la seva generalitat conceptual. "La insatisfacció creixent entre els tècnics i gestors que han originat aquesta situació, està multiplicant últimament les crítiques a la citada ambigüitat conceptual i sol·licitant, cada cop amb més força, la recerca de precisions que facin operatiu el seu ús" (Naredo, J.M., 1995a).

D'aquesta manera, els economistes que podem anomenar "clàssics" proposen un desenvolupament autosostingut, partint de la idea que l'existència evident de límits al creixement, no ha de ser necessàriament incompatible amb el desenvolupament socio-econòmic. Per contra, els economistes "ecològics" entenen la sostenibilitat com un principi que supedita, en tota circumstància, el món de l'economia al físic, propugnant una valoració adequada del capital natural com a qüestió prèvia.

2.1.4. Definicions

L'atenció desvetllada per la Conferència de Rio en relació en aquestes matèries, es ve traduint en diferents definicions del concepte de "desenvolupament sostenible", adoptades segons els tipus d'interès individual o general que implícitament concorren.

2.1.4.1. Visions generals

Riechman, destaca el desenvolupament sostenible com “un procés socio-polític i econòmic, l'objectiu del qual és la satisfacció de les necessitats i aspiracions humanes tenint en compte dos factors:

- l'ecològic, degut a l'existència de límits insuperables en una biosfera finita.
- morals, degut a que les generacions futures han de satisfer les seves pròpies necessitats” (Ripa i Verdú, 1995).

D'altra banda, l'Institut Internacional per al Medi Ambient i el Desenvolupament entén el desenvolupament sostenible com “la meta d'una qualitat de vida que ha de poder ser mantinguda per moltes generacions tenint en compte les següents condicions:

- **és socialment desitjable**, doncs pretén satisfer les necessitats culturals, materials i espirituals de les persones de forma equitativa.
- **és econòmicament viable**, degut a la possibilitat d'autofinançament per quant els costos no excedeixen els ingressos.
- **és ecològicament sostenible**, degut a que s'hi presuposa el manteniment dels ecosistemes a llarg termini.” (Ripa i Verdú, 1995).

Marina Alberti i Lawrence Susskind plantejen quatre proposicions generals relatives a la sostenibilitat:

“1. La sostenibilitat requereix invenció, no solament descobriment. No existeixen regles universals que puguin ser aplicades en tots els contextos i en tots els moments. Per tant, la sostenibilitat necessita ser reinventada contínuament.

2. La sostenibilitat és una oportunitat més que no pas una restricció. Solament quan des de totes les posicions polítiques es reconeixin els beneficis comuns d'atendre les necessitats i aspiracions de tothom, es generarà la capacitat per mantenir el capital natural durant el llarg termini.

3. La sostenibilitat és un procés, no un resultat. Per tant, no és un estat fixat d'harmonia, sinó més aviat un procés de canvi, on l'explotació dels recursos naturals, la direcció de les inversions, l'orientació del desenvolupament tecnològic i els canvis institucionals, són fets que miren a les necessitats actuals i futures.

4. La sostenibilitat implica una consciència pròpia d'elecció; això no succeeix de forma automàtica, ja que el desenvolupament sostenible requereix un lideratge. Els governs locals i nacionals, juntament amb el sector privat i les organitzacions no governamentals, necessiten treballar junts per assolir un sistema de responsabilitats globals satisfactori.” (Alberti i Susskind, 1996)

2.1.4.2. Visions des de l'economia

Les interpretacions exposades en l'apartat anterior, vistes des de la perspectiva del sistema econòmic, mostren dos camins oposats que poden definir-se formalment.

És vital una gestió adequada des de l'economia per tal d'aconseguir la fita d'un desenvolupament sostenible. Podem destacar dues tendències força contraposades: la dels economistes "neoclàssics" i la dels economistes "ecològics". La sostenibilitat, així, pot interpretar-se de dos formes: la "sostenibilitat dèbil" i la "sostenibilitat forta". (Daly i Cobb)

La definició de la primera manté que "la nostra obligació enfront la sostenibilitat és comportar-nos de manera que les generacions futures tinguin l'opció o la capacitat de viure tant bé com nosaltres"; és la definició del economistes neoclàssics.

La definició de la segona, d'acord lògicament amb una filosofia contrària a l'economia de mercat neoclàssica, pròpia dels anomenats "economistes ecològics", proposa "la internalització dels paràmetres de sostenibilitat dins del desenvolupament econòmic" (Carpenter,S.,1995).

La "sostenibilitat dèbil" encaixa en "un marc on predomina una visió tecnocèntrica i poc conservadora, on s'aposta per una gestió racional dels recursos naturals i per una determinada substitució del capital total en el temps amb criteris d'igualtat intergeneracional" (Jiménez, L.M., 1996).

Els economistes neoclàssics "entenen el capital monetari, el treball i els recursos naturals com elements intercanviables del capital... No hi ha cap separació conceptual entre "capital natural" i el capital generat pels humans" (Carpenter,S., 1995).

A l'altre extrem tenim la "sostenibilitat forta", que "encaixa en una visió predominantment ecocèntrica i conservacionista on el subsistema econòmic es troba limitat per l'ecosistema global i on el manteniment del 'capital natural' és imprescindible i insubstituïble pel "capital artificial" (Jiménez,L.M.,1996).

2.1.4.3. Visions des de l'ecologia

No es pot deixar de banda que el concepte de desenvolupament sostenible prové de l'Ecologia: "respecte per la capacitat de càrrega, gràcies a la qual el màxim de la població pot ser mantingut de manera indefinida, sense que es produeixi una degradació en la base dels recursos que pugui significar una reducció de la població en un futur" (Ripa i Verdú, 1995).

Segons això, tot procés de decisió en la economia ecològica començaria "combinant els elements de mercat neoclàssic amb restriccions polítiques correctores d'un mercat sense obstacles, tenint en consideració una informació ecològica sobre la salut i la resistència del ecosistema"... Una segona fase comportaria "una negociació social entre els sectors públic i privat, entre els ciutadans i els consumidors, entre els processos i les estructures polítiques i de mercat" (Carpenter,S., 1995).

Un dels problemes que destaquen els ecologistes en els seus plantejaments se centra en el sistema jurídic actual. Pretenen superar la lògica convencional pròpia de la societat industrial, introduint les exigències de l'ecologia en el sistema jurídic.

Per tant, tracten d'internalitzar els principis de sostenibilitat ecològics dins de la teoria del dret. Segons Parejo, citant Bosselmann, aquests principis descansen en els següents postulats (Rueda, S., 1995a):

1. L'ordre jurídic ha de realitzar i fer efectius, per igual, els drets humans i els drets de la natura (no són "idèntics" però sí "equivalents", en el sentit que **s'han de valorar per igual**).
2. En tots els conflictes potencials entre interessos humans i naturals, l'operació de ponderació s'ha de regir pel principi de formació, per part de l'ésser humà i de la natura, d'una unitat dialèctica, no permissiva de cap prevalença dels primers que no descansi en una consideració adequada dels segons.
3. El valor propi de la natura exigeix que l'ésser humà es concebeixi ell mateix com al seu fiduciari i advocat, ja sigui establint estàndars o límits en funció dels elements i les relacions amb els ecosistemes -i no solament aplicant criteris de salut i benestar humans-, ja sigui establint també la preceptivitat de la representació de la natura en tots els procediments de presa de decisió rellevants.
4. El valor propi de la natura requereix coneixement. L'ordenament jurídic, al mateix temps, ha de fer accessible i potenciar el coneixement de les relacions existents en cada sistema ecològic, i la seva connexió amb els demés, incloent l'home en els "ecosistemes socials".
5. Tota decisió sobre l'admissibilitat i legitimitat de plans, projectes i productes s'hauria de guiar pels coneixements científics i tècnics efectivament disponibles i no solament per l'estat general de la ciència. D'això en resulta el deure de considerar opinions científiques minoritàries i tractar d'evitar la recerca vinculada a interessos concrets, poc justificats en base a l'interès general.
6. Dels buits existents en cada moment en el coneixement humà no se'n ha de derivar cap perjudici per a la natura. D'això en resulta que qui –mitjançant plans, projectes i productes- generi riscos li correspongui la càrrega de la prova que aquests riscos són assimilables en relació al criteri estimatiu derivat del valor propi de la natura.
7. Ateses les restriccions i lesions que ha sofert i continua sofrint la natura, cal procedir a un inventari que permeti definir les mesures d'urgència i excepció, l'adopció de les quals resulta indispensable per recuperar la capacitat de regeneració d'ecosistemes concrets i de la natura en el seu conjunt.

2.1.4.4. Visions des de la termodinàmica

A la termodinàmica, l'entropia i la complexitat juguen un paper central en la descripció de l'evolució dels sistemes.

Durant el segle XIX, la segona llei de la termodinàmica va proposar l'entropia com mesura quantitativa de la tendència dels sistemes aïllats cap al denominat equilibri termodinàmic, estat on es produeix la "mort" del sistema. També s'introdueix la irreversibilitat dels processos en el temps. D'aquesta manera, l'entropia d'un sistema aïllat tendeix sempre a créixer, a augmentar el desordre intern.

Ja en el present segle, Schrödinger i més tard Prigogine feren palès que la segona llei era solament adequada per als sistemes aïllats, o sigui, els que no intercanvien energia ni matèria amb l'exterior. Per a sistemes oberts, com ho són els ecosistemes, l'entropia al seu interior pot disminuir, amb la condició de que la del seu entorn augmenti.

Ens referim als estats estacionaris apartats de l'equilibri, que per mantenir-se precisen aportos continus d'energia. Això no contradiu la segona llei, doncs, l'entropia segueix sent positiva: l'entropia d'intercanvi entre el sistema i l'exterior és sempre major que l'entropia que es perd a l'interior del sistema (entropia negativa).

Segons Prigogine, l'exportació d'entropia fora del sistema està relacionada amb els processos d'autoorganització interior, quedant tot englobat en el concepte de "sistemes dissipatius".

Dins de la teoria dels sistemes dissipatius (peça clau dins la ciència del caos) existeixen dos enfocaments bàsics generals.

Segons el primer enfocament, el caos es considera com precursor de l'ordre. La qüestió central és aleshores, l'aparició espontània de fenòmens autoorganitzatius que sorgeixen d'estructures dissipatives en sistemes lluny de l'equilibri, quan la producció d'entropia és elevada.

El segon enfocament destaca l'ordre ocult que existeix dins dels sistemes caòtics. Es pot demostrar que aquests contenen estructures profundament codificades, anomenades "atractors estranys". En aquesta visió destaca l'ordenat descens cap el caos, més que les estructures organitzades que sorgeixen d'ell.

"Segons el primer enfocament, una gran producció d'entropia dona com a resultat l'aparició d'estructures macroscòpiques on abans no existia res. En l'anàlisi dels atractors estranys, es considera que la forma està codificada dins de la informació que el sistema produeix, tot i que aquestes pautes no desemboquen necessàriament en estructures estables i autoduplicades". (Rueda, S., 1995a)

Les dos visions exposades comparteixen el criteri de no linealitat. Les funcions no lineals impliquen un alt grau d'incongruència entre causa i efecte, degut a que una causa petita pot donar origen a un efecte gran.

Segons la teoria dels sistemes dissipatius, els sistemes complexos no lineals es caracteritzen, entre altres aspectes per:

1. Estudiar les configuracions que els permeten traslladar ràpidament petites situacions d'indeterminació al nivell macroscòpic.
2. En consonància amb el punt anterior, gaudir d'una alta sensibilitat a les condicions inicials.
3. Disposar de mecanismes de realimentació on les emissions configuren noves variables d'inmissió.
4. La importància dels conceptes d'escala i de simetria.

Segons aquest punt de vista, tant en biologia com en sociologia l'entropia està connectada directament amb les nocions d'ordre i estructura. "El paradigma de l'autoorganització mostra com l'evolució dels sistemes dinàmics pot ser explicada científicament sense contradir l'existència de les lleis de l'entropia" (Fleissner i Hofkirchner, 1995)

Introduïdes les idees elementals, podem assentar les bases on es fonamenta la sostenibilitat de les estructures complexes des de l'òptica dels sistemes estacionaris. La manera d'acostar-se al màxim a les situacions més estables dels equilibris dinàmics és minimitzant la producció d'entropia (García, J., 1995). Amb aquesta disminució entròpica, l'entorn tindrà més facilitat de regeneració, ja que té una capacitat limitada d'absorció denominada capacitat de càrrega.

Segons Prigogine, sota certes condicions, la producció d'entropia en els estats estacionaris es mínima, per tant, aquests es poden presentar com models socioeconòmics adients en la línia d'assolir els criteris de sostenibilitat, procés que queda plantejat així, com una lluita contra l'entropia.

2.2. MODELS DE SOSTENIBILITAT

Després de definir el desenvolupament sostenible des de diversos punts de vista, és necessari plasmar aquestes idees en uns models teòrics que puguin ser aplicats a la pràctica.

Els models que apareixen a continuació responen als criteris descrits en els apartats anteriors i pretenen aportar el rigor necessari per configurar noves polítiques ambientalment condicionades a desenvolupar en els països del nostre entorn socio-econòmic.

2.2.1. Models Humanitzats i Models Naturalitzats.

Davant l'aparició del concepte de desenvolupament sostenible, neixen una sèrie de corrents crítiques basades en plantejaments econòmics i polítics alternatius i/o amb reivindicacions ecologistes, socials, humanistes... que porten a diferents models de sostenibilitat. A grans trets, es poden distingir les versions "humanístiques" i les versions "científiques" com dos dels corrents crítics més importants que donen lloc a "models humanitzats" i "models naturalitzats" respectivament.

Els *models de desenvolupament humanitzats* recorren a l'aval dels valors humans i l'autoritat de la ètica teòrica (més o menys tradicional o actualitzada, com seria el cas de ètica ambiental). Proposen, com a sortida dels problemes plantejats pel desenvolupament actual, una regulació ètica conforme a normes i principis d'ordre filosòfic amb pretensió d'universalitat. Per tant, els models humanitzats de desenvolupament, se centren, d'una manera quasi exclusiva en els "agents humans" i insisteixen en una conscienciació conforme a determinades interpretacions i cosmovisions, i en el consegüent seguiment de principis i normes ètiques.

"Aquest tipus de model no compta amb els 'agents materials' del desenvolupament. Pràcticament no es compten ni els artefactes tècnics ni els entorns materials i ambientals produïts per una determinada cultura quan, de fet, són els que fan de mitjancers i estableixen interactivament la cultura. A més, es notable el protagonisme que, d'una forma més o menys explícita, s'atribueixen a ells mateixos els experts en 'humanitats' a l'hora de portar a la pràctica l'esmentat tipus de model" (Medina, M., 1997).

Per la seva part, el tipus de *model naturalitzat* prové de les versions científiques elaborades en cercles acadèmics del camp de l'economia i de l'ecologia. Són precisament, en aquest cas, les teories científiques, i en darrer terme les ciències naturals, les que avalen aquests models. Podem parlar, doncs, d'un model de desenvolupament que pretén conceptualitzar teories econòmiques o socials, a partir de lleis científiques provinents de la Termodinàmica, la Química, la Biologia, ... tot donant en aquestes disciplines el valor de "ciències de la natura".

Un cop acceptats els supòsits anteriors, la tasca de configurar un desenvolupament sostenible correspondria, fonamentalment, als experts amb competència científica en les disciplines ecològiques científiques. Aquests es poden dividir entre ecòlegs científics i ecòlegs humanístics. Ocasionalment, els primers es refereixen als segons, amb un cert menyspreu titllant-los com a "ecologistes". L'Ecologia és una **ciència**, mentre l'Ecologisme és un terme general que es refereix a **moviments** socials que responen a preocupacions, intensitats i orígens diversos, que sovint comporten interessos contraposats.

Per tant, i en conclusió, amb el model naturalitzat, es pretén derivar, més o menys explícitament, la legitimitat d'una política de regulació ecocràtica del desenvolupament a partir de l'ecologia i de l'economia basades en fonaments teòrics de la física, la termodinàmica, la química o la biologia.

DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE	
VERSIÓ CIENTÍFICA	VERSIÓ HUMANISTA
BASADA EN LLEIS CIENTÍFIQUES DE LA NATURALESA ↓ COM PRINCIPIS UNIVERSALS DE NECESSITAT CIENTÍFICA	BASADA EN VALORES HUMANS I EN INTERPRETACIONS NORMATIVES ↓ COM PRINCIPIS UNIVERSALS DE NECESSITAT FILOSÒFICA
RECORRE A L'AUTORITAT DE LA CIÈNCIA	RECORRE A L'AUTORITAT DE LA ÈTICA TEÒRICA
PROPUGNA LA REGULACIÓ CIENTÍFICA	PROPUGNA LA REGULACIÓ ÈTICA
MODEL NATURALITZAT	MODEL HUMANITZAT
MODELS DE SOSTENIBILITAT	

2.2.2. Model basat en l'economia ecològica

Quan es parla d'economia ecològica es presenta d'immediat la qüestió dels límits de creixement. L'enfocament amb el que Herman Daly afronta la qüestió passa per la distinció entre desenvolupament i creixement: "Créixer significa 'augmentar naturalment de grandària amb l'addició de material per mitjà de l'assimilació o l'augment'. Desenvolupar significa 'expandir o realitzar les potencialitats; arribar gradualment a un estat més complet, major o millor'. Quan quelcom creix es fa més gran. Quan quelcom es desenvolupa es fa diferent. L'ecosistema terrestre es desenvolupa (evoluciona), però no creix. El seu subsistema, l'economia, ha de finalment deixar de créixer, però pot seguir desenvolupant-se. El terme 'desenvolupament sostenible' té, per tant, sentit per l'economia, però només si s'entén com 'desenvolupament sense creixement': es a dir, la millora qualitativa d'una base econòmica física que es mantingui en un estat físic mitjançant un

rendiment de la matèria-energia que està dins de la capacitat regeneradora i assimilativa de ecosistema. Actualment, el terme 'desenvolupament sostenible' s'utilitza com a sinònim del oxymorònic 'creixement sostenible'. I s'ha de salvar d'aquesta perdició." (Daly,H.,1992)

Un cop definida la diferència entre creixement i desenvolupament, Daly assegura que no es pot créixer de manera sostenible malgrat es prenguin mesures ecològiques per minimitzar l'impacte immediat del creixement, reforçant la idea anterior del límit de creixement: "Ni tant sols un 'creixement verd' és sostenible. Hi ha un límit pel que fa a la població d'arbres que pot suportar la terra, com hi ha un límit a la població d'éssers humans i d'automòbils. Enganyar-nos a nosaltres mateixos creient que el creixement segueix sent possible i desitjable tant si ho etiquetem com 'sostenible' o l'acolorim com a 'verd' tant sols retardarà la transició inevitable, i la farà més dolorosa". (Daly,H.,1992)

Malgrat que l'impossibilitat de seguir creixent pugui semblar un obstacle al progrés i a la possibilitat d'enriquiment, Daly explica que creixement i augment de riquesa no tenen per què ser sinònims: "A la ment de moltes persones, el creixement s'ha convertit en sinònim d'augment de riquesa. Diuen que hem de créixer per ser prou rics per a permetre'ns el cost de netejar i curar la pobresa. Que tots els problemes són més fàcils de resoldre si som més rics és quelcom que no es discuteix. La qüestió és si el creixement econòmic en els termes que avui es pot plantejar, realment ens fa més rics. Hi ha proves de que als Estats Units cada vegada hi ha més pobres, doncs els costos incrementen més ràpidament que els beneficis. Dit d'altra forma, sembla ser que hem crescut més enllà de l'escala òptima".(Daly,H.,1992)

Daly defineix l'escala òptima en la que ens hem de mantenir per aconseguir un desenvolupament sostenible. Aquest punt es caracteritza per ser aquell en el que els recursos naturals donen major rendiment a llarg termini. "La nostra intenció no és mantenir intacte el capital a qualsevol nivell, sinó a escala d'un òptim general. En el cas dels recursos renovables (bancs de pesca subjectes a captura, bestió, boscos, etc.), se sap des de fa molt temps que existeix un grau d'estoc que permet obtenir un rendiment màxim per període de temps. Encara en el cas en que aquest màxim biològic només coincideix amb l'òptim econòmic (que maximitza el benefici) en el cas de costos constants de recol·lecció o captura, no sembla que hi hagi cap raó per no atènyer-se al criteri de maximització del benefici optant per nivells que mantinguin intacte el capital natural. La maximització del benefici anual sostenible no és el mateix que la maximització del valor actual descomptant costos i beneficis futurs. El criteri del valor actual és problemàtic des del punt de vista de la sostenibilitat. Aquesta es una qüestió que requereix una recerca de major profunditat". (Daly,H.,1991)

A més, és important entendre que el capital artificial no pot substituir al capital natural sinó que el complementa. "El capital natural, com font de matèries primeres i energia, es complementari del capital creat per l'home. El capital natural, com receptacle dels productes de rebuig es també complementari del capital creat per l'home que genera les deixalles. Un cop s'accepta la

complementarietat del capital natural i del que és obra dels homes, queda clar que el desenvolupament està limitat per aquell que existeix en menor quantitat. En la passada era d' "economia en un món buit" el capital obra dels homes era el factor limitatiu. Actualment estem entrant en una era d' "economia en un món ple", en la que el capital natural serà cada com més el factor limitatiu. El desenvolupament sostenible exigeix que el capital natural sigui mantingut intacte" (Daly,H.,1991).

La millor manera de resumir el model de sostenibilitat que proposa Herman Daly es citar els principis operatius que va establir per aconseguir un desenvolupament sostenible, o sigui les regles per a la conservació del capital natural:

- *Principi de la irreversibilitat zero:*

- "Reduir a zero les intervencions acumulatives i els danys irreversibles."

- *Principi de la recol·lecció sostenible:*

- "Les taxes de recol·lecció dels recursos renovables han de ser iguals a les taxes de regeneració d'aquests recursos."

- *Principi del buidat sostenible:*

- "És quasi-sostenible l'explotació de recursos naturals no renovables, quan la seva taxa de buidat sigui igual a la taxa de creació de substituïts renovables."

- *Principi de l'emissió sostenible:*

- "Les taxes d'emissió de residus han de ser iguals a les capacitats naturals d'assimilació dels ecosistemes receptors d'aquests residus (això implica emissió zero de productes no biodegradables)."

- *Principi de selecció sostenible de tecnologies:*

- "S'han d'afavorir les tecnologies que augmentin la productivitat dels recursos (la quantitat de valor extret per unitat de recurs), en front les tecnologies que incrementin la quantitat extreta de recursos (eficiència en front a creixement)."

- *Principi de precaució:*

- "Davant la magnitud dels riscos als que ens enfrontem, s'imposa una actitud de vigilant anticipació que indentifiqui i descarti d'entrada les vies que podrien portar a desenllaços catastròfics, inclòs quan la probabilitat d'aquests sembli petita i les vies alternatives més difícils o oneroses" (Ripa,I.,1995).

Resulta prou evident que aquest darrer principi es formula pensant molt concretament en la generació d'energia mitjançant plantes nuclears.

Segons Daly “per fer operacional la sostenibilitat s’ha d’aconseguir el manteniment del capital natural, estendre al màxim el fonament de la renovabilitat als recursos no renovables i definir el rendiment sostenible tenint en compte la capacitat d’assimilació o regeneració dels ecosistemes utilitzats. Un ús inadequat o excessiu de medi ambient pot superar els llindars de la sostenibilitat, tant per mancances en les entrades, es a dir, per falta d’energia, com per mancances en les sortides, es a dir, per falta de capacitat d’absorció dels residus i augment del calor residual” (Jimenez,J.L.,1996).

Si s’apliquen els conceptes de “entrades i sortides” dels fluxos de materials i energètics que mouen el sistema econòmic als principis operatius que s’han indicat, se n’obtenen tres més:

- *Entrades: Fonts de recursos renovables.*
“El ritme o taxa d’explotació no pot excedir la taxa de renovació i el seu ús s’ha d’ajustar a la capacitat regenerativa del ecosistema subministrador. Així, per exemple, l’ús sostenible d’un bosc s’aconsegueix amb taxes de tala equivalents a les taxes de renovació dels ecosistemes forestals.”
- *Entrades: Fonts de recursos naturals no renovables.*
“El ritme o taxa d’explotació no hauria d’excedir de la corresponent taxa de creació de subministres renovables alternatius (compensació de l’esgotament amb energies renovables). D’aquesta manera, es podrien utilitzar les fonts energètiques fòssils si part dels rendiments obtinguts amb la seva explotació es destinessin a proporcionar energies renovables substitutives.”
- *Sortides: embornals naturals.*
“El ritme o taxa d’emissió de residus contaminants no pot excedir la capacitat d’assimilació dels ecosistemes naturals (reciclat, absorció o esterilització pel medi ambient), ni tampoc disminuir irreversiblement la capacitat de subministrament de serveis ambientals d’aquests ecosistemes. Per exemple, l’abocament d’aigües residuals ha d’estar regulat per la capacitat assimilativa i regenerativa del medi aquàtic en el que s’aboca (capacitat autodepuradora de rius, llacs, mars).” (Jimenez,J.L.,1996)

2.2.3. Model de l’Agenda 21

A principis dels anys 90, el Comitè Preparatori de la Conferència de Rio va desenvolupar un pla d’acció, l’Agenda 21, amb una relació basada en interessos comuns, necessitats mútues i responsabilitats compartides.

Tots els programes que tracta l'Agenda 21 estan agrupats en 7 temes, on cadascun d'ells representa una dimensió important de l'estratègia general per a una transició global.

El **primer tema** es la *revitalització del creixement sostenible*, mitjançant consideracions ambientals que imposen certes restriccions als models tradicionals de desenvolupament.

Per garantir un model sostenible es necessària “la integració del desenvolupament i el medi ambient en tots els nivells de presa de decisions polítiques i econòmiques. El sistema d'incentius i sancions que motiva el comportament econòmic s'ha de reorientar per que arribi a ser un element fort del model sostenible. Els canvis en els pressupostos nacionals han de reflectir els valors reals del medi ambient i dels recursos naturals” (CNUMAD,1992).

Segons aquest model, introduir els costos ambientals es totalment coherent amb els principis de l'economia de mercat. Considera les forces del mercat com un “estímul poderós per al canvi”. Aquest primer tema també fa referència a les variables demogràfiques com factor clau d'influència sobre el consum i la producció, i repta a tots els països a aplicar polítiques i programes d'acció adequats per desenvolupar taxes de creixement i models de distribució de població degudament ajustats.

El **segon tema** referent a un *Món just*, té com objectius l'erradicació de la pobresa en el món i la consecució de models de consum compatibles amb el medi ambient.

També fa referència a una gestió dels nuclis de població tendent a la millora de la qualitat de vida de les persones a base de millorar la qualitat dels habitatges, així com l'abastament d'aigua, l'energia i el transport. L'Agenda 21 destaca la creixent generació de residus i aigües residuals com un del aspectes motivadors principals de la degradació urbana.

El **tercer tema** fa referència a un *Món habitable* i es centra principalment en el problema dels residus i la contaminació urbana.

Segons l'Agenda 21 “la minimització dels residus generats es troba en el cim de la jerarquia de les prioritats de gestió a escala industrial i municipal; aquestes opcions van des de la reducció de les causes fins al reciclatge, la reutilització i el tractament dels residus no perillosos”. La minimització dels residus implica “la seva eliminació mitjançant canvis tecnològics i organitzatius”.

En aquest apartat també es fa referència a la necessitat d'un canvi en els models de consum cap a nivells més eficaços i formes d'utilització de recursos ambientalment més madures, encara que aquest últim punt es tractat àmpliament en el següent tema.

La *utilització eficient dels recursos* constitueix la base del **quart tema** de l'Agenda 21.

Els programes se centren en la urgència d'invertir els processos de destrucció dels recursos renovables i d'aplicar estratègies per a una utilització sostenible de la terra, l'aigua dolça, els recursos biològics i genètics, la biotecnologia i l'energia. L'objectiu central es, "sota la perspectiva del seu caràcter multisectorial, la internalització de la terra, l'aigua, l'energia i el tractament dels recursos biòtics, en el desenvolupament socioeconòmic..." (CNUMAD, 1992)

En matèria de recursos hídrics, "s'han d'aplicar estratègies que desenvolupin i distribueixin d'una forma flexible i amb sentit d'anticipació, les aigües superficials i subterrànies, tenint en compte les necessitats i oportunitats existents".

El creixement econòmic actual ha estat possible per la disponibilitat d'una energia barata en forma de combustibles fòssils. Per aconseguir la utilització eficient dels recursos es important l'adopció d'un model de producció d'energia i consum que es basi en la eficiència i en sistemes energètics ambientalment nets, especialment els renovables.

Un altre aspecte important es la biodiversitat. La creixent desaparició d'espècies dóna lloc a un preocupant empobriment de la riquesa biològica global del planeta. Això es degut a que els valors econòmics i socials respecte dels recursos biològics s'han subestimat i devaluat.

Segons l'Agenda 21 és essencial la cooperació internacional, ja que "la biodiversitat del món es troba en els països en desenvolupament mentre que la capacitat tecnològica i financera es troba en els països desenvolupats".

Finalment, el quart tema fa referència a les biotecnologies com potencials multiplicadores dels valors derivats del desenvolupament sostenible dels recursos biològics.

El **cinquè tema** fa referència als *recursos globals i regionals*, i inclou programes d'actuació referents a l'atmosfera, els oceans i mars i els recursos marins. Tot això interrelacionat directament amb el clima global.

Els oceans tenen un paper predominant i decisiu en els processos bio-geo-tecnològics del planeta a escala local i global. Els recursos energètics, el clima, els cicles hidrològics i els processos atmosfèrics es veuen influenciats directament per les característiques dels processos oceànics. Els oceans juguen un paper important en la biodiversitat.

Aquest tema també fa referència al territori i en particular a la degradació física i ecològica de les zones costaneres degut a la pressió del seu creixement demogràfic i de l'activitat econòmica.

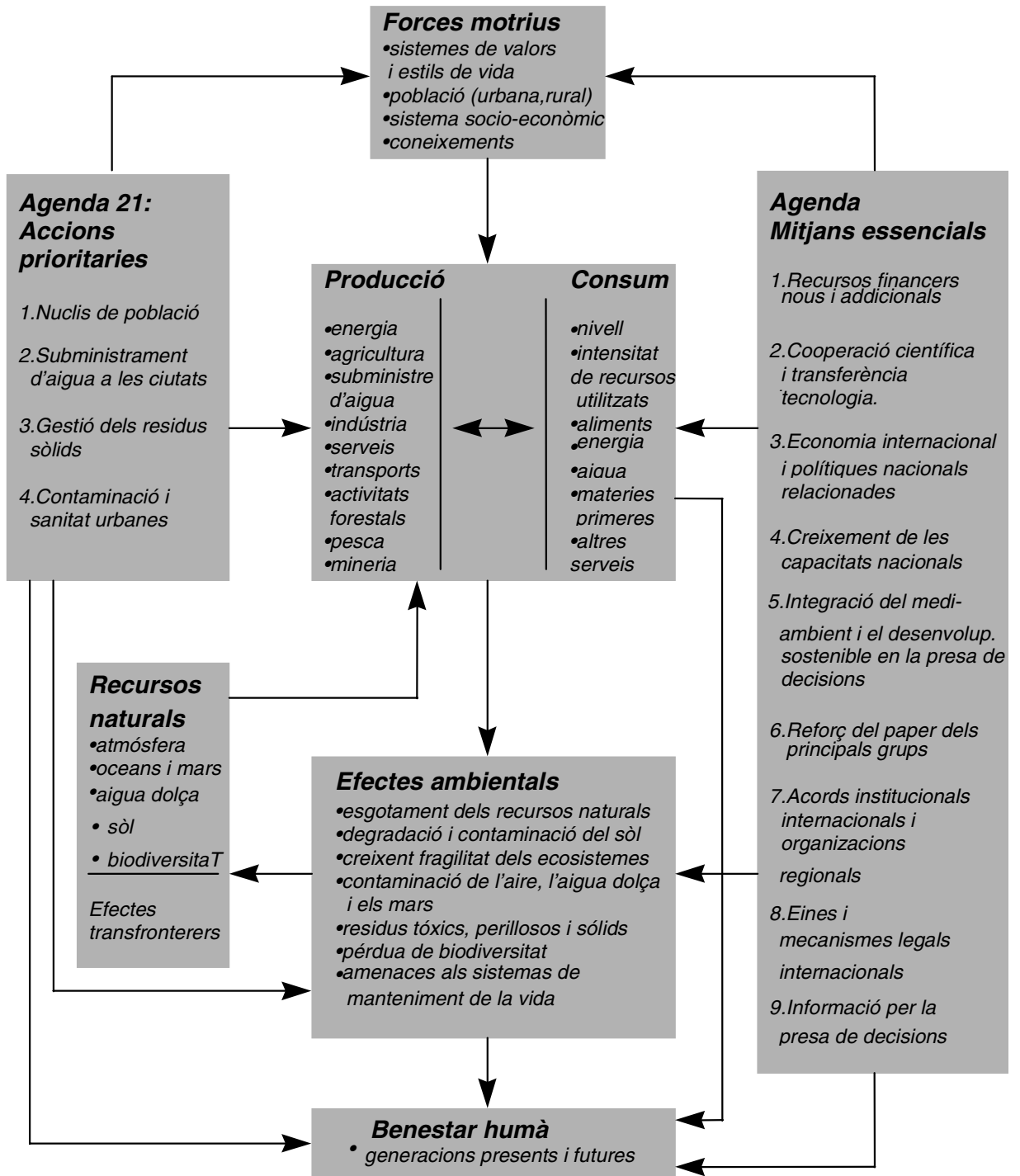
El *tractament dels residus* es un dels pilars del **sisè tema**, però a diferència del tercer tema aquest es centra en els “residus perillosos”, “químics”, i “radioactius”.

Com mesura important en relació als productes químics, es proposa la catalogació exhaustiva de les seves propietats, tot promovent l'adopció de les mesures de precaució adients per al seu tractament, ús i eliminació final.

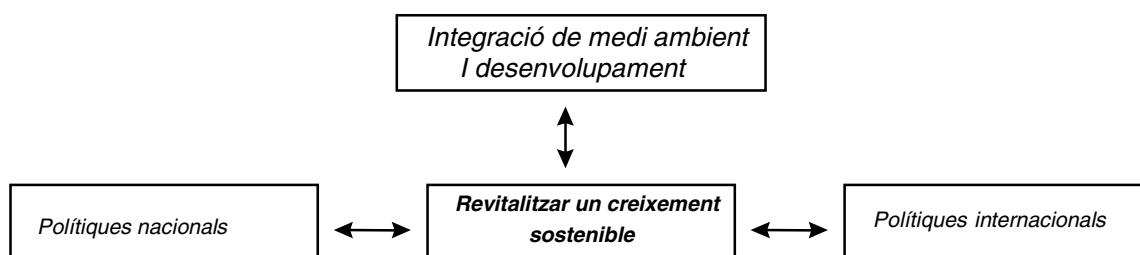
La participació i responsabilitat de les persones constitueix la base del **tema final** de l'Agenda 21: *un Món de les Persones*. Es pretén enfortir el paper de l'educació, la consciència pública i la formació, tot exigint una major transparència en la presa de decisions per part dels governs. D'aquesta manera es vol assegurar la màxima participació i contribució de tots els grups de la societat.

La crida de l'Agenda 21 al desenvolupament sostenible, va avançar paral·lelament al reconeixement de que les amenaces més preocupants al medi sorgeixen de la pròpia activitat de l'home. Partint d'aquest punt, alguns sectors de l'economia, organismes públics i administracions territorials del món s'han compromès a adoptar el concepte de sostenibilitat o han considerat el model per elaborar les seves particulars Agendes 21, aplicables a les activitats inherents als respectius camps d'acció. En el següent punt a tractar es mencionen alguns exemples.

En el següent quadre podem veure, en forma d'esquema, les accions prioritàries i els mitjans essencials d'actuació proposats per l'Agenda 21:



En el següent quadre podem veure les connexions transectorials que s'han de considerar per a la revitalització del creixement sota criteris de sostenibilitat:



Connexions transectorials	
<p>Lluita contra la pobresa: Provisió de mitjans de subsistència sostenibles.</p> <p>Canvis en els models de consum: Estils de vida menys malbaratadors; Nivells de consum sostenibles; Pautes conscients de consum.</p> <p>Dinàmica demogràfica i models demogràfics sostenibles: Reptes globals; Integració de la població i el medi-ambient a nivell nacional i local.</p> <p>Sanitat: Riscos per a la salut derivats de la contaminació; Salut urbana; Necessitats bàsiques; Enfermetats transmissibles; Grups vulnerables.</p> <p>Núclis de població Habitatge; Gestió del sòl i dels núclis de població; Infraestructura ambiental; Energia i transport; Recursos humans i potencial de construcció; Àrees propenses a desastres.</p> <p>Subministre d'aigua a les zones urbanes: Aigua potable; Sanejament; Planificació intersectorial; Seguiment.</p> <p>Gestió de residus sòlids: Minimització de residus; Abocament incontrolat; Expansió de serveis; Reciclatge.</p> <p>Contaminació i sanitat urbanes: Contaminació atmosfèrica; Planificació sanitària municipal; Protecció contra la radiació.</p> <p>Recursos del sòl: Planificació i gestió integrades.</p> <p>Recursos d'aigua dolça: Avaluació, desenvolup. i gestió integrades; Protecció de la qualitat i dels recursos; Aigua potable; Sanejament; Aigua pels regadius.</p> <p>Energia: Desenvolup. i consum d'energia sostenibles; Energia domèstica; Transports; Indústria.</p> <p>Agricultura i desenvolup. rural sostenibles: Polítiques, planificació i programació; Participació dels recursos humans; Utilització del sòl; Conservació i rehabilitació; Aigua dolça; Recursos genètics animals i vegetals; Gestió de plagues; Nutrició vegetal; Energia rural; Ocupació laboral rural; Seguretat d'alimentació.</p>	<p>Desenvol. Forestal sostenible: Utilització múltiple d'arbres, boscos i terres; Avaluació i seguiment; Cooperació internacional i regional.</p> <p>Gestió d'ecosistemes fràgils: Lluita contra la desertització i la sequera: informació i seguiment; Aforestació i reforestació; Mitjans de subsistència alternatius; Programes i plans d'acció contra la desertització; Preparació alleujament de sequeres; Desenvolup. sostenibles de les zones montanyoses: Informació; Desenvolup. integrat de conques</p> <p>Biodiversitat: Informació; beneficis i utilització; Conservació; Mecanismes de gestió.</p> <p>Gestió ambientalment racional de la biotecnologia: Productivitats d'aliments i farratge; Sanitat; Protecció ambiental; Mecanismes de seguretat; Cooperació internacional.</p> <p>Atmosfera: Desenvolup. i consum d'energia sostenibles; Sistemes de transport; Indústria; Agricultura; Esgotament de la capa d'ozó; Estudi de les llacunes existents en el coneixement actual.</p> <p>Oceans i mars: Desenvolup. d'àrees costera; Protecció marina; Recursos vivents; Incerteses i canvi climàtic; Cooperació i coordinació internacionals; Desenvolup. de les illes.</p> <p>Productes químics tòxics: Avaluació de riscos dels productes químics; Classificació i etiquetatge; Informació; Gestió dels riscos.</p> <p>Residus perillosos: producció més neta, minimització dels residus, viabilitat institucional; Cooperació internacional en els moviments transfronterers.</p> <p>Residus radioactius: Acords internacionals per una gestió més segura.</p> <p>Educació, consciència pública i formació.</p> <p>Reforç del paper dels principals grups: Dones; Joves; Persones i comunitats indígenes; Organitzacions no-governamentals; Pagesos; Autoritats locals; Sindicats; Negocis i indústria; Comunitat científica i tecnològica.</p>

Font: Guia de l'Agenda 21

En resum, L'Agenda 21 proposa accions per la recollida, el processament i la difusió de dades i d'informació pertinent a cada qüestió sectorial i transectorial. També inclou mesures concretes i incentius per reduir els impactes negatius dels riscos, per revitalitzar econòmicament i institucional els països en desenvolupament, per eliminar la pobresa generalitzada en àmplies regions del planeta i per reduir en determinats indrets taxes de creixement de població que s'han fet insostenibles. Tot plegat, basant-se en la premisa que el desenvolupament sostenible no es solament una opció sinó un imperatiu.

2.2.4. Model del V Programa

El "Programa de la Comunitat Europea sobre política i actuacions en relació amb el medi ambient i el desenvolupament sostenible" es va redactar a principis del any 1992, amb l'objectiu de servir de punt de partida i de donar les directrius a seguir en la Conferència de les Nacions Unides sobre el Medi Ambient i el Desenvolupament (CNUMAD), que s'havia de celebrar a Rio de Janeiro el Juliol d'aquell mateix any.

"El concepte de 'sostenibilitat' tal i com s'utilitza en aquest programa es refereix a una política estratègica que té per objectiu un desenvolupament econòmic i social que no vagi en detriment del medi ambient ni dels recursos naturals, dels quals depenen les activitats humanes i el seu mateix desenvolupament." (UE, 1992)

També es fa referència a la definició de desenvolupament sostenible que es dona a l'informe de la Comissió Mundial sobre el Medi Ambient i el Desenvolupament (Informe Brundtland) i afegeix que "es tracta de preservar l'equilibri general i el valor de les reserves de capital natural, tot redefinint els criteris d'avaluació de costos i beneficis a curt, mig i llarg termini amb l'objecte de palesar els efectes socioeconòmics reals del consum i de la conservació d'aquest capital, i de distribuir i utilitzar equitativament els recursos entre els estats i les regions del conjunt del planeta." (UE, 1992)

Alguns des requisits que el Programa proposa adoptar per assolir un desenvolupament sostenible són els següents:

1. "Degut a que la reserva de matèries primeres es finita, els fluxos de recursos a través de les fases de producció, consum i ús hauran de controlar-se aplicant criteris que facilitin i fomentin una reutilització i un reciclatge òptims, a fi i efecte de evitar el seu malbaratament i prevenir l'esgotament de les reserves de recursos naturals.";
2. "La producció i el consum d'energia s'han de racionalitzar."
3. "Cal transformar les pautes de consum i de comportament del conjunt de la societat." (UE, 1992)

Les polítiques de desenvolupament sostenible només donen fruit a llarg termini i fa falta que es mantinguin i es vagin completant a mesura que el pas del temps ens va donant perspectiva per valorar les accions passades i possibilitats de complementar-les i ampliar-les. En aquest sentit, el Programa reconeix que: “és cert que el desenvolupament sostenible no és quelcom que es pugui aconseguir en un període de temps tant breu com és el de la vigència d'aquest Programa. Fa falta, doncs, valorar-lo solament com una etapa, prou important, d'un procés a llarg termini vers la salvaguarda del medi ambient i la conservació de la qualitat de vida de la Comunitat i, en última instància, del nostre planeta.” (UE, 1992)

Les propostes se centren en els següents camps d'actuació que “tindran prioritat per tal d'aconseguir millores i transformacions tangibles durant el període de vigència del Programa”:

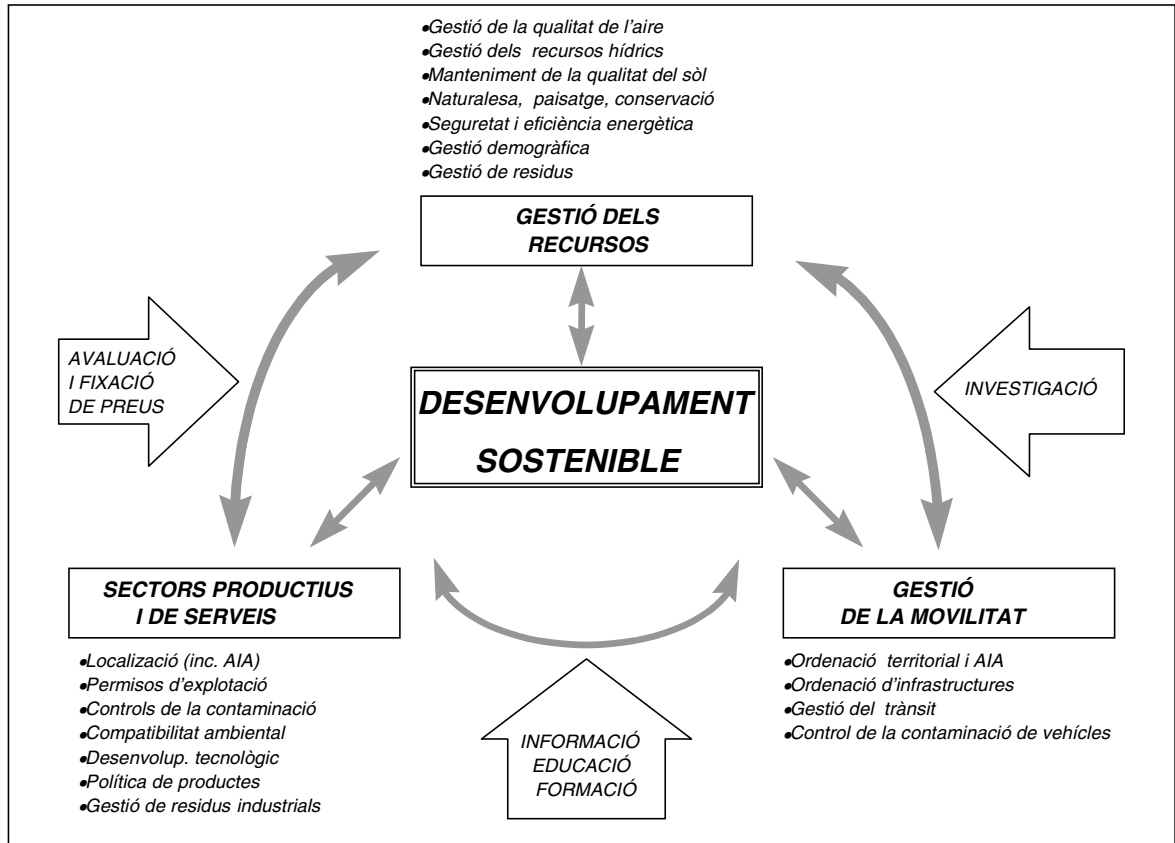
1. “Gestió sostenible dels recursos naturals: sòl, aigües, espais naturals i zones litorals”;
2. “Control integrat de la contaminació i prevenció de la proliferació de residus”;
3. “Reducció del consum d'energies no renovables”;
4. “Millora de la gestió de la mobilitat incloent les decisions de localització i els mitjans de transport ecològicament més eficients i racionals”;
5. “Conjunt de mesures coherents amb l'assoliment de millores en la qualitat ambiental de les zones urbanes”;
6. “Millora de la salut i de la seguretat públiques, amb especial atenció sobre l'avaluació i la gestió dels riscos industrials, la seguretat nuclear i la protecció contra les radiacions.” (UE,1992)

En la següent taula figuren els problemes i sectors clau per aconseguir el desenvolupament sostenible segons el V Programa de la UE:

Problemes i sectors clau segons el V Programa de la Unió Europea

Problemes Clau	A: Agents E: Efectes	Objectiu UE	Principals Sectors implicats
Canvi Climàtic	A: CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , CFC E: Efecte Hivernacle i Forat d'Ozó	Tornar a nivells de CO ₂ de 1990 Cap agressió a l'ozó	
Acidificació i Qualitat de l'aire	A: SO ₂ , NO _x , COV E: Enverinament de boscos i aigua	No superar la capacitat de càrrega	
Naturalesa i Biodiversitat	A: Pressió del Model de desenvolupament E: Retrocés de la biodiversitat	Desenvolupament sostenible Hàbitats naturals i control sobre les poblacions d'espècies amenaçades	
Gestió de l'aigua	A: Pressió de la demanda i impacte d'emissions	Equilibri demanda Anticontaminació Rehabilitació	1. Indústria 2. Energia 3. Transport 4. Agricultura 5. Turisme
Medi Urbà	A: Urbanització congestiva i contaminant E: Pèrdua de qualitat de vida i entorn	Millores en el desenvolupament urbà	
Zones costaneres	A: Urbanització congestiva i contaminant E: Degradació del medi, sòl i aigua	Desenvolupament litoral sostenible	
Gestió de residus	A: Desbordament generació de residus E: Contaminació	Reciclatge Transformació, producció, processos i utilització	

I com a resum de la proposta del V Programa es mostra, en la següent il·lustració, l'esquema en el que es relacionen els diferents factors que han d'intervenir en la consecució d'un desenvolupament sostenible:



FONT: V PROGRAMA DE LA UE

2.2.5. Model del “factor 4” o la revolució de l'eficiència

Segons Ernst Ulrich von Weizsäcker, president del Institut Wuppertal per al Clima, el Medi Ambient i l'Energia i membre del Club de Roma, és possible duplicar el benestar utilitzant la meitat dels recursos naturals, el que denomina com a “Factor 4”. En altres paraules, “es pot quadruplicar la productivitat dels rèdits que s'obtenen per cada unitat dels recursos naturals” (Von Weizsäcker, E.U., 1995).

Una de les preguntes que es desprenen de l'afirmació anterior es refereix al cost d'aquest model. Segons els autors d'aquest model (von Weizsäcker, L.H.Lovins i A.B.Lovins), aquesta revolució de la eficiència es pot aconseguir amb un “cost negatiu”, es a dir, donant beneficis.

Per aconseguir-ne la viabilitat s'han d'aplicar les següents mesures (Von Weizsäcker, E.U., 1995):

1. Eliminar les subvencions per a la utilització dels recursos.
2. Educar als consumidors.

3. Gestionar la demanda.
4. Reduir els costos.
5. Cobrar quotes altes per generar residus sòlids.
6. Fer auditories ambientals.
7. Aplicar una reforma fiscal ecològica.
8. Factor clau: el reciclatge (reparació, restauració i modernització evitant la destrucció total)

La reforma fiscal ecològica pot i ha de ser dissenyada per evitar la destrucció del capital.

Les rendes obtingudes dels impostos sobre l'energia i els recursos naturals s'utilitzarien per finançar parcialment el sistema de seguretat social, que sinó, ha de ser finançat per l'empresa i el treballador.

Finalment, els autors creuen que si es combinen les exigències ecològiques, els avanços tecnològics i l'adquisició i consolidació de certs hàbits socials, la revolució de la eficiència es podrà imposar en menys de quinze anys i, a més, de forma aplicable a tot tipus d'indústries i sectors productius.

2.2.6. Declaració de Río sobre medi ambient i desenvolupament

La declaració de Río surt com a text oficial de la Conferència de les Nacions Unides sobre Medi Ambient i Desenvolupament, celebrada a Rio de Janeiro el Juliol de 1992.

Aquest text reafirma en els seus postulats la Declaració de les Nacions Unides feta a la Conferència del Medi Ambient Humà el 16 de Juny de 1972 a Estocolm.

Del document citem, tot seguit, els següents principis (Declaració de Río, 1992):

Principi 1

Els éssers humans constitueixen el centre de les preocupacions relacionades amb el desenvolupament sostenible. Tenen dret a una vida saludable i productiva en harmonia amb la natura.

Principi 2

De conformitat amb la Carta de les Nacions Unides i els principis del Dret Internacional, els Estats tenen el dret sobirà d'aprofitar els seus propis recursos segons les seves pròpies polítiques ambientals i de desenvolupament, i la responsabilitat de garantir que les activitats realitzades en la seva jurisdicció o sota el seu control, no causen danys al medi ambient d'altres estats o de regions que estiguin fora dels límits de la jurisdicció nacional.

Principi 3

El dret al desenvolupament s'ha d'exercir a fi de respondre de manera equitativa a les necessitats de desenvolupament i ambientals de la generació present i de les futures.

Principi 4

A fi d'assolir el desenvolupament sostenible, la protecció del medi ambient haurà de constituir un element integrant del procés de desenvolupament, sense que pugui considerar-se de forma aïllada.

Principi 5

Tots els Estats i totes les persones hauran de cooperar en la tasca essencial d'erradicar la pobresa com requisit indispensable del desenvolupament sostenible, a fi de reduir les disparitats en la qualitat de vida i respondre millor a les necessitats de la majoria dels pobles del món.

Principi 6

La situació i les necessitats específiques dels països en desenvolupament, en particular dels països menys avançats i més vulnerables des del punt de vista ambiental, hauran de rebre una prioritat adequada. En les mesures internacionals adoptades respecte al medi ambient i el desenvolupament també s'haurien de tenir en compte els interessos i les necessitats de cadascun dels països individualment considerats.

Principi 7

Els Estats hauran de cooperar, segons un esperit de coalició mundial, per conservar, protegir i restablir la salut i integritat del ecosistema global de la terra. En vista de les diferents contribucions a la degradació del medi ambient mundial, els Estats tenen responsabilitats comunes però diferenciades. Els països desenvolupats reconeixen la responsabilitat que els hi correspon en la recerca internacional d'un desenvolupament sostenible, en vista de les pressions que les seves societats exerceixen en el medi ambient mundial i de les tecnologies i els recursos financers de que disposen.

Principi 8

Per tal d'assolir un desenvolupament sostenible i una major qualitat de vida per a totes les persones, els Estats haurien de reduir i eliminar les modalitats de producció i consum insostenibles i fomentar polítiques demogràfiques apropiades.

Principi 9

Els Estats haurien de cooperar per reforçar l'existència d'una suficient capacitat en tots els països que permeti aconseguir-hi un desenvolupament sostenible, augmentant el saber científic

mitjançant l'intercanvi de coneixements científics i tecnològics i millorant el desenvolupament, l'adaptació, la difusió i la transferència mútua de tecnologies noves i innovadores.

Principi 10

La millor manera de tractar les qüestions ambientals es mitjançant la participació de tots els ciutadans interessats, en el nivell que correspongui. En el pla nacional, cada individu haurà de tenir accés adient a la informació relativa al medi ambient de que disposin les autoritats públiques, inclòs la informació sobre els materials i les activitats que ofereixen perill a les seves comunitats, així com l'oportunitat de participar en els processos d'adopció de decisions. Els Estats hauran de facilitar i fomentar la sensibilització i la participació del públic, posant la informació a disposició de tothom. Haurà de proporcionar-se accés efectiu als procediments judicials i administratius; entre aquests, el rescabament per danys i els recursos pertinents.

Principi 11

Els Estats hauran de promulgar lleis efectives sobre el medi ambient. Les normes ambientals i els objectius i prioritats en matèria de gestió del medi ambient, haurien de reflectir el context ambiental i de desenvolupament al que s'apliquen. Les normes aplicades per alguns països poden resultar inadequades i representar un cost social i econòmic injustificat per a d'altres països, en particular per als països en desenvolupament.

Principi 12

Tots els Estats haurien de cooperar per promoure un sistema econòmic internacional favorable i obert que portés al creixement econòmic i al desenvolupament sostenible dels diferents països, a fi de tractar millor els problemes de la degradació ambiental. Les mesures de política comercial per a finalitats ambientals no hauria de constituir un mitjà de discriminació arbitrària o injustificable ni una restricció implícita del comerç internacional. S'hauria d'evitar prendre decisions unilaterals per solucionar els problemes ambientals que es produeixen fora de la jurisdicció del país importador. Les mesures destinades a tractar els problemes ambientals transfronterers o mundials haurien, en la mesura que fos possible, de basar-se en un consens internacional.

Principi 13

Els Estats haurien de desenvolupar la legislació nacional relativa a la responsabilitat i la indemnització respecte de les víctimes de la contaminació i altres danys ambientals. Els Estats haurien de cooperar així mateix de manera expedita i més decidida, per elaborar noves lleis internacionals relatives a la responsabilitat i la indemnització per els efectes negatius dels danys ambientals causats per les activitats realitzades dins de la seva jurisdicció, o sota el seu control, en zones situades fora de la seva jurisdicció.

Principi 14

Els Estats haurien de cooperar efectivament per desencoratjar o evitar la reubicació i la transferència a altres Estats d'activitats i substàncies que ocasionin degradació ambiental greu o es considerin nocives per a la salut humana.

Principi 15

Amb la finalitat de protegir el medi ambient, els Estats hauran d'aplicar àmpliament el criteri de precaució conforme a les seves capacitats. Quan hi hagi perill de dany greu o irreversible, la falta d'una certesa científica absoluta no haurà d'utilitzar-se com a raó per postergar l'adopció de mesures eficaces, en funció dels costos, per impedir la degradació del medi ambient.

Principi 16

Les autoritats nacionals haurien de procurar assegurar la internalització dels costos ambientals i l'ús d'instruments econòmics, tenint en compte el criteri de que el que contamina ha de carregar, en principi, amb els costos de la contaminació, tenint degudament en compte l'interès públic i sense distorsionar el comerç ni les inversions internacionals.

Principi 17

S'haurà d'emprendre una avaluació de l'impacte ambiental, en qualitat d'instrument nacional, respecte de qualsevol activitat proposada que probablement hagi de produir un impacte negatiu considerable al medi ambient i que estigui subjecta a la decisió d'una autoritat nacional competent.

Principi 18

Els Estats hauran de notificar immediatament a altres Estats els desastres naturals i altres situacions d'emergència que puguin produir efectes nocius sobtats en el medi ambient d'aquests Estats. La comunitat internacional haurà de fer tot el possible per ajudar als Estats afectats pels desastres.

Principi 19

Els Estats hauran de proporcionar la informació pertinent i notificar prèviament i en forma oportuna als altres Estats que puguin veure's afectats per activitats que puguin tenir efectes ambientals transfronterers nocius considerables i hauran de celebrar consultes de bona fe amb ells en una data propera.

Principi 20

Les dones tenen un paper fonamental en el desenvolupament i l'ordenació del medi ambient. És, per tant, imprescindible comptar amb la seva plena participació per aconseguir un desenvolupament sostenible.

Principi 21

S'hauria de mobilitzar la creativitat, els ideals i el valor dels joves del món per forjar una aliança mundial orientada a aconseguir el desenvolupament sostenible i assegurar un millor fruit per a tots.

Principi 22

Els pobles indígenes i les seves comunitats, així com altres comunitats locals, tenen un paper fonamental en la ordenació del medi ambient i en el desenvolupament degut als seus coneixements i pràctiques tradicionals. Els Estats hauran de reconèixer i donar el recolzament degut a la seva identitat, cultura i interessos, i vetllar perquè participin efectivament en la fita del desenvolupament sostenible.

Principi 23

S'han de protegir el medi ambient i els recursos naturals dels pobles sotmesos a formes diverses d'opressió, dominació i ocupació.

Principi 24

La guerra és, per definició, enemiga del desenvolupament sostenible. En conseqüència, els Estats hauran de respectar el Dret Internacional, proporcionant protecció al medi ambient, en èpoques de conflicte armat i cooperar per la seva ulterior millora, segons sigui necessari.

Principi 25

La pau, el desenvolupament i la protecció del medi ambient són interdepenents i inseparables.

Principi 26

Els Estats hauran de resoldre totes les seves controvèrsies sobre el medi ambient per mitjans pacífics i atenent-se a la Carta de les Nacions Unides.

Principi 27

Els Estats i els pobles hauran de cooperar de bona fe i amb esperit de solidaritat en l'aplicació dels principis consagrats en aquesta Declaració i al desenvolupament ulterior del Dret Internacional en l'esfera del desenvolupament sostenible.

Amb aquests principis de la Declaració de Río es transmet un missatge bastant clar: és responsabilitat dels països aplicar les seves pròpies lleis sobre el medi ambient, sempre dins d'un consens internacional i seguint les directrius de l'Agenda 21 o d'altres programes paral·lels com el V Programa de la Comunitat Europea.

2.2.7. Exemples d'aplicació dels criteris de sostenibilitat

L'Agenda 21 cobreix exhaustivament els problemes que afecten al medi ambient, des de la conservació dels recursos naturals i la gestió de residus sòlids fins l'escreix poblacional i el combat a la pobresa. Aquesta àmplia cobertura facilita elements de cooperació vers objectius compartits a sectors del moviment ambientalista, el món de l'economia i els responsables governamentals, interessats, en major o menor mesura, en un compromís comú per al futur.

Com a resultat d'aquesta actitud, avui en dia el tema de la sostenibilitat està passant de ser només un concepte abstracte per convertir-se paulatinament en el que en el futur podria ser un conjunt de tècniques adaptades a les modalitats de cada situació, es a dir, aplicables a activitats humanes molt diverses. Al respecte, ja hi ha força exemples que palesen la factibilitat aplicativa dels principis de sostenibilitat.

A Catalunya es va celebrar, pel juliol de 1998, el primer aniversari de la constitució de l'associació Xarxa de Pobles i Ciutats vers la Sostenibilitat, amb 128 municipis que abasten el 70% de la població.

A Barcelona, un grup d'experts independents analitza, de forma permanent, la salut ambiental, social i econòmica de la ciutat, aplegats en l'anomenat Fòrum Cívic Barcelona Sostenible.

A partir de la Conferència Europea sobre Ciutats Sostenibles, realitzada a Aalborg, Dinamarca, al maig de 1994, les ciutats i àmbits territorials participants es van comprometre -mitjançant la carta d'Aalborg- a l'elaboració d'Agendes 21 locals, en desenvolupament d'allò que determina l'article 28 de la mateixa Agenda 21. Actualment diverses ciutats i municipis europeus treballen en la redacció dels seus propis documents estratègics, gràcies als quals diferents aspectes relacionats amb la sostenibilitat han de constituir un marc de referència obligat en tota planificació de desenvolupament.

En el Continent Americà existeixen diversos exemples de projectes que operen amb una "orientació sostenible": es mencionen els casos de les ciutats de Curitiba, Brasil; Boulder, Chattanooga i Seattle, USA, entre d'altres. També, per iniciativa del PNUMA, al 1993 es van iniciar els treballs per a constituir una Xarxa de Desenvolupament Sostenible a Llatinoamèrica, la qual actualment s'ha consolidat en diversos països d'aquesta regió continental, oferint serveis de recolzament en el marc de l'Agenda 21.

És destacable el fet que els sectors industrials comencin a implicar-se en l'aplicació dels principis de sostenibilitat, la qual cosa es confirma a l'analitzar els vessants prospectius de projectes concrets elaborats per grups multinacionals considerats com líders. És el cas de DuPont, Dow Chemical, 3M Corporation, IBM, entre d'altres (Fiksel, 1996 i Graham, 1997). A més, existeixen

grans empreses de serveis ambientals com Weston Inc., que contempla un creixent volum de treball assessorant a les indústries en els seus projectes per de desenvolupament, en un tipus de negoci cridat a una forta expansió en els propers anys.

Amb relació al sector de la construcció, el "Internacional Council for Building Research Studies and Documentation (CIB), ha pres la iniciativa per a la creació d'una Agenda 21 per a la construcció sostenible (Sjöström, 1998). El procés d'elaboració representa un considerable esforç de coordinació amb altres organismes internacionals d'investigació i desenvolupament, per això es pretén publicar aquesta Agenda en el segon semestre de 1999.

A la seva pròpia escala, alguns països han inclòs en els seus plans globals l'enfocament sostenible com estratègia de desenvolupament. Són prou coneguts els documents corresponents a Irlanda i Suècia. En aquest mateix nivell, per part de diferents especialistes, s'han efectuat sota els mateixos criteris informes separats corresponents a catorze països (CIB W82, 1998) on s'estableix la relació particular entre els principis del desenvolupament sostenible i el sector de la construcció. Es tracta de conèixer la interpretació que cada un d'aquests països ha fet del concepte emergent de construcció sostenible de cara a les seves pròpies realitats. S'inclou el cas d'Espanya.

Continuant amb la referència a l'àmbit de la construcció, s'han publicat alguns manuals per al disseny, construcció, operacions i manteniment d'edificis i les seves instal·lacions auxiliars (Annik, 1996 i Osso, 1996).

És interessant ressaltar iniciatives ben a prop nostre, com és el cas de la proposta del Pla de Medi Ambient de la UPC per mitjà del document "Criteris ambientals en el disseny, la construcció i la utilització dels edificis", redactat amb el propòsit d'estimular una construcció d'alta qualitat ambiental a la pròpia Universitat, amb la previsió de construir edificis pilot que permetin anar adquirint coneixements i experiència profunds en el terreny de la construcció sostenible.

En el sector de l'ensenyament universitari es comença a prendre consciència de la importància creixent de la noció de sostenibilitat. Això es reflecteix en l'orientació d'algunes assignatures (UPC), ofertes de cursos d'especialització (Fundació Politècnica de Catalunya i Universitat Ramon Llull) i formació professional (Institut de Tecnologia de Dublín i Ministeri de Medi Ambient de Mèxic), etc.. Tanmateix, resulta encara necessari l'adaptació de molts currículums acadèmics que poden resultar clau per a la promoció aplicativa de la noció de la sostenibilitat.

2.3. VISIÓ DELS LÍMITS DEL CREIXEMENT DES DE LA ENGINYERIA: LA CAPACITAT DE CÀRREGA

La societat d'avui s'ha de preguntar si pot mantenir els principis inherents a la igualtat d'oportunitats, la llibertat i la qualitat de vida. Els enginyers projecten els mitjans que la societat utilitza per satisfer les seves necessitats i, per tant, aquests han de tenir clara la veritable dimensió de la pregunta i col·locar-la per sobre de les consideracions de disseny, si és possible en termes fàcilment assimilables.

El nostre món afronta serioses dificultats i no manquen pronòstics de desastre. Però el futur no és inevitable, és, en bona mesura, una elecció. No tindrem un desastre a menys que es triïn opcions inconvenients. Els enginyers tenen l'especial responsabilitat d'informar a la societat de les implicacions pràctiques de les opcions que es plantegen.

La societat ha començat a valorar la tecnologia industrial perquè hi ha vist oportunitats positives de futur. Al mateix temps la indústria ha creat problemes que tenim dificultats per resoldre. La llista és familiar: la pluja àcida, els residus tòxics, l'efecte hivernacle, l'esgotament de recursos, etc...

Tot i això, se segueix insistint massa encara en primar els beneficis exclusius de la indústria, a base de projectar i utilitzar la tecnologia d'una manera anacrònica que la fa així cada cop més perillosa. Si es creu en el futur com una elecció, s'han de crear les bases per a una nova enginyeria que ofereixi tècniques alternatives i socials genuïnes coherents amb les necessitats actuals.

Avui en dia s'ha arribat a fer obvi que el vell paradigma industrial de creixement il·limitat és insostenible, ja que són limitats els recursos planetaris i també és limitada la capacitat ambiental per absorbir externalitats. L'enginyeria concebuda des del punt de vista d'aquest paradigma es fa així mateix insostenible. Necessitem doncs poder projectar segons una nova tecnologia industrial. Aquest nou paradigma té en la sostenibilitat el seu concepte medular.

Com hem de concebre doncs l'enginyeria sostenible? Que vol dir, i quins tipus de tecnologies implica? Per contestar aquestes preguntes, es necessita una noció que permeti orientar la funció de variació d'un recurs, controlant el que els ecòlegs anomenen "capacitat de càrrega". La idea de capacitat de càrrega, permet formular una clara definició generalitzada de sostenibilitat.

Aquesta expressió s'utilitza per fer el seguiment de l'evolució d'una població biològica i es defineix com els recursos que poden sostenir aquesta població i l'impacte que el consum d'aquests recursos provoca en el medi ambient. Per treure'n partit hem de considerar la definició i el joc combinat de varis paràmetres:

R= Recurs(os), o medi ambient.

N= Població (nº d'individus) consumint R.

C= Valor del consum o ús per càpita de R dels individus de la població N; és a dir, el valor per càpita de l'impacte sobre R.

L= $C \times N$ = Càrrega sobre R = Càrrega de recurs, Càrrega ecològica o Càrrega ambiental.

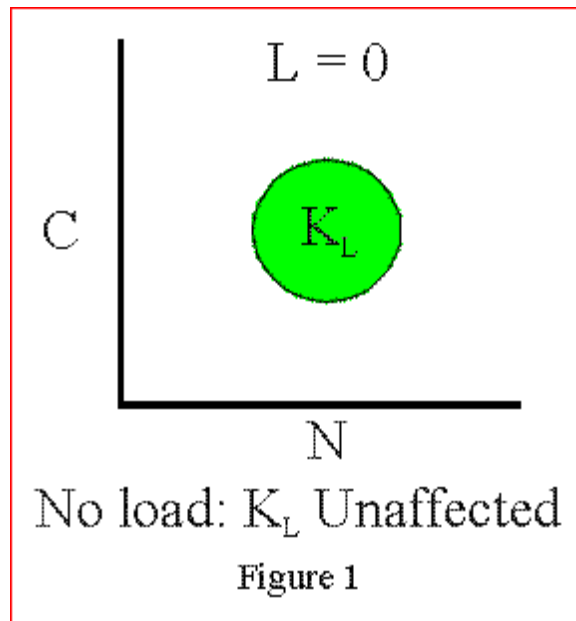
Depenent del nostre enfocament, R pot significar una substància particular, com el petroli o el carbó, o una espècie viva en particular, com el bacallà, el cérvol o els pins; o varis recursos junts, com el conjunt de totes les espècies marines. R pot també referir-se a tot un ecosistema o a àrees geogràfiques. De forma més abstracta R pot referir-se a processos ambientals i interaccions ecològiques. R podria referir-se igualment a una condició desitjable, com la condició de tenir la concentració de CO₂ de l'atmosfera al voltant d'un llindar segur, o la condició de tenir aigua en un aquífer amb una certa puresa. En el sentit més general, sempre podem referir-nos a R com al medi ambient. El recursos han de ser considerats en la forma que millor permeti comprendre l'autèntic sentit de la capacitat de càrrega. Per tant, s'ha d'observar C no com el valor per càpita del consum fet per N, sinó com el valor per càpita que incideix sobre R.

Necessitem un paràmetre més:

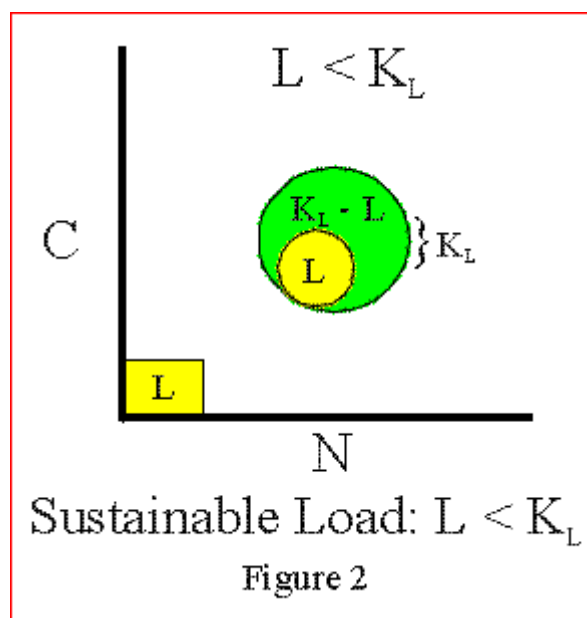
K_L és la càrrega L que representa el consum màxim o impacte d'un determinat R, sense que aquest recurs perdi la reversibilitat –que és tant com dir, la seva sostenibilitat- i sense que el corresponent ús causi una disminució irreversible de qualsevol altre R.

El vell paradigma no estimula processos per mantenir R. El requeriment fonamental de la sostenibilitat és mantenir R; s'ha de tractar K_L , abans de res, com la capacitat de càrrega d'un recurs R més que com un rendiment o benefici per a la humanitat ja que així es garanteixen les oportunitats per a una planificació que permeti mantenir els recursos R i, al capdevall, la subsistència de la humanitat mateixa.

Amb aquests requisits, es pot representar un diagrama CN per observar el significat de K_L en relació a L. El diagrama CN de la figura 1 mostra K_L representat per un cercle d'un àrea proporcional, proper a les coordenades C i N. Degut a que la càrrega L és 0, K_L no es veu afectada.

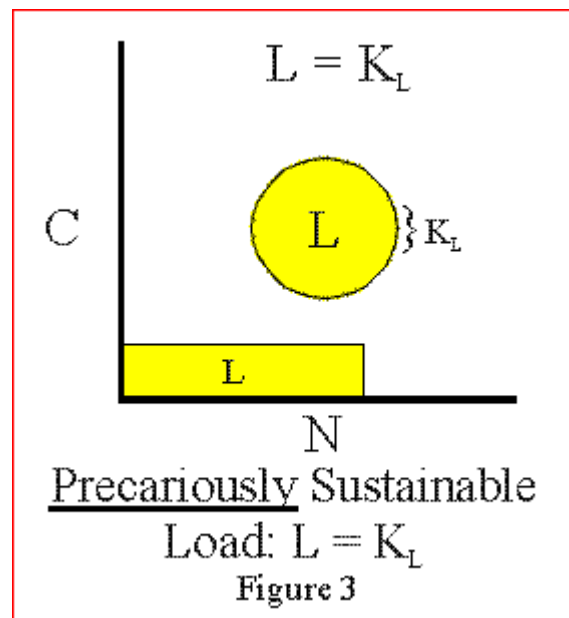


La figura 2 representa la situació amb alguna càrrega L , indicada per un rectangle de valor el producte $C \times N$. Aquí $L < K_L$, en aquest cas el valor per càpita de consum o ús (valor per càpita d'impacte sobre R representat per C pot anar creixent mentre el nivell de població representat per N no augmenti. El petit cercle ombrejat L té la mateixa àrea que el rectangle L . La proporció restant del cercle gran K_L representa el marge que existeix per l'augment d'una L addicional abans de que s'iniciï un dany permanent en el recurs R . La condició $L < K_L$ defineix la sostenibilitat.



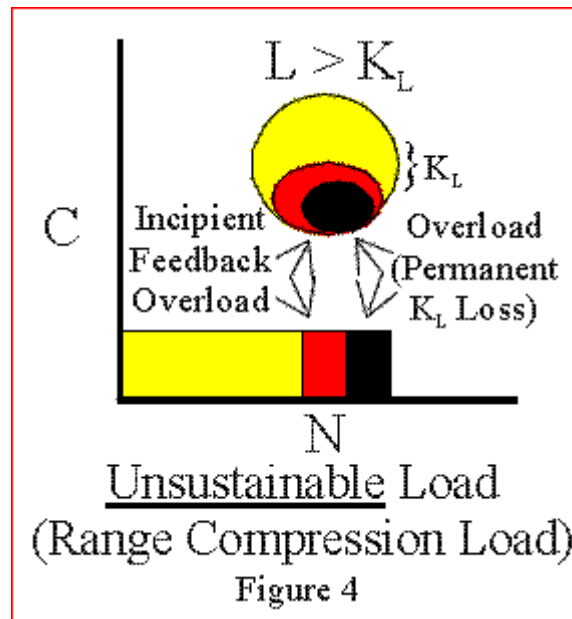
La figura 3 representa $L = K_L$. Sota aquesta condició no pot haver-hi cap L addicional sense que R es malmeti permanentment (es presuposa que "el greuge permanent" significa qualsevol efecte advers del que R no es pot recuperar en menys del que dura la vida d'un ésser humà). Mentre L

mai no excedeixi de K_L , podem suposar que si L disminueix, l'anterior proporció afectada de K_L es regenerarà. La condició $L=K_L$ sembla tècnicament acceptable, malgrat que es precària. La idea del rendiment sostenible al límit és un concepte perillós malgrat que afavoreix la visió de $L=K_L$ (màxim rendiment) com una fita acceptable més que com un preludi a la disminució permanent de R .



La figura 4 representa $L > K_L$. Tingui's en compte que la sobrecàrrega fa encongir K_L ; la part ennegrida del cercle representa permanentment el K_L perdut que no es pot regenerar. Excedir K_L es reduir-lo. K_L pot disminuir encara que sembli que hi ha abundància de R . Una sobrecàrrega continua fa reduir cada cop més el K_L fins que aquest pot desaparèixer.

Observi's que un cop assolit $L > K_L$, es consumeix més recurs del màxim sostenible amb el que no es regenerarà la totalitat de recurs consumit. Això provoca que el valor K_L es vegi minvat ja que la quantitat de recurs disponible al llarg d'una vida humana s'ha reduït.



L'única manera d'impedir la disminució de K_L quan s'ha produït una sobrecàrrega, és reduir l'ús de R o deixar d'utilitzar-lo per complet, fins recuperar la condició de $L < K_L$. Òbviament, la figura 4 representa una condició de insostenibilitat en el recurs utilitzat.

La sostenibilitat és la condició tal que $L < K_L$. Aquesta és la síntesi del nou paradigma i dona un referent clar, fàcil de visualitzar. Per suposat, la realitat mai és tan simple. La dependència del vell paradigma tecnològic (insostenible) s'ha arribat a fer tan gran que canviar al nou paradigma costarà un esforç considerable a l'enginyeria. El vell paradigma ens ha fet més i més subsidiaris de recursos no renovables, mentre que la sostenibilitat requereix de recursos renovables amb un K_L elevat. És la forma d'evitar l'extinció dels recursos no renovables, ja que qualsevol consum d'un recurs no renovable ocasiona una disminució irrevocable de la corresponent reserva.

S'escau considerar els recursos no renovables com un pont temporal vers un futur plenament basat en tecnologies sostenibles que utilitzin exclusivament recursos renovables. S'ha de continuar dependent dels processos naturals, recolzant-nos en sistemes que garanteixin la vida sobre la terra. Les tecnologies no renovables malbaraten inevitablement els nostres sistemes naturals de recolzament.

La sostenibilitat requereix limitar C i N . La limitació de la N humana és una qüestió crucial i punyent; la població mundial està ara en sis mil milions, amb una projecció per l'any 2025 de vuit mil milions. El nivell actual tendeix a reduir el K_L en la majoria dels casos que puguem imaginar. Encara que en promig es limités l'impacte per càpita C , el K_L mundial continuaria disminuint. Molt probablement la terra té ja més habitants dels que l'ambient natural pugui resistir indefinidament. Molt probablement, els éssers humans han començat a excedir la capacitat de càrrega de la terra per a qualsevol nivell de C , la qual cosa vol dir que no n'hi ha prou en aturar el creixement d' N ;

caldrà reduir N significativament. I encara, si el nivell de consum mitjà de la població mundial anés creixent -cosa que sens dubte succeirà si es generalitza una millora en els nivells de vida- això haurà d'augmentar la pressió a causa d'una major capacitat individual de despesa.

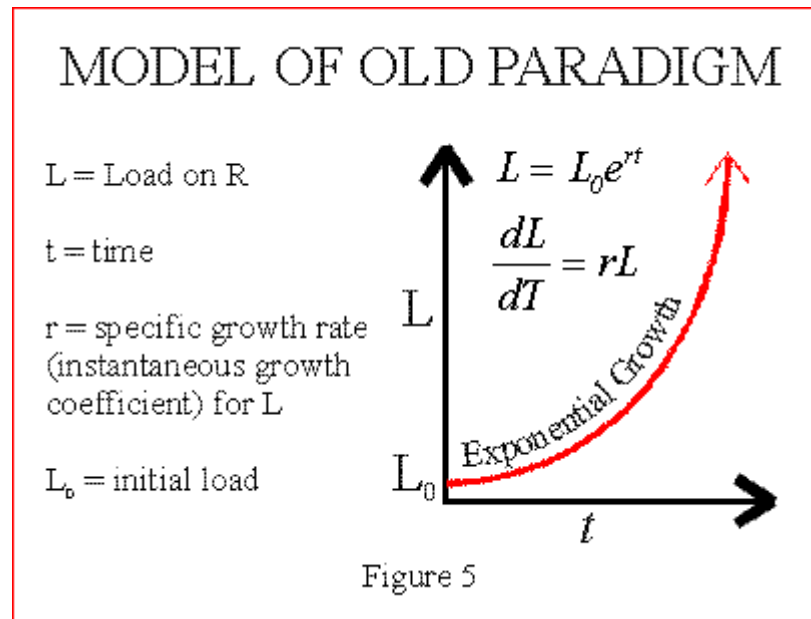
El conflicte ètic i polític està doncs servit a un cert termini. Des d'aquest punt de vista, s'ha de tenir en compte no solament quants humans pot sostenir la terra, sinó com es distribueixen entre ells els mitjans per al benestar. S'ha de definir la població sostenible per a cada lloc del planeta. Una població materialment sostenible en conjunt però on alguns estiguessin còmodes i alguns tot just subsistissin seria indesitjable i probablement inestable. Encara que els més pobres estiguessin raonablement còmodes permetent a uns pocs rics utilitzar algun recurs en excés, es crearien descontentaments inversemblants, per arribar a ser a llarg termini insostenible. Per tant, la sostenibilitat implica també que no s'hauria de permetre l'excessiu consum d'uns R determinats, amb caràcter estratègic. És evident que s'ha d'assegurar un nivell raonable de C per a tothom.

En l'actualitat s'ha assolit un elevat N , amb la qual cosa cal reduir C per evitar la disminució de K_L . Però el vell paradigma progressa, augmentant el C sense límit, ja que identifica progrés amb l'imperatiu de creixement. El significat de progrés per al vell paradigma és: "consumeixi el que vulgui".

Pensarem en el consum des del punt de vista de 3 nivells. El primer nivell, és la Necessitat Mínima Diària (C_{NMD}) o el nivell de consum ras de supervivència. El següent nivell es de Reducció Diària Recomanada (C_{RDR}) o nivell ampli de consum de subsistència, proveint de mitjans per una bona salut i una sòlida confiança sobre el futur. El tercer nivell no és tant un nivell sinó una tendència o objectiu, l'objectiu del vell paradigma ja comentat, (C_{CEV}) del consum il·limitat.

La comprensió de la successió $C_{NMD} < C_{RDR} < C_{CEV}$ és absolutament necessària per assumir els condicionants actuals de l'espècie humana i també els desafiaments de la planificació i la tecnologia. La diferència $C_{CEV} - C_{RDR}$ és el consum excedent del que gaudeixen les poblacions industrialitzades, i l'augment d'aquesta és l'objectiu associat al vell paradigma.

Quan qualsevol cosa creix segons un cert percentatge en cada unitat de temps, tenim l'efecte d'un interès compost del que en resulta un creixement exponencial. Encara que hi pot haver excepcions temporals degut a millores en l'eficiència, en general podem suposar que aquell consum de recurs augmenti directament el rendiment econòmic. La figura 5 mostra el creixement exponencial des del punt de vista de la càrrega de recurs L com una funció de temps t , així $L = L_0 \cdot e^{rt}$ amb L_0 com valor inicial de L , r com el creixement específic i e com base dels logaritmes naturals.



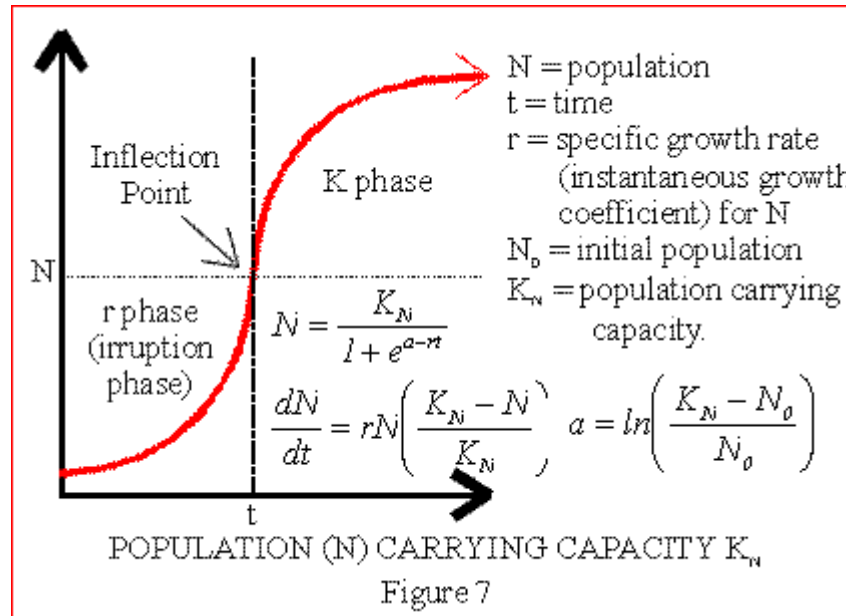
El consum humà de recursos en el món està, ara com ara, sobre una corba exponencial de creixement, i s'ha d'estabilitzar abans de que se sobrecarregui irreversiblement. Per comprendre la naturalesa d'aquest problema més clarament, es necessita comprendre la relació dinàmica entre L i K_L , i es necessita examinar breument la definició de capacitat de càrrega de població (K_N).

Abans però, és el moment de posar de manifest la raó d'haver escollit aquest raonament com referència. Com ja ha quedat dit el procés que describim pot abordar-se globalment, però també el podem considerar desglossat en múltiples subprocessos, que seguint una mateixa lògica, de fet s'encadenen i s'interrelacionen.

El cas de la ocupació de sòl per la urbanització -procés d'artificialització del territori-, que està en la base discursiva del projecte de Pla Territorial Metropolità de Barcelona (PTMB), s'adapta perfectament en aquesta mena d'anàlisi, agafant com R el sòl apte per ser urbanitzat dins l'AMB (evidentment a més, és plantejable aquest formalisme a nivell de cada comarca o municipi, tractant de determinar una $L=K_L$ com càrrega assumible. És possible també, per aquest camí, destriar analíticament els dos escenaris horitzò en joc, el "tendencial", segons el vell paradigma i el "sostenible" o voluntarista, possible a partir de l'aplicació del PTMB. Prenent un referent conceptual prou estimat de l'ambientalisme teòric, aquesta metodologia ens permet observar amb un cert detall el que Boulding ha descrit com la transició de l'"economia del *cow-boy*" a l'"economia de l'astronauta".

Tornant al raonament general d'aquest apartat, la capacitat de càrrega de població K_N és la màxima població suportada observable indefinidament en un ambient determinat (hàbitat) R . K_N és per tant la capacitat de càrrega de població d'aquest hàbitat per a les espècies sota consideració. En altres paraules, K_N és la població màxima que es troba indefinidament existint en les condicions

donades per l'ambient determinat R. Es pot representar com el límit K_N que té la corba logística, que mostra la Figura 7; que representa una asymptota quan la població N augmenta a través del temps sota la influència d'alguns **factors limitadors condicionants**.



La corba de la Figura 7 és un model simplificat del que succeeix quan les espècies entren en un nou ambient, on els recursos són suficientment abundants per suportar el creixement de N, sense cap limitació inicial en la reproducció. Sense les limitacions, el creixement de població inicial seria per suposat positivament exponencial. És la fase r de la corba, també anomenada fase d'irrupció. A mesura que els condicionants comencen a operar, la corba passa per un punt d'inflexió que indica que el creixement de la fase r canvia al creixement de la fase k, i arriba com a límit a una asymptota de capacitat de càrrega K_N . K_N reflecteix la densitat d'equilibri d'unes espècies, ja que si nosaltres considerem com $R = \text{àrea de l'hàbitat}$, la densitat d'equilibri pot definir-se com K_N/R en la natura.

En aquest punt, doncs, trobem un instrument analític per determinar la densitat màxima acceptable en un àmbit territorial per referència a la seva capacitat de càrrega ecològica.

Una de les interpretacions de K_N és com el valor de població N té un fort frè per augmentar, perquè el número d'individus és tan gran que l'accés a algun recurs en particular R se satura i alguns individus són massa pobres en el recurs per reproduir-se o fins i tot per sobreviure; degut a la insuficiència d'algun tipus de R, el valor de les baixes assoleix el valor dels naixements i N s'estabilitza en un K_N que reflecteix una condició general de privació i misèria massa gran per permetre qualsevol augment addicional. S'utilitza el terme limitació o saturació maltusiana K_N per designar els casos en que K_N es deu a una saturació d'accés a algun R, ocasionant una completa

privació de material. En una població maltusiananament limitada, la majoria dels individus viuen en un C_{NMD} equivalent al nivell de supervivència.

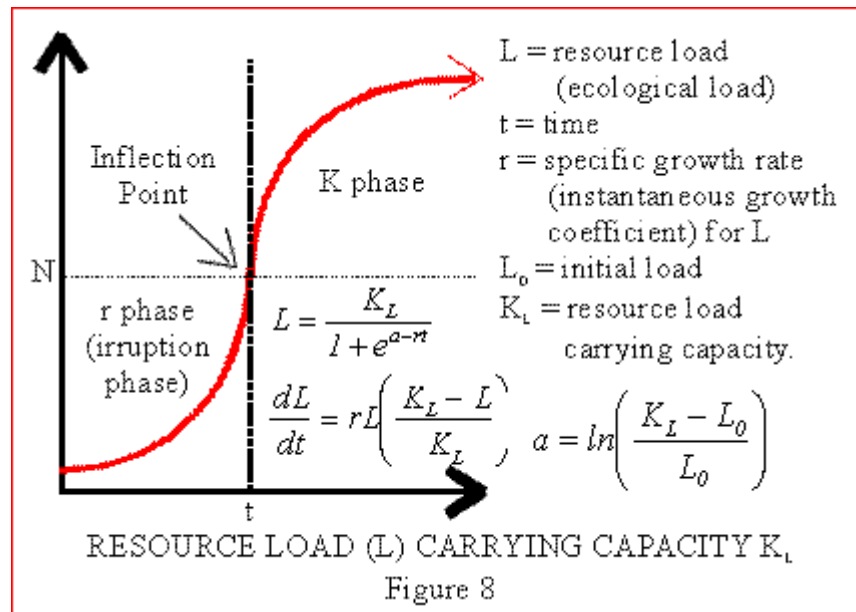
El K_N és veu necessàriament determinat per la quantitat d'algun recurs limitat. El ecòleg Eugene Odum suggereix que, les poblacions naturals es limiten elles mateixes en una forma autorreguladora que serveix per protegir-se de la dificultat d'una privació extrema de material. El terme autorregulador K_N pot designar el tipus de procés limitador. Les espècies humanes han d'apuntar a col·locar un K_N autorregulador i mantenir-lo d'acord amb determinades normes culturals de comportament. Només un K_N humà autoregulat permetrà que els humans existeixin indefinidament en un nivell C_{RDR} materialment suficient.

De tota manera, no es pot pensar que la població global pugui cridar l'atenció als seus diferents agregats per induir "des de dalt" l'assoliment de K_N ; aquest procés només pot compondre-se mitjançant l'autoregulació local de cada comunitat. Aquesta realitat reclama de fet l'aparició d'instruments d'integració com un requeriment lògic més del procés de globalització general.

K_N , per altra banda, constitueix el nivell de referència del que en la teoria del caos anomenariem un "atractor estrany" del que, en aquest cas, coneixeriem els seus paràmetres definitoris continguts en el procés descrit o conjunt de fenòmens que el determinen. Les condicions descrites projecten vers K_N diferents situacions de partida i qualsevol de les diferents trajectòries que els mecanismes d'autoorganització facin possible en el sistema.

Contradint aquesta tendència "natural", el propòsit principal del vell paradigma d'enginyeria ha estat crear les tecnologies que permetessin continuar eludint qualsevol límit K_N estable sobre la població humana, principalment mitjançant l'ús d'energia de fonts no renovables. Ara apareix la pregunta: com es pot mantenir el consum humà de recursos dins de límits ecològicament raonables?

Estem veient un senzill formalisme matemàtic que es pot aplicar a qualsevol procés similar de creixement limitat. Òbviament, es pot imaginar una corba logística similar per al creixement de qualsevol L (càrrega sobre K), donant una concepció dinàmica de sostenibilitat més o menys general o específica a diferents fenòmens amb repercussions ambientals i/o territorials que enfrontem en la realitat. La figura 8 indica la capacitat de càrrega de recurs K_L com el límit asimptòtic d'un procés de creixement L subjecte a limitacions progressives a mesura que L es va fent més gran.



La corba de creixement en la Figura 8 ajuda a entendre millor què implica K_L , ja que dóna una manera per preveure la sostenibilitat en termes dinàmics, com la culminació d'un desenvolupament que es fa palès en el temps. Ens mostra els canvis en les formes d'utilització dels recursos pels individus, en transició de la fase r a la fase k. Es pot observar el comportament social de la fase k, necessari per mantenir la càrrega L sobre un determinat recurs permanentment per sota d'un límit superior crític K_L , més concisament constatable com $L < K_L$.

Aquest canvi social, amb la introducció de la noció de sostenibilitat, requereix un canvi d'enfocament en l'enginyeria, que ara ha de planificar desplegant tecnologies de fase k (de desenvolupament sostenible, d'economia dels recursos integrals) més que no pas de fase r (d'irrupció, de colonització). Per tant, la corba logística resultant s'interpreta com la representació dinàmica del nou paradigma. Aquest model que representa L com una funció de temps, ens defineix la sostenibilitat com un procés en que la societat humana s'adapta recolzant en una nova enginyeria apropiada.

Per comprendre la base de la nova enginyeria, s'ha de comprendre clarament la diferència entre K_N i K_L . Cal emfasitzar que el valor real de K_N per a una població real és un valor empíric que es determina després d'observar una situació concreta; fent els *amidaments* oportuns sobre l'estat estacionari N que es desenvolupa segons condicions donades.

En efecte, **K_N simplement reflecteix el comportament de N, mentre que K_L ha de determinar el comportament de L.** K_L no solament es refereix a càrrega (impacte sobre el recurs) més aviat que a la població, així considerada. K_L ha de ser determinada en una forma totalment diferent a com es faci amb K_N . No es pot deduir K_L simplement observant L, perquè en fer-ho així, determinem de fet

el valor d' L per al qual el recurs R pateix un greuge permanent i una minva de K_L , tal com mostra la Figura 4, una minva que és el que pretén evitar l'enginyeria sostenible com a principal objectiu.

Molta gent dona per suposat que les poblacions naturals estan sempre limitades només per les restriccions maltusianes, de forma que la completa privació material seria l'única cosa que forçaria a qualsevol espècie d'excedir al seu K_N observat. Però les poblacions naturals normalment es limiten elles mateixes en una forma autoregulada que serveix per protegir-les d'aquesta privació material extrema. Per tant, no s'hauria de suposar que un determinat K_N reflecteixi necessàriament l'assoliment dels límits fins als quals els recursos disponibles poden ser proporcionats de forma sostenible. És la raó per la qual necessitem una base diferent, una base orientada al recurs, per indicar els límits fins als quals els recursos poden ser proporcionats. K_L és aquesta base.

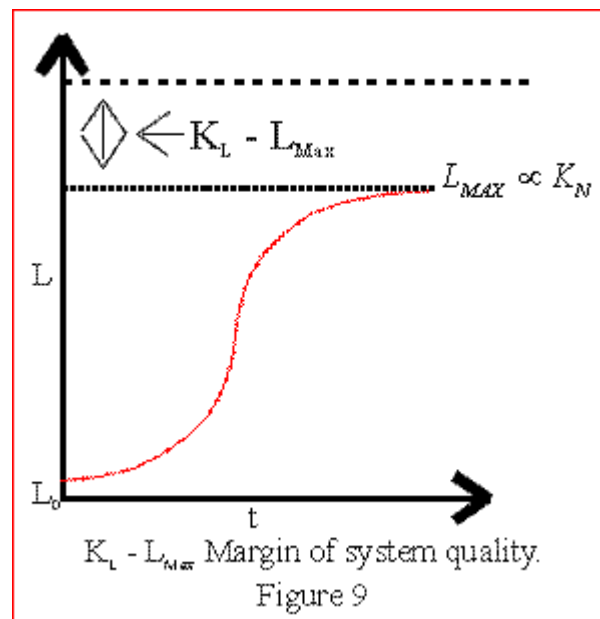
Allò que resulta més cabdal és que K_L no reflecteix simplement el comportament de L ; K_L reflecteix també la capacitat de R per suportar L . Si R fos, posem per cas, una vaca a la que munyim cada vegada amb més freqüència, aleshores K_L seria el punt més enllà del qual els nostres intents d'obtenir més llet perjudicarien la vaca de forma permanent. Si la població N guanya accés a més recursos (pot disposar de més vaques, per dir-ho així), podrà potser establir un K_N més alt, però no hi ha manera d'augmentar la K d'un determinat recurs.

K_N pot augmentar o disminuir, però el K_L d'un R particular només pot disminuir. K_L depèn de les possibilitats fisiològiques del recurs, que estan limitades, de la mateixa manera que les possibilitats fisiològiques d'una vaca ho estan. De fet, cal aplicar la noció d'*estrés fisiològic límit* no solament a recursos concrets, ans al planeta terra en el seu conjunt, com ho ha descrit en James Lovelock. Seria oportú incorporar en els *currículums* de la enginyeria -i del món universitari, en general- alguns dels fonaments de la nova ciència de la geofisiologia (Gaia) introduïda per Lovelock.

L'ecòleg Eugene Odum suggereix que en la natura, l'existència d'un K_N per a determinades espècies no significa que aquestes espècies hagin assolit el que nosaltres anomenem el límit K_L dels seus recursos per resistir impactes, perquè la majoria de les espècies han coevolucionat amb el seu recurs de suport i han desenvolupat els patrons de comportament que tendeixen a maximitzar el sistema coevolucionat en benefici mutu de totes les espècies residents. Per tant, la màxima L que una espècie típica posa sobre els seus recursos està significativament per sota del valor de K_L per a aquests recursos.

Odum indica que en una relació estable coevolucionada entre la població N de l'espècie i el recurs renovable R , la càrrega imposada per N sobre R no augmenta més que la càrrega màxima $L_{max} < K_L$, de tal forma que sempre hi ha un marge confortable $K_L - L_{max}$, el que podríem anomenar marge de qualitat del sistema, tal com es mostra esquemàticament en la Figura 9. Es pot donar per assumit que mentre $K_L - L_{max}$ quedi per sota d'algun valor mínim, la qualitat del sistema arriba a ser precària. Això és el que significa dir que $K_L - L_{max}$ és el marge de qualitat del sistema.

Des del moment que la humanitat no participa ja en el procés natural de coevolució, no podem esperar que una $L_{max} < K_L$ es desenvolupi espontàniament per establir un marge de no precarietat per a l'home. Estimar una K_L i determinar la L_{max} humana en una forma ecològica responsable, seria la tasca crítica de l'enginyeria sostenible, que hauria d'incloure, és clar, un ampli component de ciència ambiental.



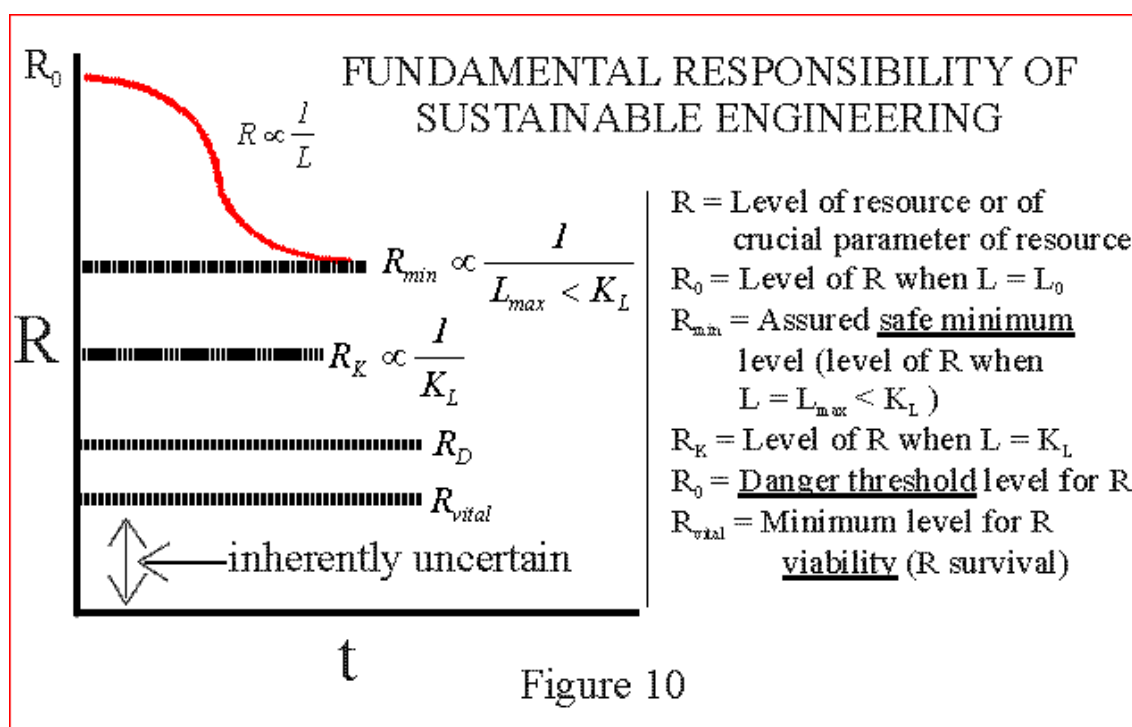
En un sistema natural coevolucionat, una població estable K_N ha de comportar les condicions per a l'establiment espontani de la $L_{max} < K_L$ que la població K_N posa sobre els recursos R que li donen subsistència, perquè $L > K_L$ ocasiona una declinació permanent en R , que eventualment no podria sostenir més a N en el determinat nivell K_N . A més, recordant que $L = C \times N$, se suposa que les espècies no humanes incrementen L solament incrementant N , des de que la fisiologia natural d'individus en qualsevol espècie condiciona un valor natural màxim de consum per càpita C_{max} que es pot considerar invariant. Es pot suposar que des del punt de vista d'un R que garanteix la subsistència d'una determinada espècie natural qualsevol, el valor $C_{max} \times C_{RDR}$ per aquesta mateixa espècie resulti insignificant. L'objectiu equívoc de la indústria humana que tracta de complaure un consum per càpita C_{CEV} per sobre de qualsevol limitació, ha convertit l'home en un problema per a la terra.

L'objectiu fonamental del nou paradigma d'enginyeria és doncs la sostenibilitat de la terra. L'enginyeria sostenible té que enfocar els requeriments associats a R i la seva relació amb els processos de producció industrial i d'ocupació de territori. No només ha d'assumir que qualsevol R determinada varia inversament amb l'increment de L , i que per a cada tipus d' R hi ha una K_L més enllà de la qual la capacitat d' R per resistir L disminueix. També ha d'assumir que per a cada R hi ha algun valor mínim R_{vital} , més enllà del qual R s'acaba i desapareix completament.

Es pot postular un nivell una mica més alt, R_D , com líndar de perill que indica un nivell força precari de vulnerabilitat davant fluctuacions ambientals que puguin reduir sobtadament un R renovable per sota del valor R_{vital} .

Per sobre de R_D , pot postular-se un nivell R_K inversament proporcional a K_L , tal que qualsevol reducció per sota d'un R_K existent pot ser irreversible en el temps equivalent a la durada d'una vida humana o més, però mentre el resultat del nou R_K continués siguent significativament més gran que R_D , la reducció no podria amenaçar l'extinció del recurs. Per sobre de R_K es pot suposar un R_{min} mínim sostenible fiable, inversament proporcional a $L_{max} < K_L$, que permetria raonablement un rebot ràpid a valors més alts de R quan L es reduís.

Malgrat que l'aplicació afinada d'aquestes idees a recursos específics requeriria un treball considerable, és ben cert que aporten un marc clar i ben delimitat per raonar sobre les implicacions considerades. Aquest marc, sintetitzat a la Figura 10, permet orientar el nou paradigma de l'enginyer i concebre directament la sostenibilitat en termes de R ; és a dir, en termes del mateix recurs. La sostenibilitat és una condició tal que permeti $R > R_K$.



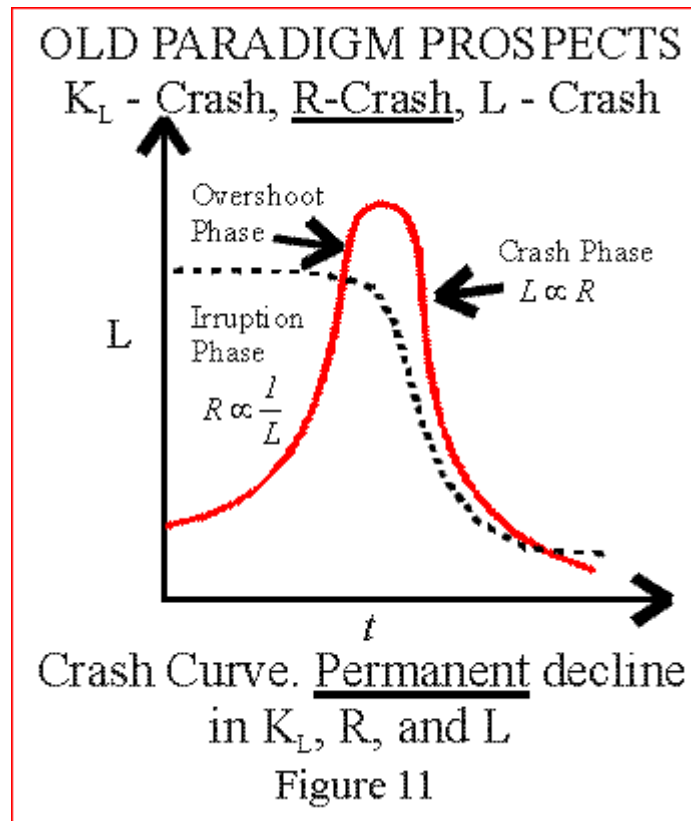
Es tracta que les activitats derivades de la pràctica de l'enginyeria suposin càrregues ambientals mínimes. En la pràctica, l'enginyeria sostenible ha de pensar des del punt de vista de la càrrega, tot assegurant-se que $L_{max} < K_L$. En aquest sentit, un repte fonamental de l'enginyeria sostenible és la capacitat de la societat per dotar-se dels mitjans adients per viure segons un sentit usufructuari del conjunt de recursos dels que pot disposar; és a dir, en termes de $L_{max} = C_{RDA} \times K_N$ respecte a la R

del planeta. I això, perquè el marge de qualitat de la terra K_L-L_{max} sigui sempre suficientment gran com per garantir la continuïtat dels nivells de qualitat ambiental del planeta.

Els sistemes naturals tenen un valor intrínsec, que s'ha de mantenir a banda de qualsevol interès específic de grups i comunitats. Aquesta és una raó addicional que explica el fet que K_L no es pugui calcular exactament: no es pot quantificar el valor intrínsec de R . K_L no és un límit maltusià; és una forma quantificable de representar una decisió conscient pel que fa al nostre propi comportament. Tal decisió ha de derivar finalment en un compromís no quantificable i fet sense propòsit d'avantatge material. K_L representa un compromís, no una conveniència màxima per a nosaltres mateixos, però sí una qualitat màxima per al nostre món.

El límit de K_L és un concepte quantitatiu que ens permet contrastar mitjançant una imatge concreta la diferència entre enginyeria insostenible i sostenible. Vegi's, que la fase r de la corba logística en la Figura 8 és anàloga a una corba de creixement exponencial. Aquesta fase r representa el comportament de civilització adoptat respecte a l'ambient (R) des de l'inici de l'agricultura. Malgrat el perill d'assolir una càrrega irreversible sobre R , i especialment des de l'inici de la tecnologia industrial, s'ha anat incrementat la L per part de l'home en una contínua acceleració.

L'enfocament estret del vell paradigma de l'enginyeria, podriem definir-lo com la seva fase r , una enginyeria que pensa estrictament des del punt de vista de les fites de la producció. Segons el procés d'irrupció en creixement exponencial que es representa en la Figura 8, aquesta fase r d'evolució tecnològica és insostenible per definició. Si l'enginyeria persisteix segons la fase r i s'ignora la necessitat d'establir el límit K_L , s'arribarà a un nou tipus de corba per a L que porta al col.lapse d' R , com es mostra a la figura 11.



La figura 11 mostra com K_L decau quan L excedeix a K_L , perquè R està ja permanentment malmesa i la seva capacitat per suportar L no cesa de disminuir. Vegi's que a la fase d'irrupció, R és inversament proporcional a L ja que l'augment en L ocasiona inicialment una declinació reversible en $R > R_K$ (veure també Figura 10).

A la fase de xoc però, L és directament proporcional a R , ja que la disminució en L és paral·lela a la disminució irreversible de $R < R_K$. En aquest moment, una disminució extrema de K_L i R , fa caure L tan ràpidament com havia pujat, sense que ara hi hagi cap base del recurs que pogués permetre una recuperació. Si K_L s'arribés a reduir tant, no es trobaria prou base del recurs per a la supervivència en un nivell mínim de C_{NMD} . Tampoc l'explotació de recursos extraterrestres, proposada per alguns com un remei per a l'esgotament del recursos terrestres, podrien compensar la devastació ecològica de la terra, especialment si s'estronegessin determinats processos geofisiològics crucials.

L'alternativa, per suposat, és la fase k d'enginyeria o tecnologia, que basa la planificació tecnològica en la necessitat de mantenir L per sota de K_L , com es mostra en forma simplificada a la Figura 8. El resultat és la fase k de la tecnologia.

Molts del desenvolupaments de la fase k poden ser enormement rentables. La fase k de l'enginyeria comporta una filosofia de planificació que apunta no solament a sostenir R , sinó que en

fer-ho així aporta oportunitats i llibertat màximes per a tots, evitant l'excés de pressió que fa disminuir avui els recursos.

Les fites de la fase k de producció han de subordinar-se a la fita de sostenir els recursos renovables, qüestió de la que depenen les possibilitats de producció en el futur. Això, perquè la fase k d'enginyeria reconeix que cada augment de producció representa un augment de càrrega ambiental, i l'ambient té límits relatius a la càrrega que pot suportar. La vella forma de la fase r d'enginyeria dóna a la producció immediata el benefici del dubte, i exigeix una demostració del greuge ambiental existent abans de retenir-se. Però les probabilitats de greuge han arribat a ser massa grans. La fase k d'enginyeria dóna a la terra el benefici del dubte. És el tomb que ha d'aportar la nova enginyeria sostenible com garantia de futur.

2.4. LA TERMODINÀMICA DE PROCESSOS IRREVERSIBLES I LA TEORIA DEL CAOS, CAMÍ PER ESTABLIR LES VIES DE SOSTENIBILITAT.

“El planeta terra ha passat per diferents estats evolutius. Ara, a finals del segle XX la tecnoesfera introdueix nous elements de canvi molt significatius en la biosfera, que condicionen la seva pròpia supervivència. La termodinàmica clàssica no permet explicar aquests processos evolutius, dins dels quals cal situar els criteris de sostenibilitat. Tanmateix però, la termodinàmica dels fenòmens irreversibles permet redreçar aquesta situació al estudiar els sistemes estacionaris i les estructures dissipatives, configurant models que ens permeten explicar les situacions dels sistemes fora de l'equilibri i l'establiment de vies de sostenibilitat.” (García, J. 1995).

2.4.1. Sistemes oberts

“Es denomina sistema a aquella part del univers que prenem en consideració” (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989).

Segons Margalef “un sistema és un conjunt que es pot descomposar, encara que sigui idealment, en elements que no són independents els uns dels altres. En realitat, res escapa a aquesta definició. Tot component té la seva capacitat de canvi limitada pel fet de pertànyer a un sistema; aquesta limitació afecta al conjunt de les probabilitats de canvi, de forma que els futurs estats es fan més vaticinables, o més influïts per l'estat actual del sistema que és necessari vèncer” (Rueda, S., 1995a).

És a dir, “un sistema és tot allò que es pot ‘dissegar’, on reconeixem parts separades que actuen unes sobre les altres. El sistema canvia amb el pas del temps, però conserva propietats invariants. Un sistema es concep compostat d'elements i d'interaccions que posen en relació uns elements amb els altres. El resultat d'aquestes interaccions es que, suposant que persisteixin, no podem dir que els futurs estats siguin completament indeterminats o a l'atzar. El més important és l'existència de restriccions, que d'alguna manera limiten (introdueixen un cert determinisme) l'àmbit dins el qual se situen els futurs estats” (Rueda, S., 1995a).

Habitualment, es distingeixen varis tipus de sistemes: sistemes aïllats, tancats i oberts, en el nivell més general.

Un sistema és aïllat quan no experimenta cap intercanvi d'energia ni de massa amb el seu entorn. Si experimenta intercanvi energètic però no de massa, el sistema és tancat i si intercanvia massa i energia amb l'entorn es dirà que és obert.

Els sistemes vius no són sistemes aïllats sinó que intercanvien energia i massa amb el món exterior: mengen, respiren, excreten ... "Un sistema viu mor poc després de ser aïllat" (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989).

Segons S. Rueda (1995), un sistema obert significa que:

- Entra en intercanvi amb el medi o entorn.
- Aquest intercanvi és essencial per al manteniment del sistema.
- D'aquest intercanvi depèn, a més, la seva capacitat reproductiva i de continuïtat, així com la seva capacitat de transformació.
- El medi o entorn és tan important com el sistema.
- De fet, entorn i sistema constitueixen subsistemes d'un sistema més ampli.
- La transacció sistema/entorn - entorn/sistema constitueix el fenomen més important a considerar.

"Els ecosistemes són sistemes oberts; són sistemes que requereixen energia exterior per al manteniment de la seva estructura i pervivència. Sense l'energia suficient el sistema no pot més que degradar-se; sense aquest flux energètic es produeix un desordre organitzatiu que representa una decadència ràpida" (Rueda, S., 1995a).

"La biosfera com un tot és un sistema obert on els circuits aquosos, gasosos i minerals intercanvien substàncies i dissipen energia. Es pot considerar de tota manera, que el sistema global està format per subsistemes compresos en altres subsistemes de manera que la seva definició té, intencionadament, uns límits arbitraris. L'home, les seves màquines, les seves xarxes de comunicació i monetàries són part de l'ecosistema i formen part, també, dels seus diagrames energètics i d'informació.

La majoria de les fraccions d'un sistema que s'estudien com ecosistemes són també part d'altres ecosistemes majors i, al mateix temps, contenen parts més petites que es poden estudiar també com ecosistemes" (Rueda, S., 1995a).

2.4.2. Termodinàmica de processos irreversibles

La termodinàmica és la ciència clau per a la comprensió i descripció general de l'evolució dels sistemes.

“Els sistemes vius en general i els sistemes on participa l'home en particular, són àrees on la termodinàmica mostra el seu major impacte ja que són els que contenen el major grau de complexitat i una línia inconfusible d'irreversibilitat en el temps” (Rueda,S., 1995a).

El primer principi de la termodinàmica postula la conservació de l'energia total d'un sistema en el decurs de les seves transformacions.

$$\Delta U = q + w$$

q: Calor guanyat pel sistema al passar d'un estat A a un estat B.

ΔU : Variació d'energia interna del sistema.

w: Treball realitzat sobre el sistema.

Es consideren w i q positius si es realitza treball sobre el sistema (es comprimeix) i si s'hi aporta calor.

Ara bé, aquesta primera llei no té en compte el factor de la irreversibilitat en el temps. No fixa cap sentit en l'evolució dels processos, en contrast amb el que s'observa en la natura on apareixen sentits preferents (el calor és transmet de calent a fred).

Amb el segon principi de la termodinàmica, “s'aporta la irreversibilitat del temps i, amb ella, una direcció ben definida per a les evolucions del sistema” (Rueda,S., 1995a).

La formulació matemàtica de la segona llei, deguda a Clausius (1865), introdueix una nova funció d'estat, l'**entropia**, definida com:

$$S_B = S_A + \int (dq_{rev} / T)$$

S_A : Valor assignat a l'entropia de referència del estat A

S_B : Valor assignat a l'entropia de referència del estat B

T: Temperatura absoluta.

dq_{rev} : Calor intercanviat en un procés reversible ideal infinitesimal.

El segon principi aporta, amb aquesta primera formulació, un criteri d'evolució cap al futur, però pren una força especial amb l'interpretació estadística de Boltzman.

Boltzman va relacionar l'entropia S d'un estat qualsevol d'un sistema amb el número W de microestats compatibles amb el macroestat, segons la relació:

$$S = k \cdot \ln W$$

$k = \text{Constant de Boltzman} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Segons la interpretació de Boltzman, la natura tendeix cap al desordre, o cap un número creixent de microestats accessibles al llarg del temps.

“L'entropia és la mesura de fins a quin punt l'energia disponible en qualsevol sistema de l'univers està canviant a una forma no utilitzable” (Rifkin, J. i Howard, T., 1990).

2.4.2.1. Els sistemes estacionaris fora de l'equilibri

Un dels objectius de la termodinàmica lineal de processos irreversibles és l'estudi dels estats estacionaris fora d'equilibri.

“Els sistemes vius no estan en equilibri sinó fora d'ell. Un sistema en equilibri és un sistema mort” (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989).

La diferència entre un estat d'equilibri i un estat estacionari fora d'equilibri radica en que per mantenir aquest últim s'ha de subministrar contínuament energia al sistema, cosa que no és necessària quan l'estat és d'equilibri.

2.4.2.2. Mínima producció d'entropia

En general, sabem que la variació d'entropia dS esta definida per:

$$dS = dq_r / T$$

on dq_r és el calor intercanviat entre el sistema i el medi quan aquell evoluciona de forma ideal i reversible des de el estat inicial a l'estat final. Si en comptes d'utilitzar el calor dq_r intercanviat en el procés ideal reversible, utilitzem el calor dq intercanviat en el procés real tindriem:

$$dS \geq dq / T = d_e S$$

La igualtat s'aplica només si el procés és reversible. Hem indicat $d_e S$ com l'intercanvi d'entropia del sistema amb l'exterior. Aquesta desigualtat pot escriure's en forma d'igualtat com:

$$dS = d_i S + d_e S$$

On $d_i S$ representa l'entropia produïda en el propi sistema. Aquesta igualtat expressa que l'entropia del sistema pot variar per dos motius: 1) per transport d'entropia a través de les parets del sistema

($d_e S$) (aquest intercanvi pot ser positiu, si entra entropia des del exterior); i 2) hi ha una producció o creació d'entropia en el interior del sistema ($d_i S$) (aquest terme, segons la segona llei de la termodinàmica, ha de ser sempre positiu). En un procés reversible, $d_i S=0$, és a dir, la variació d'entropia és deguda exclusivament al intercanvi amb l'exterior, sense que l'entropia total augmenti. En un procés irreversible, en canvi $d_i S \geq 0$. Observi's que en un sistema aïllat, on és impossible un intercanvi amb l'exterior, $d_e S=0$. Aleshores,

$$dS = d_i S \geq 0$$

i recuperem llavors, el criteri segons el qual en un sistema aïllat l'entropia només pot créixer.

“La segona llei no afirma que l'entropia sempre tingui que créixer. Això només és cert per sistemes aïllats. Per als sistemes vius, l'entropia pot disminuir, amb la condició de que la de l'ambient augmenti” (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989)

“Els ecosistemes en situació estacionària són invariants en el temps, però la seva subsistència és dependent d'inputs permanents del seu entorn, on a més exporten entropia. A diferència dels sistemes en equilibri estables, també invariants amb el temps, no han assolit un màxim estable entròpic i per això són compatibles amb la vida, donat que els organismes vius disminueixen la seva entropia a càrrec del entorn” (García, J., 1995).

Prigogine va demostrar cap al 1945 que en certes condicions (lleis fenomenològiques), la producció d'entropia en els estats estacionaris és mínima. Va raonar que el terme general de l'entropia pot dividir-se en dos parts. La primera reflecteix els intercanvis entre el sistema i el món exterior i la segona descriu quina quantitat d'entropia es produeix dins del mateix sistema.

La segona llei de la termodinàmica exigeix que la suma d'aquestes dues parts sigui positiva, excepte en el estat d'equilibri, el primer terme serà tant positiu que, encara sent negatiu el segon terme, la suma seguirà sent positiva. Això significa que, sense violar la segona llei, els sistemes molt allunyats de l'equilibri poden experimentar una disminució de l'entropia local.

A més hem de tenir en compte que “la producció d'entropia està relacionada amb la disminució del rendiment en els processos reals, en comparació amb els processos reversibles, on la minimització entròpica porta aparellada sovint una maximització del rendiment dels processos” (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989).

2.4.3. Els sistemes estacionaris com models de sostenibilitat.

“Els sistemes estacionaris ofereixen una producció minimitzada d'entropia. És la manera d'acostar-se al màxim a les situacions més estables dels equilibris dinàmics presents en la termodinàmica clàssica. Per això, aquesta mena de sistemes reuneixen condicions per ser presos com models per als sistemes socioeconòmics actuals en la línia d'aconseguir criteris de sostenibilitat, ja que aquesta és fonamenta de fet en una lluita contra l'entropia. Hem de recordar com els organismes vius, han d'exportar-la contínuament al medi. Per altra banda, interessa limitar la seva producció, ja que el medi té una capacitat limitada per absorbir-la, dins dels seus cicles biogeoquímics” (García,J.,1995).

Tot el procés evolutiu en el nostre planeta s'ha produït a través de mecanismes de bifurcació, en les fluctuacions de les estructures dissipatives generades, quan els estats estacionaris s'apartaven de les formulacions lineals. Però si es pren la situació de crisi actual, derivada d'un procés evolutiu pervers, “podríem estar davant d'una ‘insostenibilitat sistèmica’ que es resoldria amb una nova etapa evolutiva, on l'espècie humana potser no hi tingués lloc, o li tingués segons formes de vida molt diferents de les actuals” (García,J.,1995).

Si es tracta d'evitar aquesta situació seria necessari segons García,J.:

- a) Evitar les fluctuacions desequilibradores dels estats estacionaris.
- b) De produir-se un canvi resultant d'un procés evolutiu, poder controlar la bifurcació cap un nou estat previst, no només compatible amb les condicions escollides per la nostra civilització, sinó també dins d'unes expectatives de futur a llarg termini.
- c) Afavorir els processos rics en diversitat, donat que a vegades no ofereixen uns rendiments tant grans de forma immediata, però ofereixen majors garanties d'estabilitat.
- d) Potenciar les estructures optimitzadores en la captació d'energia solar a mitjà i llarg termini, ja que per moure la biosfera i la tecnosfera necessitem energia i aquesta, apart de la gravitatòria i la geotèrmica, no ens queda més que l'externa solar, ara com ara utilitzada amb un rendiment molt baix.

L'anàlisi teòric aplicat a la sostenibilitat del nostre sistema socioeconòmic actual presenta dos alternatives, sota el criteri de Garcia, J.:

- 1) Una fugida cap endavant hipertecnificada, que produiria canvis molt radicals en la biosfera, on la biotecnologia podria no només actuar sobre els ecosistemes, sinó també tenir la temptació d'actuar sobre el genoma humà i on l'hiperconsum d'energia nuclear de fusió, introduiria canvis energètics difícilment estables termodinàmicament, a llarg termini, en el nostre planeta.
- 2) Un sistema estacionari minimitzador de producció d'entropia, situat harmònicament dins la biosfera, amb possibilitat de sostenir les seves activitats en un període acceptablement llarg.

Aquest últim model presentaria:

- Una tecnologia basada en l'energia solar, la més descentralitzada possible, (potser puntualment reforçada per l'energia de fusió), segons una transició esglaonada a partir dels combustibles fòssils actuals.
- Una reconversió del nostre sistema industrial basat en productes no renovables i limitat a productes abundants al planeta com els silicats, el carbonat càlcic, l'aigua, l'hidrogen, els materials orgànics naturals,... on la producció de nous productes per part de la química estaria sotmesa a criteris ecològics com la biodegradabilitat i el reciclatge, i no només als de la rendibilitat immediata. En l'àmbit socioeconòmic les ecotaxes són ja un primer pas, en la regulació dels problemes ambientals, generats per un sistema productiu ambientalment no harmònic.
- Una agricultura sostenible lliure de la hipoteca dels combustibles fòssils, on els requeriments de qualitat de vida s'introdueixen com elements a tenir en compte segons un concepte ampliat de rendibilitat.
- Uns models de consum equilibrat, en el marc d'uns nous estils de vida. La telemàtica tindrà un paper cabdal, per la seva capacitat d'ajudar a reduir el consum de molts materials no renovables i disminuir el consum energètic.
- Un control de la població.
- Una organització socioeconòmica al servei del conjunt de tota la humanitat amb polítiques globalistes, però també àmpliament descentralitzada, donat que els problemes a resoldre, si bé són globals a nivell planetari, alhora, presenten singularitats regionals.
- Les línies bàsiques d'actuació s'haurien de desenvolupar en un procés gradual de transformació, atesa la necessitat de noves formulacions en els estils de vida actualment arrelats en la societat, amb les corresponents readaptacions de les estructures econòmiques.

2.4.4. Teoria no lineal

2.4.4.1. Reorganització estructural dels sistemes estacionaris fora del equilibri.

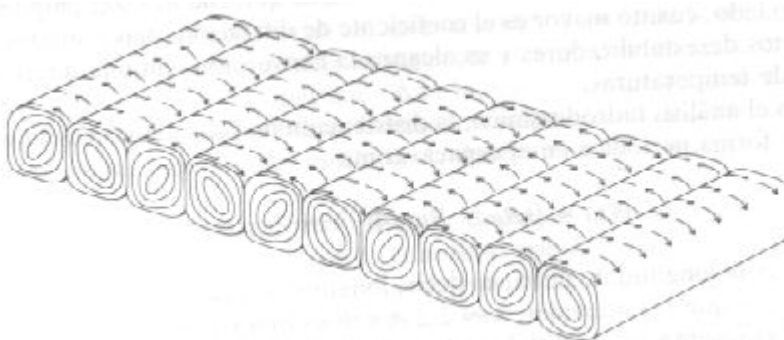
Com s'ha comentat anteriorment, els sistemes estacionaris fora de l'equilibri poden disminuir la seva entropia a expenses de que augmenti la del entorn. "Per als sistemes aquesta disminució es manifesta com un impressionant augment d'organització interna" (Rueda, S., 1995a).

“Quan un sistema es va apartant gradualment del equilibri arriba un moment en que l'estat estacionari corresponent deixa de ser estable. Un cop assolida aquesta situació, el sistema es reordena; apareix una “mutació” estructural. Per mantenir el sistema en aquesta nova configuració hem de subministrar-li contínuament energia, ja que es tracta d'un estat fora d'equilibri. Si no li subministrem energia (si l'ésser viu deixa de respirar) el sistema s'acosta cap a l'equilibri i l'estructuració desapareix” (Jou,D. i Llebot,J.E., 1989).

La convecció de Bénard il·lustra perfectament, dins la seva simplicitat, la idea fonamental d'aquesta última part. Consisteix en l'escalfament d'un fluid de viscositat η , i densitat ρ mantingut entre dos plaques horitzontals paral·leles separades una distància d en general petita. Aquest escalfament es produeix a través de la placa inferior, la temperatura de la qual, T_2 , es pot regular i variar. La temperatura de la placa superior, T_1 , es manté constant, mitjançant algun mètode de refrigeració.

Si es comença a escalfar la placa inferior, quan la diferència de les dos temperatures assoleix un cert valor crític, els efectes ascensionals de la dilatació igualen els efectes dissipatius. Per valors de T_1 lleugerament majors que aquest valor crític, predominen els efectes ascensionals i el fluid comença a moure's. El curiós és que aquest moviment està perfectament estructurat: el fluid es divideix en cèl·lules cilíndriques horitzontals de convecció (Fig. 1). En elles el fluid gira en el pla vertical: en alguns punts, el líquid calent puja; un cop arriba, es refreda i la seva densitat augmenta de nou induint un moviment cap avall.

Veiem, doncs, com estant suficientment allunyats del equilibri, és a dir, per valors suficientment grans de la diferència de temperatures entre les dos plaques, el sistema s'estructura espontàniament. D'altra banda, aquesta estructura desapareix en quant deixem d'escalfar el sistema, ja que, en eliminar el subministrament de calor, la diferència de temperatures disminueix, el moviment s'atura i el líquid assoleix finalment l'estat d'equilibri de temperatura uniforme. En altres paraules, “s'ha d'alimentar contínuament el sistema per que aquest pugui mantenir la seva estructura espontània. En quant deixem d'alimentar-lo, la seva estructura comença a difuminar-se, el sistema “mor”, i s'assoleix l'estat d'equilibri” (Jou,D. i Llebot,J.E., 1989).



Per destacar la connexió entre els processos autoorganitzatius i la producció d'entropia, Prigogine anomena sistemes "dissipatius" en aquestes estructures relacionals, en oposició a les estructures conservatives d'equilibri. "Per fer notar l'aparició espontània de l'estructura organitzada, Prigogine recalca l'important paper que hi juga la producció d'entropia" (Hayles, N.K., 1993).

E. Morin al 1994, va establir per als ecosistemes, dos aspectes cabdals: el primer planteja que les lleis de les organitzacions complexes autoorganitzatives no són d'equilibri, sinó de desequilibri, de dinamisme estabilitzat; el segon aspecte formula que l'intel·ligibilitat del sistema ha de trobar-se no solament en el propi sistema, sinó també en la seva relació amb l'ambient, i aquesta relació no és una simple dependència, sinó que és constitutiva del sistema.

Segons Margalef, "cap esdeveniment passa sense deixar petjada. Si per un costat es comptabilitza com un augment de la funció entròpica, es pot reconèixer, per altre costat, sota la forma d'alguna modificació en l'estructura material on s'ha produït el canvi irreversible, és a dir, la creació d'història" (Rueda,S., 1995a).

2.4.4.2. La complexitat dels sistemes

"Els sistemes simples es comporten de manera simple. Mentre aquests sistemes puguin reduir-se a un nombre limitat de lleis, ben enteses i totalment deterministes, el seu comportament a llarg termini seria estable i previsible" (Gleick,J. 1988).

En canvi, els sistemes complexos -entenen la complexitat no sols com "quantitat d'unitats i interaccions que desafien les nostres possibilitats de càlcul, sinó que a més intervenen incerteses, indeterminacions i fenòmens aleatoris" (Rueda,S., 1995a)- estan lligats "amb els sistemes semialeatoris i el seu ordre és inseparable de l'atzar" (Rueda,S., 1995). "El comportament complex implica causes complexes" (Gleick,J.,1988).

Per tant, la complexitat és, segons Morin "el teixit d'esdeveniments, accions, interaccions, retroaccions. determinacions, i atzars que constitueixen el nostre món fenomènic." (Rueda,S., 1995a).

I de fet "es fa evident que la vida és un fenomen de autoorganització complex que genera autonomia; els ecosistemes dels que formen part els organismes vius també són sistemes complexos on l'organització i el desordre són cares d'una mateixa moneda, on la incertesa és consubstancial a la seva realitat fenomènica, on l'evolució depèn d'un sistema més ampli que li proporciona la matèria, l'energia i la informació per a la seva reestructuració continua cap un nou ordre." (Rueda,S., 1995a).

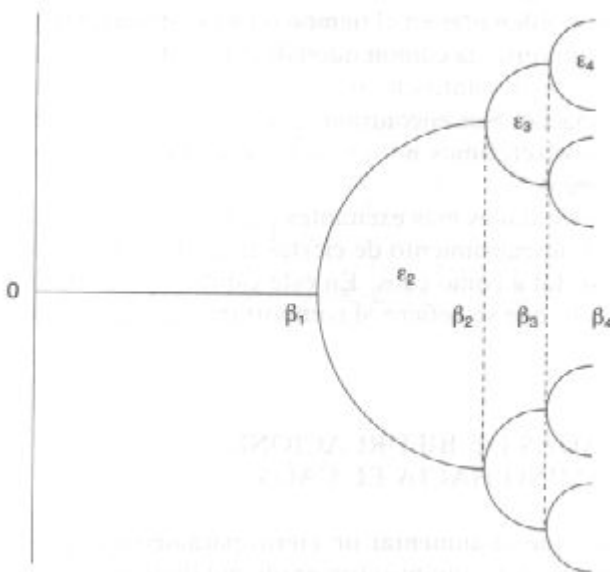
“La complexitat prolifera en el nostre món, i qui recorre a la ciència per entendre de forma general els hàbits de la natura es veurà satisfet amb les possibilitats que ofereixen les lleis del caos” (Gleick, J., 1988).

2.4.4.3. Encara més lluny de l'equilibri. Rutes cap al caos

“Si definim un cert paràmetre β que descriu l'allunyament del sistema respecte de l'equilibri (per exemple un gradient de temperatures), s'arriba a un valor β_1 que determina una situació caracteritzada per una freqüència o una longitud d'ona ben definides. Al seguir augmentant el paràmetre β_1 s'arriba a un valor β_2 , en el que l'estat caracteritzat per una sola freqüència es fa inestable; en lloc seu, apareix un estat caracteritzat per dos freqüències no commensurables f_1 (l'inicial) i f_2 (la nova). Aquesta situació es pot anar repetint diversos cops per valors $\beta_3, \beta_4, \beta_5, \dots$ de manera que anirem passant per estats cada cop més complicats” (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989).

Tornant al fenomen de la convecció de Bénard, hi trobem un exemple d'aquest comportament; “al augmentar la diferència de temperatures entre les plaques que limiten el fluid, apareixen primer uns cilindres d'un diàmetre donat. Al assolir una segona diferència de temperatures crítica (el paràmetre β , en aquest cas), aquests cilindres adopten, vistos des de dalt, una forma sinusoïdal, amb una longitud d'ona característica, i així successivament” (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989). L'esquema d'aquest tipus de fenòmens o cascades de bifurcacions és el que es mostra en la figura 2.

“Durant molt temps es va creure que els valors crítics $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$, etc, del paràmetre que representa la distància a l'equilibri (gradient de temperatures) en el que es produeixen la primera, segona, tercera ... bifurcacions eren propietats específiques de cada sistema, sense cap característica globalitzadora.



Tanmateix, l'any 1975, Mitchell Feigenbaum va descobrir la relació abstracta, de caràcter molt general,

$$\lim \frac{\beta_n - \beta_{n-1}}{\beta_{n+1} - \beta_n} \rightarrow 4,669201\dots$$

i que,

$$\lim \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{n+1}} \rightarrow 5,5029\dots$$

on ε_i és la separació entre les dues branques procedents de la (i-1)ésima bifurcació. Així l'esquema de la cascada de bifurcacions presenta una sèrie de característiques universals, és a dir independents del sistema concret" (Jou, D. i Llebot, J.E., 1989).

"En la perspectiva de Prigogine, la bifurcació -el trencant on es produeixen ramificacions- és un concepte essencial. En un sistema, la bifurcació és un instant vital quan quelcom tant petit com un fotó d'energia, una lleu fluctuació en la temperatura externa, un canvi de densitat o l'esbatec d'una papallona a Hong-Kong es magnifica per iteració, fins assolir una certa dimensió que genera una ramificació i el sistema adopta un nou camí" (Briggs, J. i Peat, F.D., 1990).

"En el decurs del temps, les cascades de punts de bifurcació fan que un sistema es fragmenti (duplicació de períodes). Un sistema que ha passat per una bifurcació pot resistir nous canvis durant milions d'anys fins que una nova pertorbació crítica crea un nou punt de bifurcació" (Briggs, J. i Peat, F.D., 1990).

Arriba un punt, que les opcions que pot adquirir el sistema són tant complexes que els graus de llibertat són virtualment infinits. En altres paraules, "l'ordre de la opció és tant elevat que és un caos. A més, cada decisió presa en un punt de ramificació implica l'amplificació de quelcom petit. Encara que la causalitat opera en cada instant, les ramificacions s'esdevenen imprevisiblement" (Briggs, J. i Peat, F.D., 1990).

Ara bé, "els sistemes caòtics com el temps atmosfèric són localment imprevisibles però globalment estables" (Briggs, J. i Peat, F.D., 1990). És a dir, els sistemes dinàmics es poden mantenir estables fins que es produeixi una pertorbació crítica. I un cop produïda aquesta, la predicció esdevé impossible. "Les funcions no lineals impliquen amb freqüència una incongruència sorprenent entre causa i efecte, de manera que una causa petita pot donar origen a un efecte gran" (Rueda, S., 1995).

“Mínimes diferències d'entrada o *input* arriben a transformar-se ràpidament en enormes diferències de sortida o *output*, fenomen que es s'ha denominat “dependència sensitiva de les condicions inicials” (Gleick,J.,1988).

Per tant “en el món no lineal -que inclou la major part del nostre mon real- la predicció exacta és pràctica i teòricament impossible” (Briggs,J. i Peat,F.D., 1990).

“La nostra percepció de la bellesa s'inspira en la harmoniosa disposició d'ordre i desordre, tal com es mostra en molts objectes naturals: núvols, arbres, serrats o cristalls de neu. Les formes de tots ells són processos dinàmics buidats en figures físiques. Són formes que queden tipificades per combinacions especials d'ordre i desordre” (Gleick,J.,1988).

Tot això, juntament amb el descobriment pels estudiosos de les dinàmiques caòtiques, “que del procedir desordenat de sistemes senzills sovint en segueix un procés creatiu” (Gleick,J.,1988), és el que ha portat a que “el caos s'hagi transformat no només en teoria, sinó en mètode; no només en cànon de creences, sinó en una forma de fer ciència ... s'ha convertit en una ciència experimental per a investigadors i matemàtics, en la que l'ordenador substitueix els laboratoris plens de tubs d'assaig i microscopis”. (Gleick,J.,1988).

CAPÍTOL 3: PER A UN PROCÉS D'URBANITZACIÓ SOSTENIBLE

3.1. ORDENACIÓ DEL TERRITORI I SOSTENIBILITAT

A partir d'aquest punt, es tracta de transposar les idees del capítol anterior sobre la sostenibilitat a l'ordenació del territori i en especial als sistemes urbans, com aspecte essencial d'aquesta ordenació.

Els anteriors exemples indiquen que l'estat de la qüestió pel que fa a la idea de sostenibilitat, està transpassant la frontera de l'espai conceptual -on encara se segueix discutint- per aplicar-se a programes, projectes i accions concretes. Si en el cas particular del sector de la construcció l'avanç és incipient, abordar la qüestió en el terreny de l'urbanisme o l'ordenació del territori resulta encara més inèdit per la qual cosa, són ben necessaris treballs d'investigació que contribueixin a la seva aplicabilitat en la planificació territorial.

És objecte precisament d'aquesta tesi d'abordar-ho. A fi de comptes "l'ésser humà, amb si fa o no fa 120 w de potència instal·lada, ha aconseguit optimitzar, al llarg d'una dilatada evolució cosmològica, nombrosos i complicats processos metabòlics i neuronals" (Rueda, S., 1995). L'optimització de l'organització social, en particular l'optimització de l'ús que fa de l'energia, sembla seguir un procés semblant.

Per al territori, la planificació permet endegar d'una forma positiva els mecanismes de caire metabòlic associats a la seva inevitable artificialització (procés irreversible; és a dir seguint el curs d'un temps subjectiu orientat). Ha de tendir a minimitzar els consums energètics i de matèries no renovables, a minimitzar la producció de residus i a reciclar-los al màxim. És, segurament, l'únic camí per fer compatibles dins un àmbit geogràfic determinat objectius igualment desitjables -i desitjats- de sostenibilitat ambiental, desenvolupament econòmic i qualitat de vida.

Cal admetre, de entrada, l'existència d'una "lògica axiomàtica", independent i prèvia a tota causació i els principis de la qual es compleixen en tot ordre fenomenològic (exemples: $2+2 = 4$; llei d'atracció de les masses o camp gravitatori). Dues característiques importants l'acompanyen: a) **no linealitat**, essencial en els fenòmens i processos complexos, amb el patró de la corba o trajectòria "logística" com element formal destacat i útil per a l'anàlisi; b) **neutralitat fenomenològica** (ètica i moral).

Estadis de l'anàlisi territorial proposat:

- definició d'un sistema territorial
- definició dels seus elements i les seves trajectòries temporals (funcions d'estat)
- definició de les interrelacions entre els seus elements
- definició dels fluxes d'intercanvi amb l'entorn: matèria, energia i informació
- els processos orgànics evolutius; lectura termodinàmica

- trasposició dels processos orgànics evolutius al funcionament de les societats humanes
- optimització funcional dels sistemes (organismes) evolucionats; eficiència energètica
- autoorganització i autopoiesi

En el particular vessant de la sostenibilitat que aquí ens ocupa, no es donen pràcticament antecedents, si més no, en allò que seria una visió sistemàtica i global de l'urbanisme i l'ordenació del territori sostenibles com a generalització de la visió ecològica i de la visió termodinàmica (processos irreversibles).

L'estat de la qüestió arrenca de models o patrons propis de diverses disciplines de les "ciències pures": matemàtiques, física, química, biologia, ... i algunes de les "ciències aplicades": ecologia, les diverses branques de l'enginyeria, arquitectura, geografia, medicina, psicologia,... que resulten transposables a les "ciències socials" o "humanístiques", constituïnt un aspecte prou significatiu, dit sigui de pas, en el procés de superació de la tradicional divisió reduccionista entre ciència i cultura (Snow, C. P., 1959).

Aquest procediment metodològic resulta pertinent en la mesura que ens atrevim a donar per sentat que aquesta superació sigui ja un fet pràcticament irreversible (culturalment assumit) i, en conseqüència, qualsevol anàlisi fenomenològic pugui entendre's ja per sempre com inevitablement mixtificat (essencialment "mestís" ciència-cultura).

Malgrat aquesta carència d'antecedents "directes" que ens obliga a temptejar una nova via mitjançant la trasposició descrita, trobem determinades vies parcials obertes: per exemple, Allen/Prigogine (1987) proposen models no-lineals per a l'estudi de l'atractivitat sobre els diferents pols d'un espai geogràfic (La estructura de lo complejo, Alianza), com alternativa més ajustada als models gravitatoris "clàssics" (Reilly, 1929) i que, dit sigui de passada, constitueixen un bon exemple de la superació del paradigma newtonià; o també, en el vessant "ecològic", l'aplicació sistèmica integral proposada en els treballs de R. Margalef i S. Rueda (Ecologia Urbana).

En qualsevol cas, sí que trobem, fruit de la recerca bibliogràfica -i en articles relativament recents, de caire sectorial: energia, cicle de l'aigua, transport o residus sòlids, específicament referits a l'ordenació del territori o al procés d'urbanització-, força referències que utilitzen el recolzament d'un llenguatge conceptual i algunes concrecions formals novadores en aquest sentit, de forma que podem constatar un acostament tendencial, ni que sigui intuïtiu, cap una descripció dels corresponents fenòmens cada vegada més ajustada a les nocions integrades sectors-territori que aquí ens interessien.

3.2. PROCÉS HISTÒRIC RECENT

En els següents apartats d'aquest capítol s'intenta, abans d'entrar en el desenvolupament sostenible, comentar de forma resumida els punts bàsics de l'ordenació urbana des de l'Edat Mitjana fins l'actualitat. Aquests repàs, ens ajudarà a entendre les estructures territorials dels nostres dies i els nous reptes urbans en matèria de medi ambient.

3.2.1. Des de l'Edat Mitjana fins l'arribada de la civilització industrial

Es pot assegurar amb certesa que fins l'època barroca, existia un "model" territorial on estaven clarament delimitades les parcel·les urbanes i les rurals.

Per assegurar la defensa interna de les ciutats, aquestes estaven delimitades per muralles, que creaven a més una frontera amb l'entorn rural i s'evitava també la dispersió del nucli de la interior. Aquests nuclis, també anomenats "cascs" medievals estaven caracteritzats per una organització interna caòtica pel que fa a la seva configuració espacial.

Aquesta configuració peculiar, venia marcada per una organització social on s'equilibraven la diversitat i la cohesió dels sistemes humans.

Els problemes de salubritat que comportava aquest tipus de ciutat i l'entrada de les idees renaixentistes, van trencar els recintes emmurallats i la ciutat va començar a desplegar-se per l'espai obert. La nova realitat social i cultural va portar idees diferents sobre l'espai i l'ordenació del territori, d'una forma o altra relacionades amb la mecànica newtoniana i la geometria d'Euclides com a criteris d'ordre.

"La ciutat barroca es va sotmetre a un pla geomètric estricte en el que l'ortogonalitat i la perspectiva horitzontal varen triomfar sobre la perspectiva vertical que ordenava la ciutat medieval" (Naredo, J.M., 1995b).

Les idees romàntiques del segle XVII van posar de moda la idea de residir en l'entorn rural pròxim a les ciutats; Aquesta forma de pensar és l'avançada dels projectes de les ciutats actuals, on té un cert pes específic la idea de ciutat "jardí", sobretot en l'entorn socio-cultural anglosaxó.

Més endavant, comença a prevaldre l'exclusió geomètrica de l'ordenació barroca que s'esdevingué una constant per tot el territori amb una creixent especulació que ajudava a que el creixement evolucionés de forma erràtica i sense control, tret que igualment representa un antecedent per a les formes actuals d'ocupació del territori.

3.2.2. La necessitat d'ordenar el territori

L'arribada de la revolució industrial el segle passat, va estendre una ètica individualista i insolidària que anà desplaçant els valors ètics i socials preestablerts fins llavors. Això va ocasionar una visió progressivament parcel·laria del territori.

“Els enfocaments d'una ciència parcel·laria i d'una ètica depredadora i insolidària es varen alimentar mútuament per fer més parcial i atomitzadora la reflexió” (Naredo, J.M., 1994).

Els interessos particulars dels propietaris imposaven limitacions per obtenir solucions satisfactòries des d'un punt de vista global, com va reconèixer Cerdà.

L'increment d'aquests interessos i el creixement sense cap compromís global, va inspirar a Cerdà la Teoria General de la Urbanització (1867) on l'il·lustre enginyer va intentar donar a “l'ordenació del territori” l'estatut de ciència. A través d'aquesta nova ciència es pretenia posar un límit al desordre creixent que ocasionava la civilització industrial. Queda clar, doncs, que l'urbanisme modern no neix al mateix temps que els processos tècnics i econòmics propis de la civilització industrial, sinó en un període posterior, on les transformacions ocasionades fan inevitable la necessitat d'una intervenció reparadora.

Com va dir Cerdà en la seva obra magna “aquestes són les raons filològiques que em varen induir i decidir a adoptar la paraula urbanització, no només per indicar qualsevol acte que tendeixi a agrupar l'edificació i a regularitzar el seu funcionament en el grup ja format, sinó també per definir el conjunt de principis, doctrines i regles que han d'aplicar-se, per a que l'edificació i el seu agrupament, lluny de comprimir, desvirtuar i corrompre les facultats físiques, morals i intel·lectuals de l'home social, serveixin per fomentar el seu desenvolupament i vigor i per fer créixer el benestar individual, la suma del qual forma la felicitat pública”.

Cerdà va enumerar tres punts principals com eix de partida per a la planificació de la ciutat (Rueda, S., 1995a):

1. Higiene i salubritat.
2. Equitat i reducció de la injustícia social.
3. Mobilitat.

3.2.3. El funcionalisme com model d'ordenació durant el segle XX

La següent passa en l'ordenació del territori està relacionada amb la necessitat de planificar noves ciutats atenent els nous conflictes interns emergents.

Hi ha una crítica del model de ciutat del segle XIX per la manca de zones verdes i allunyament de la natura, la manca d'equipaments d'oci, d'higiene, i una mescla d'usos, en moltes ocasions contraproductiu, com és el cas de la barreja de l'habitatge amb la indústria. Això comporta uns elevats nivells de segregació social a les perifèries, mentre que el centre queda reservat per als negocis.

El moviment funcionalista, amb Le Corbusier com màxim exponent, opta per un habitatge en blocs en alçada i es zonifica l'espai urbà atenent a quatre funcions bàsiques (Rueda, S.,1995a):

1. Habitatge.
2. Treball.
3. Oci.
4. Mobilitat.

L'inconvenient d'aquest model funcionalista i de la seva accelerada extensió és que suposa uns ritmes elevats de consum d'energia i materials, que cal dedicar en gran part a la mobilitat. Els problemes del *zoning* –o de la seva aplicació poc intel·ligent i excessivament simplista- deriven d'una equívoca noció d'ordre: “un lloc per a cada cosa i cada cosa al seu lloc”. L'especulació immobiliària s'en veu beneficiada, mentre la intensificació exagerada del tràfic s'ajunta amb una activitat industrial poc regulada i tecnològicament primària, per donar lloc a nivells de contaminació inaudits, en franc contrast amb els equilibris socials i ambientals treballats aconseguits al cap dels segles per la ciutat tradicional.

“El nou sistema urbà es caracteritza per la simplificació de les seves parts, entenent que els fragments de ciutat poc complexos consumeixen més material, energia i bens de consum; mentre el territori veu com la conurbació s'estén sense límits, exceptuant els propis de l'orografia” (Rueda,S.,1995a).

Les disfuncions exposades anunciaven així els escenaris conflictius propis de les ciutats en l'actualitat, que malden buscant noves propostes i models basats en un desenvolupament sostenible.

3.2.4. Els nous reptes urbans en el tombant de segle

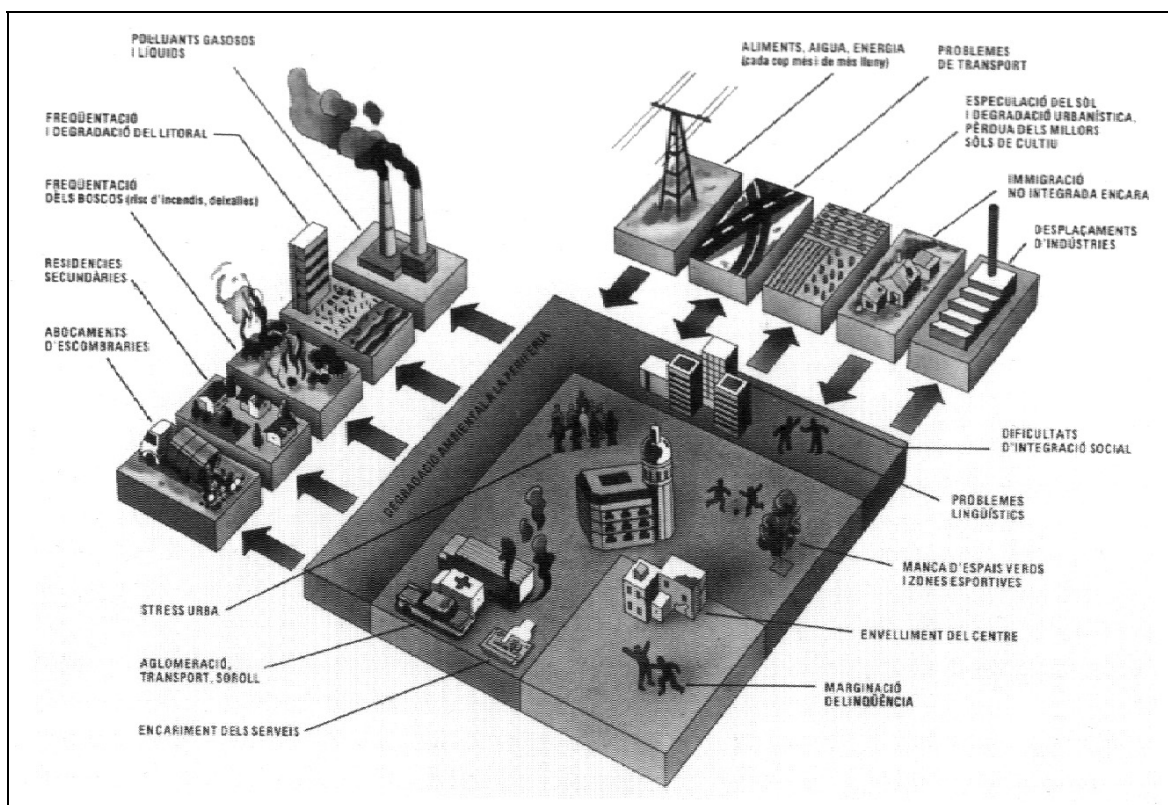
La preocupació pel medi ambient, en tots els nivells, ha estat objecte de reflexió en el capítol anterior. L'ordenació del territori és un camp decisiu per reorientar la societat moderna vers una sostenibilitat global, segons un procés paral·lel al dels sistemes urbans que tracten d'esdevenir localment sostenibles, d'acord amb els paràmetres acceptats majoritàriament.

La sostenibilitat dels sistemes urbans és objecte de debat ja que les estadístiques actuals ens indiquen una tendència a mig termini, de que un 80% de la població europea acabi visquent en àrees urbanes.

Algunes de les disfuncions principals derivades de la planificació "racionalista", que dificulten un funcionament ecològicament orientat -eficient, en un sentit globalitzador- dels sistemes urbans, poden resumir-se en tres punts (Rueda,S.,1995a):

1. El protagonisme adquirit per l'automòbil -lògic i positiu des de l'angle de l'autonomia individual- que ha propiciat el funcionalisme comporta elevats consums d'energia i d'ús del sòl (directa i indirectament), com inductor o motor de nous assentaments urbans; de manera que se situa com el sector amb una producció més alta d'entropia dins del sistema.
2. Un segon grup de disfuncions esta relacionar amb el consum de materials i d'energia. L'ús actual dels recursos naturals situa els sistemes urbans en una carrera desenfrenada i en una competència entre ells, aconseguint augmentar la complexitat de la seva organització a costa de consums ingents de materials i energia; destruint i simplificant els sistemes rurals i naturals més o menys allunyats.
3. El tercer problema d'envergadura deriva de la segregació en la ciutat de la població i nombroses activitats que serien compatibles i sinèrgiques des de molts punts de vista. Per altra banda, la separació per rendes, ètnies o races és la manifestació espacial de processos d'injustícia social i falta d'equitat. Les conseqüències afavoreixen la inestabilitat social i problemes de marginació i delinqüència.

L'ecosistema urbà. Problemàtica ambiental associada a les estructures urbanes



(Font: Salvador Rueda)

3.3. VISIONS SOBRE LA SOSTENIBILITAT URBANA

Segons Naredo, el principal problema a les ciutats seria que la sostenibilitat local s'ha vingut recolzant en la creixent insostenibilitat global dels processos d'apropiació i abocament dels que depenen. S'aprecia, per tant, un nou enfocament en la forma de tractar els problemes urbans des de la política.

El Llibre Verd del Medi Ambient Urbà (1990) de la Unió Europea, pretén superar en els seus plantejaments els conceptes parcel·laris habituals, al preocupar-se no només de les condicions de vida a les ciutats, sinó també de la seva incidència sobre la resta del territori.

Això es veu reflectit posteriorment en l'Informe del Grup d'Experts sobre Medi Ambient Urbà de la UE, titulat Ciutats Europees Sostenibles (1995), on es remarca que “el repte de la sostenibilitat urbana apunta a resoldre tant els problemes experimentats en les ciutats com els problemes causats per les ciutats” (UE,1995).

Aquest repte, per tant, està en descobrir què fa que les ciutats siguin més sostenibles i quines estratègies poden seguir els planificadors territorials per aconseguir la desitjada sostenibilitat.

Allò que, des d'aquest punt de vista, resulta interessant de les ciutats és que són sistemes organitzats per components biofísics i socioeconòmics que interactuen; i les seves formes d'organització incideixen sobre el nivell de pressió ambiental exercides pels components del sistema de forma individual.

Les proposicions de sostenibilitat d'Alberti i Susskind exposades a l'apartat 1.3.1. del capítol 1, poden ajudar, segons els propis autors, a definir les directrius per a la sostenibilitat urbana. En relació a la noció de desenvolupament sostenible, cal considerar que les ciutats tendeixen a estendre les seves fronteres i les seves responsabilitats degut a l'impacte que tenen sobre l'entorn. Les ciutats tenen que reconèixer (Alberti i Susskind, 1996):

1. Les necessitats de tota la gent, no solament de la que està dins dels límits del propi territori, així com aquelles de les generacions futures.
2. Els límits inherents a determinats recursos i la capacitat tant local com global per absorbir la pressió de les activitats humanes.

Les teories exposades en el capítol anterior poden servir per entendre les problemàtiques que engloben els sistemes urbans. D'aquesta manera, per estudiar la sostenibilitat dels sistemes urbans, ens centrarem en primer lloc en la teoria ecològica, que es preocupa per introduir les variables mediambientals en la presa de decisions de la gestió urbana, tot aportant, per altra banda, un conjunt de models i d'idees d'apreciable interès.

Posteriorment s'introdueix la sostenibilitat des del punt de vista dels sistemes estacionaris i de les estructures dissipatives, centrant-se en les idees de complexitat i entropia exposades en el capítol 1, així com en l'autoorganització, l'autoregulació i el paper de la retroalimentació d'aquests sistemes complexos dins del territori.

Finalment, l'estudi cerca referents pràctics. Per això, es tenen en compte les solucions escollides per les ciutats o les àrees metropolitanes en quant a la seva visió particular de la sostenibilitat local i/o global. S'introdueixen conceptes com els indicadors urbans o les auditories mediambientals.

3.4. LA TEORIA ECOLÒGICA REFERIDA AL TERRITORI

3.4.1. El metabolisme urbà

En l'ecologia urbana el nivell d'organització i d'estudi dels corresponents ecosistemes prenen en consideració els volums d'energia que circulen per fora dels organismes vius; és a dir l'energia que fa funcionar el sistema i l'enorme mobilitat que permet explotar altres ecosistemes ubicats a distàncies llunyanes.

D'això en resulta que el manteniment de la complexitat dels sistemes urbans s'ha de centrar en l'explotació de recursos externs, d'estructures de menor complexitat que veuen així augmentar la seva simplicitat de mica en mica. L'home, dins del marc ecològic que el sustenta, forma part de sistemes homeostàtics, que renoven la constància de determinades de les seves variables crítiques, a base de modificar-ne d'altres, ja siguin internes o externes.

En els sistemes amb molts circuits homeostàtics interrelacionats, els canvis produïts per impactes externs poden difondre's per tot el sistema amb certa lentitud. Aquests canvis es contraresten freqüentment mitjançant uns circuits reguladors que pretenen assolir un "estat de constància".

Existeix, per tant, una definició d'ecosistema basada en termes de variables interconnectades que estan exposades a certs índexs de tolerància més enllà dels quals es produeixen disfuncions en el sistema. Quan, sota l'efecte de tensions, una variable adopta valors propers al seu límit de tolerància, llavors el sistema estarà "tensionat" o mancat de *flexibilitat*, entesa aquesta com una propietat potencial que pot, eventualment, induir al canvi, tot i que, de moment no sigui utilitzada.

3.4.2. Sobre la flexibilitat de les variables urbanes

És freqüent observar com les accions destinades a augmentar la flexibilitat d'una variable acaben disminuint la de les variables que l'acompanyen. Un exemple pràctic en el territori urbà és el trànsit de vehicles. Per flexibilitzar la saturació, es desenvolupen diverses alternatives com l'increment de la xarxa de transport, però en contra disminueix la flexibilitat de variables mediambientals com la contaminació, el soroll o l'impacte estètic.

Actualment, a l'ambient urbà, la manca de flexibilitat s'ha estès per tot el sistema i es pot concloure que la circulació motoritzada és una de les principals generadores d'aquesta disfunció. A més, les mesures basades en augmentar la flexibilitat no són correspostes a mig termini.

Segons Rueda, l'actual manca de flexibilitat de les variables és deguda a dos factors; en primer lloc "l'ocupació massiva del espai urbanitzant-lo" i en segon lloc "el consum de matèria i energia, que hauria d'augmentar lentament a mesura que augmentés la complexitat del sistema urbà, atenent a un raonament d'eficiència energètica i de sostenibilitat, ha augmentat de manera exponencial i segurament no es veurà regulat fins que el sistema més ampli exerceixi el seu efecte regulador a causa de l'escassetat i la limitació pròpia dels recursos" (Rueda,S.,1994).

Normalment, com ja s'ha dit, és possible que l'intent de dur a terme un canvi en alguna variable s'efectuï sense comprendre la xarxa homeostàtica que envolta a aquesta variable. Per això, resulta essencial la correcció d'aquesta concepció d'arrel ideològica. És freqüent que les idees que sobreviuen a un ús repetit es generalitzin i acabin convertint-se en premisses de les que depenen altres idees. Aquestes premisses es tornen relativament inflexibles.

"Els components de l'ecosistema urbà depenen els uns dels altres. Aquesta dependència es regula a través de mecanismes de retroalimentació que fan que cadascun ocupi el seu espai, que s'estableixin relacions multivariades dels integrants, que la cooperació i la conservació es configuren com els mecanismes oposats a la competència i a l'explotació en la flexibilitat de les variables autoregeneratives." (Rueda,S.,1994).

Tanmateix, en la societat actual, els objectius i propòsits dels grups organitzats es canalitzen a través de mecanismes d'informació que utilitzen tecnologies globalitzadores i per tant es configuren com un mecanisme amb un fort pes específic en la regulació del comportament de la majoria. Les conseqüències d'això són la uniformització dels estils de vida, les disfuncions de la ciutat i del territori, tot plegat englobat dins del model funcionalista actual.

Segons Rueda, coneixent els instruments actuals d'informació, "és difícil d'imaginar quins mecanismes individuals i socials poden regular i flexibilitzar les variables autoregeneratives"; "serà l'escassetat i/o el conflicte els que obliguin a canviar el model teleològic actual per un altre sistèmic (holístic) que permeti sustentar l'organització i la complexitat dels sistemes urbans."

3.4.2.1. La capacitat de càrrega i la petjada ecològica com model de sostenibilitat

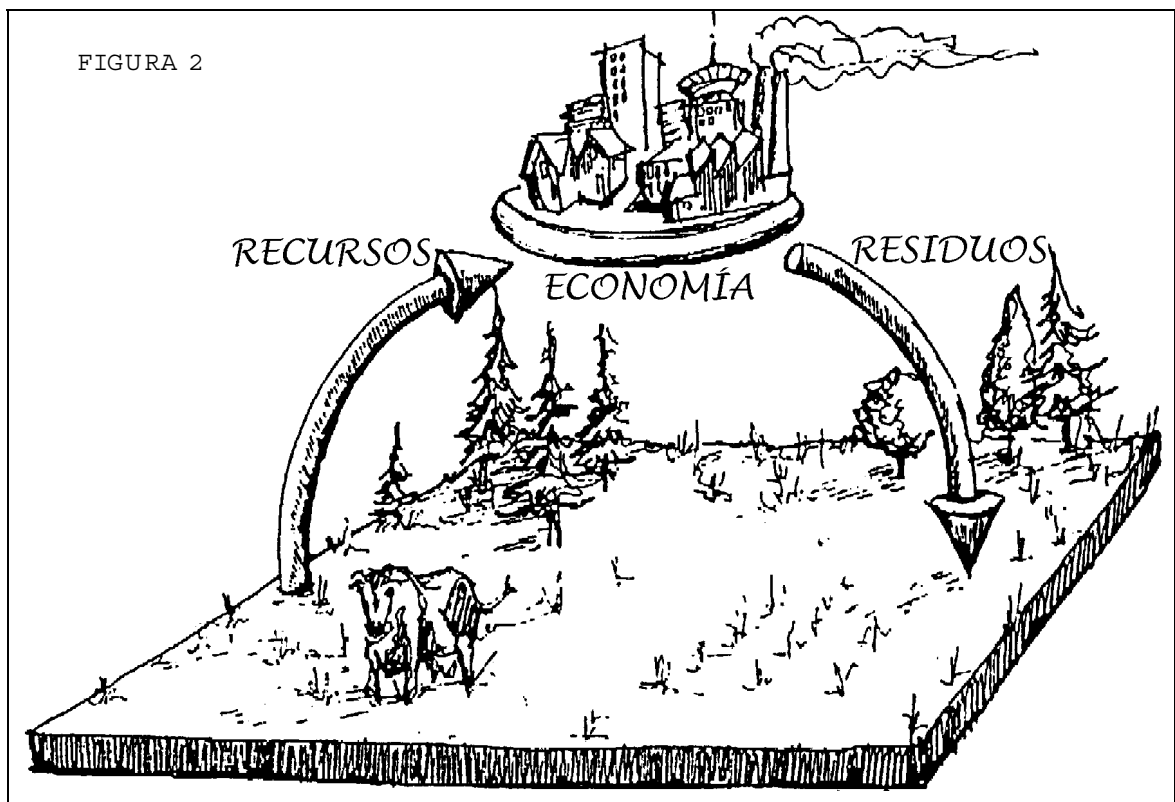
Acabem de fer una exposició sobre la flexibilitat de les variables que intervenen en el teixit urbà. Hem vist com cada una de les variables afectava per separat a la globalitat del territori i s'ha pogut establir una escala de valors per mesurar el seu potencial en el sistema.

Un altra manera d'estudiar aquest efecte és mitjançant un enfocament més holístic o integrat, la qual cosa implica un estudi de l'efecte de les variables en el seu conjunt dins del territori. Per això els ecòlegs introdueixen el concepte de "capacitat de càrrega".

“La capacitat de càrrega és la màxima població d'una espècie donada que pot ser suportada indefinidament en un hàbitat acotat sense perjudicar la productivitat del espai” (Rees i Wackernagel, 1996).

Des d'aquest punt de vista, la capacitat de càrrega es manté com una de les premisses per la sostenibilitat “força”. Aquest raonament es remet al desenvolupament fet *in extenso* a l'apartat anterior 1.4.7 en tractar de l'enginyeria del “nou paradigma” (Hartley).

Una de les eines importants per permetre concretar la capacitat de càrrega ve definida per la “petjada ecològica”, que centra els seus esforços en calcular l'àrea de territori productiu necessari per sostenir indefinidament una determinada població.



D'aquesta manera és possible estimar l'àrea necessària per produir una quantitat òptima o sostenible de qualsevol recurs per a una població o economia amb un nivell tecnològic determinat. Obtenim la petjada ecològica (Efp) per a una població en un determinat territori mitjançant el següent producte:

$$E_{fp} = N \cdot e_f$$

on **N** és la dimensió de la població i **ef** és la mitjana per càpita de la petjada sobre els diferents recursos.

Aquest càlcul de la petjada ecològica pot resultar significativament major que la producció previsible del territori en qüestió; la diferència s'ha d'assumir com un "buit de sostenibilitat" o com un "dèficit ecològic" (Rees i Wackernagel, 1996).

Com pot observar-se en la taula exposada a continuació, determinats dèficits ecològics són importants en els països industrialitzats. La petjada ecològica (H) és un càlcul de les necessitats que es projecten sobre un territori, i per tant els valors que apareixen reflecteixen indirectament una mesura del consum intern. En la taula, aquests valors són estimacions de diferents estudis en diferents països.

A partir de la petjada ecològica (H) i del territori productiu per càpita es calcula el dèficit ecològic.

Dèficits ecològics dels països industrials

País	Territori ecològicament productiu (en hectàrees) a	Població (1995) b	Territori Ecològicament productiu per càpita c=a/b	Dèficit ecològic nacional (en ha.) d=H-c	(en%) e=d/c
Japó	30.417.000	125.000.000	0.24	prenent H=2.5 ha. 2.26	940%
països amb H= 3-4 ha.				prenent H=3	
Bèlgica	1.987.000	10.000.000	0.20	2.80	1400%
R.Unit	20.360.000	58.000.000	0.35	2.65	760%
França	45.385.000	57.800.000	0.78	2.22	280%
Alemanya	27.734.000	81.300.000	0.34	2.66	780%
Holanda	2.300.000	15.500.000	0.15	2.85	1900%
Suïssa	3.073.000	7.000.000	0.44	2.56	580%
països H= 4-5 ha.				Prenent H=4.3 y 5.1 ha	
Canadà	434.477.000	28.500.000	15.24	-10.94	-250%
USA	725.643.000	258.000.000	2.81	2.29	80%

Font: Rees y Wackernagel

3.4.2.2. Limitacions del anàlisi de la petjada ecològica.

L'anàlisi que realitza el model de la petjada ecològica és de gran utilitat per estimar, dins dels límits de sostenibilitat que ens ofereix el territori, la reducció del consum, la millora de les tecnologies existents o el canvi de mentalitat que són necessaris.

D'aquesta forma es pot calcular tant la quantitat de territori productiu necessari per satisfer l'actual consum com la reducció necessària d'aquest consum per obtenir unes quotes de sostenibilitat que

estiguin en concordança amb el territori existent. Aquest segon aspecte és el que s'adapta a l'ideal ecologista, encara que pateix de certes limitacions.

Aquestes limitacions venen del fet que no podem predir valors per cada variable que intervé en el procés de manera separada, ja que la mentalitat és global. No podem quantificar en quant s'ha de reduir aquesta variable per evitar el corresponent "dèficit ecològic" particular.

Un altre aspecte important deriva del fet que la natura i l'economia són sistemes dinàmics; en canvi, l'anàlisi d'aquest model és estàtic, fa una fotografia del moment actual i dicta unes accions per aquesta situació en concret però no permet prediccions futures ja que no té en compte factors com el canvi tecnològic o l'adaptació dels sistemes socials a aquests canvis.

3.4.2.3. Models basats en l'espai ecològic urbà

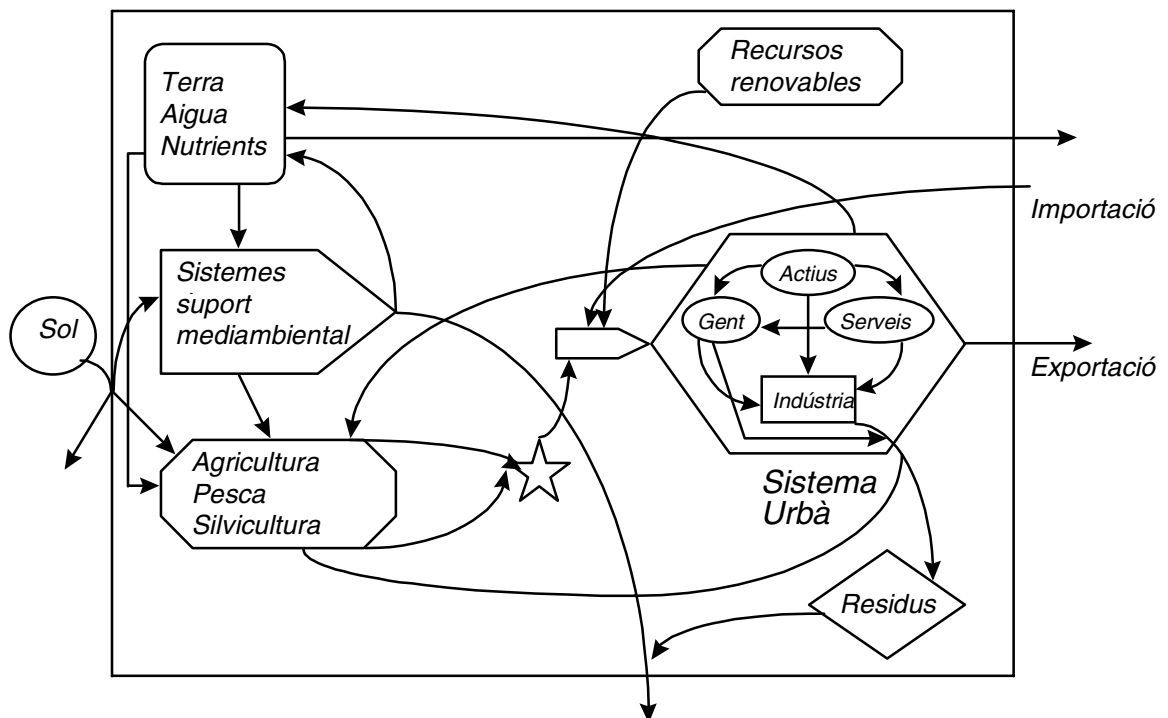
Tots els models centrats en l'ecosistema urbà tenen les seves limitacions degut a la dificultat d'integrar els conceptes biològics i socioeconòmics en un marc analític unificat.

Segons el model d'Odum (veure figura que segueix) es descriu l'entorn urbà com un ecosistema que depèn en gran mesura d'entrades d'energia i matèria i amb una enorme capacitat per absorbir les emissions i els residus. Aquest tipus de model ecològic s'aproxima a un llenguatge basat en un circuit energètic d'entrades i sortides.

Per mesurar la sostenibilitat urbana, Marina Alberti defineix l'espai ecològic urbà com un capital social i, per altra banda, els fluxos totals naturals de que depenen les ciutats per satisfer les necessitats futures dels seus habitants. Una anàlisi esquemàtica de la sostenibilitat urbana hauria de considerar els següents aspectes (Alberti, M., 1996):

1. Transformació directa de l'estructura física i l'hàbitat.
2. Ús dels recursos naturals (renovables i no renovables)
3. Seguiment de les emissions i dels residus.
4. Salut humana i benestar.

Ecosistema segons Odum

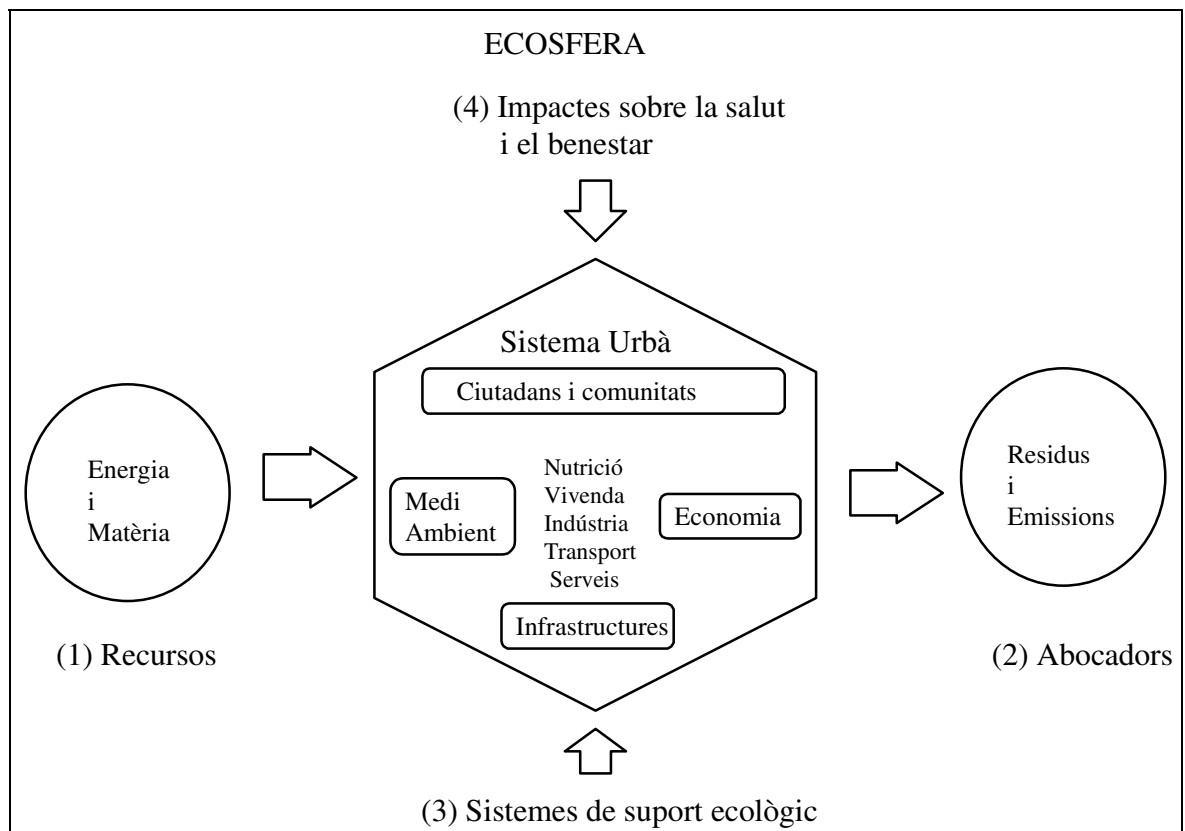


Allò que distingeix la noció d'espai ecològic urbà d'altres visions més convencionals és que la ciutat és un ecosistema amb infinitat de components biofísics i socioeconòmics interaccionant mútuament i on el sistema mateix influeix en el nivell de pressió que exerceixen els seus components.

En la figura següent, l'espai ecològic queda definit per 4 aspectes:

1. Els recursos naturals.
2. Els "abocadors" representen la capacitat dels ecosistemes per absorbir els residus i la pol·lució.
3. Els sistemes de suport ecològic representen serveis que oscil·len entre la regulació climàtica i el reciclatge de nutrients per al manteniment de la diversitat.
4. Els impactes sobre la salut humana i el benestar són els efectes directes de la pol·lució del aire, l'aigua, els aliments...

Espai ecològic urbà



3.4.2.3.1. Les dimensions de la sostenibilitat urbana

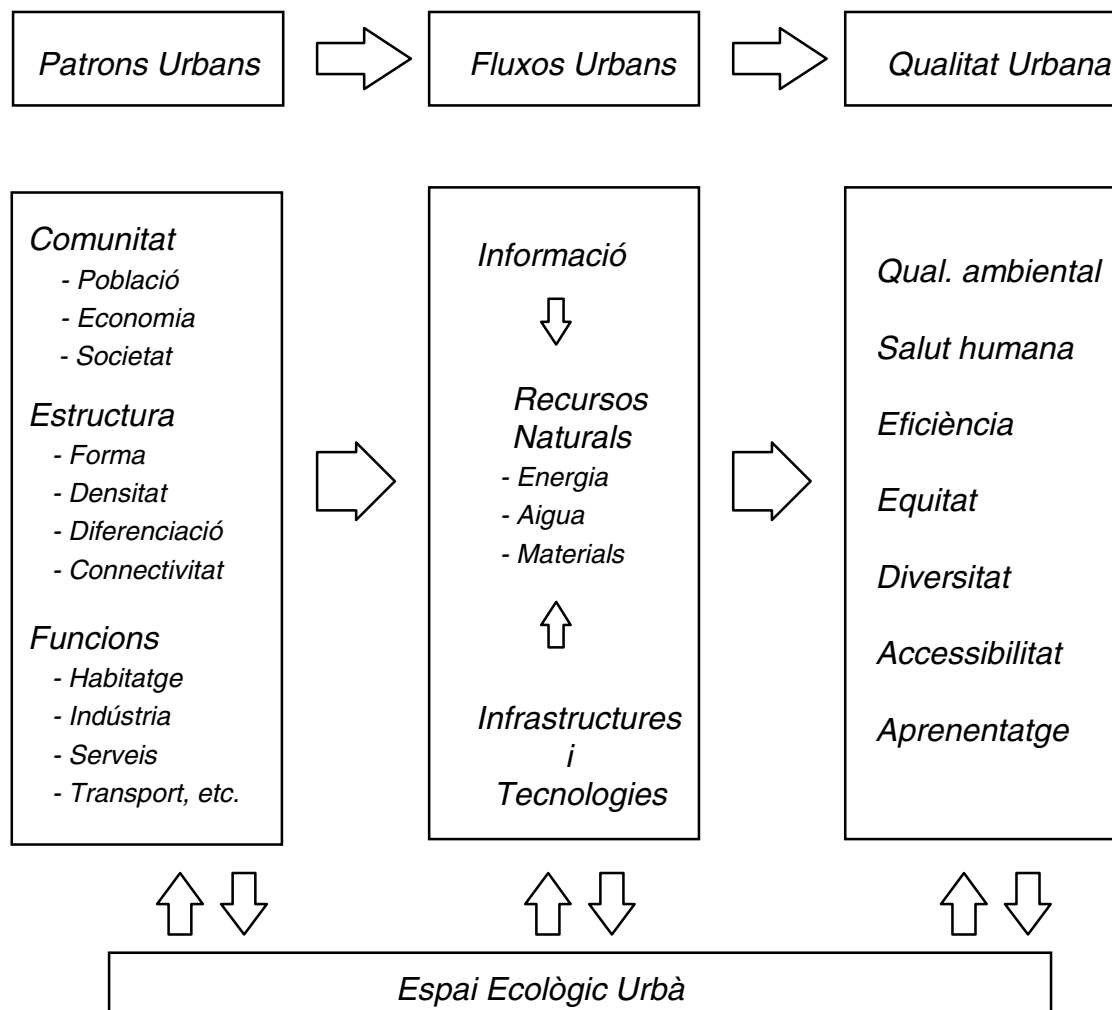
Des de una perspectiva ecològica la interacció entre els sistemes urbans i el medi ambient pot ser descrita mitjançant indicadors de recursos, sistemes de suport ecològic o indicadors de salut humana.

Mitjançant aquest tipus d'indicadors seria possible mesurar si la qualitat urbana millora o es deteriora respecte a aquest criteris de sostenibilitat o si les tendències de qualitat urbana estan vinculades a alguna tendència estructural, d'organització o d'estil de vida.

Segons Alberti es poden distingir tres dimensions quan intentem quantificar la sostenibilitat urbana:

1. Qualitat urbana.
2. Fluxos urbans.
3. Patrons urbans.

Dimensions de la sostenibilitat urbana



3.4.2.3.2. La qualitat urbana

En particular, la qualitat del medi ambient urbà depèn d'elements físics i condicions socioeconòmiques així com de valors de tipus cultural procedents de les comunitats urbanes. A l'esmentat esquema d'Alberti s'hi poden seguir 7 criteris:

- A. Qualitat mediambiental per a tots els recursos, així com totes les provisions.
- B. Salut urbana i benestar.
- C. Eficiència dels recursos basada en maximitzar el valor econòmic de sortida per unitat de recurs introduït.
- D. Equitat, maximitzant el benefici social per unitat econòmica de sortida.
- E. Diversitat, és un aspecte cabdal per a la flexibilitat i l'adaptació al canvi.
- F. Accessibilitat, es considera una variable molt important degut al seu alt impacte en el medi ambient local i global.
- G. Habilitat per a l'aprenentatge tant en el nivell individual com en el col·lectiu.

3.4.2.3.3. Els fluxos urbans

L'impacte de les ciutats sobre el medi ambient també pot ser estudiat analitzant els fluxos dels recursos naturals que suporten les seves activitats.

Odum analitza el balanç energètic urbà en termes de fluxos energètics mentre que Douglas utilitza unes equacions formals per quantificar el balanç urbà. Aquest balanç serà objecte d'estudi en el següent capítol.

3.4.2.3.4. Els patrons urbans

Per entendre les interaccions entre els sistemes urbans i el medi ambient necessitem examinar com aquells afecten a la qualitat de l'estructura espacial, l'organització urbana i els estils de vida. Aquesta informació tindria que ser bàsica per al planejament urbà i territorial, orientat envers un desenvolupament sostenible.

3.4.3. Informació i complexitat

S'ha descrit en el capítol anterior que els sistemes oberts depenen d'una entrada d'energia i materials necessaris per mantenir les seves estructures, però s'ha d'introduir el fet que també depenen de la informació organitzada. La capacitat d'aprofitar o assimilar aquesta informació per part d'un sistema determinat, el farà evolucionar cap a situacions de major complexitat o bé si aquesta informació es desaprofita, cap estats de simplificació i desestructuració.

A més, el *principi de Margalef* postula que en els sistemes la part amb menys informació en relació amb la velocitat amb que augmenta o es "produeix" entropia, alimenta a la part que ja es caracteritzava per una major densitat d'informació. Això implica que el manteniment i/o augment de la complexitat d'un espai determinat dins un sistema es desenvolupa a costa de simplificar altres espais; és el que es denomina explotació d'un espai sobre un altre (Rueda, S., 1995b).

A les ciutats, la informació està organitzada de varies maneres i es manifesta de forma complexa. La mesura d'aquesta informació és una feina difícil degut a que no es coneixen maneres de mesurar els seus fluxos a través d'unitats energètiques o monetàries equivalents.

Quan el nombre d'unitats que conformen el sistema creix, també ho fa la quantitat d'informació. Una manera de mesurar el grau de concentració de la informació en el territori passa per dividir la quantitat d'informació "calculada" per el nombre d'unitats individuals implicades. Per referència en aquesta mitjana, és possible detectar heterogeneïtats en el territori.

“A nivell de l'ecosistema urbà, la complexitat és una expressió del conjunt de variables discretes amb continguts significatius d'informació, de les seves abundàncies respectives, de les seves interaccions i de la seva integració en l'espai i el temps” (Rueda,S.,1995c).

Les variables discretes són essencialment atributs que tenen els individus que actuen com elements diferenciadors carregats d'informació i que condicionen les trajectòries de l'energia, matèria i informació dins del territori. Per exemple, una persona pot posseir atributs diferents (titulació acadèmica, edat, professió...) que aporten una informació molt variada dins del sistema i ajuden a la seva organització.

S'ha de tenir en compte també que la informació “en brut” no indica, en principi, si la complexitat esta organitzada en una combinació útil o si és una situació aleatòria no especificada.

3.4.3.1. Nous instruments d'anàlisi

Si, com hem vist, pot resultar avinent analitzar els sistemes territorials com “organismes vius en evolució”: sistemes oberts bescanviant matèria, energia i informació amb el seu entorn, aleshores, la complexitat creixent i les molt nombroses interaccions de caràcter no lineal entre els elements constitutius de qualsevol d'aquests sistemes, en especial els de caire metropolità, fan gairebé indispensable la utilització d'instruments d'anàlisi propis d'àmbits científics i tècnics ben diferents, com són l'ecologia, la biologia o la termodinàmica de processos irreversibles, amb la deguda consideració de les interaccions entre informació i complexitat.

Si s'entén, per exemple, el territori com a sistema orgànic dissipatiu (**importa energia, exporta entropia**), es fa avinent considerar l'esmentat *principi de Margalef* d'exportació d'entropia per part dels sistemes en procés evolutiu de complexificació. Un corolari que en resulta és la constatació en l'evolució dels sistemes urbans complexos, de l'acoblament entre el procés entròpic i el procés d'articulació de la informació -o coneixement- que permet millores organitzatives (Rueda, S., 1995).

Només amb aquest enfocament, sembla possible, a mig termini, garantir fòrmules de presa de decisions ambientalment viables en aquest camp. Conceptes clau com els de capacitat/dispersió en el procés d'urbanització, segregació/barreja de fluxes de circulació, el paper del transport col·lectiu, el de les xarxes telemàtiques –i de les xarxes tècniques, en general-, comencen a ser tinguts en compte des d'aquestes perspectives.

3.4.3.2. La sostenibilitat territorial i urbana

Complexitat als sistemes urbans no és necessàriament sinònim de desordre. S'en pot derivar organització i diversitat, mitjançant l'articulació de la informació o coneixement. Tot plegat mesurable en bits, en nivells d'informació que incorpora i utilitza el sistema. En un territori o en una

ciutat podem determinar en un moment donat l'existència d'un codi genètic (informació estructurada que li permet mantenir una determinada "personalitat" o "constitució" que trascendeix les transformacions que s'hi produeixen al llarg del temps).

Hi ha un component estructural i un component adquirit. La informació geogràfica i la que a través de la història s'hi ha anat consolidant –allò que anomenem les preexistències- (genotip), i la informació que es va adquirint com requisit d'una determinada transformació (fenotip). Resulta avinent parlar aquí de processos evolutius en sentit lamarkià, més que no pas darwinià, en el sentit que genotip i fenotip no són independents: en part, el genotip incorpora trets -o s'actualitza- com conseqüència de les transformacions (no només que per "mutacions" degudes a l'atzar).

Al fil dels plantejaments recentment suggerits per en Jorge Wagensberg, el debat científic actual entre evolucionistes "clàssics", encapçalats per Dawkins, fidels als postulats estrictes formulats per en Darwin, i aquells que veuen una necessitat de complements (Jay Gould, Kauffman o Margulis), sense els quals no podria explicar-se la radicalitat de les transformacions sofertes per la matèria viva "dels bacteris procariotes a Shakespeare", tot i l'immens lapse temporal transcorregut (4 mil milions d'anys), pot potser trobar en l'anàlisi del procés d'urbanització una via paral·lela de recolzament.

Això sempre que s'accepti que l'evolució biològica i el procés d'urbanització estiguin subjectes a les regles generals de la Teoria General de Sistemes. El mateix Wagensberg indica que aquesta anella perduda podria trobar-se en un aprofundiment del paper de la informació en les recerques avui només embrionàries ("per ara, la comprensió de la informació a penes ha superat l'estadi estrictament cultural"). En el mateix debat, l'enfocament des de la Sociobiologia d'Edward O. Wilson, capaç d'avaluar científicament genètica i cultura, tot integrant les ciències socials "toves", sembla marcar un camí prou interessant.

Hi ha ciutats riques i ciutats pobres, compactes o denses i difuses, diversificades i especialitzades, fluvials, portuàries, en planes o al mig de les muntanyes,... amb tipologies diferents que condicionen el seu present i el seu futur. En qualsevol cas, les ciutats funcionen millor o pitjor, segons l'estructura i organització físiques que tenen. I, si és vol, podem parlar de ciutats amb un codi genètic que les hi garanteix una constitució més eficient en el consum d'energia -més sostenibles des de l'angle de l'energia-, el que als efectes del nostre treball anomenem ciutat "compacta", contraposant-la a la ciutat difusa malversadora de recursos materials i energètics.

L'increment de la complexitat a totes les parts del sistema, sustentada en el desenvolupament d'un nombre elevat de circuits recurrents reguladors -que és tant com dir en una planificació que incorpori informació (coneixement) i, en definitiva, elements d'organització-, equival a una millora de la seva estabilitat davant les modificacions o fluctuacions del seu entorn que d'una forma o altre l'influeixen.

La noció de sostenibilitat referida a un sistema territorial o urbà pot analitzar-se a través de l'*Equació Ecològica* proposada per Ramon Margalef i Salvador Rueda:

ENERGIA

$$\text{BIOMASSA} \oplus \text{H} \oplus \text{Eu} \oplus \text{A}$$

Tot i no estar formulada en termes homogenis, serveix com referència conceptual en posar en joc, en una sola expressió, els fluxes de matèria, energia i informació. L'energia consumida per mantenir l'estructura i l'ordre i fer funcionar el sistema, és comparada, per una banda, amb la biomassa present en el sistema i, per l'altra, amb els subsistemes portadors d'informació (complexitat i organització):

H representa la mesura del grau de diversitat de tota mena; biològica, però també socioeconòmica, sociocultural i de serveis (hospitals, universitats, abastaments,...).

Eu codifica la configuració de l'estructura territorial i urbana (condiciona el present i el futur de la ciutat, condiciona els fluxes i els moviments)

A representa els "artefactes" culturals que capaciten per articular i processar el coneixement i millorar les ratios d'eficiència (ordinadors, vehicles, llibres,...)

Els objectius de sostenibilitat del sistema, o de la seva eficiència ambiental -integral i global-, passen per anar fent tant petita com sigui possible aquesta relació.

3.4.3.3. La societat de la informació en el territori

Les tecnologies de la informació han variat les nostres perspectives de futur. Està emergint en tot el món una nova economia, basada en la informació; "... es tornen a repartir les cartes", en paraules d'Antoni Farrés, alcalde de Sabadell (1979-1999) i avui president de LOCALRET.

Des d'una perspectiva territorial les noves tecnologies informàtiques, mediàtiques i de telecomunicacions, permeten a) la separació física entre persones i activitats tradicionalment forçades a una concentració; i b) el funcionament separat de les parts d'una mateixa activitat econòmica. Ambdòs trets responen als conceptes territorialment significatius de *deslocalització* i *desconcentració* que reflecteixen una tendència a una major indiferència en les localitzacions relatives sobre el territori entre residència, treball i les activitats, així com a comportaments més aleatoris en la mobilitat de les persones (p. e. flexibilització dels trajectes en hores punta, o menor pes relatiu de la mobilitat obligada en el conjunt de desplaçaments).

El mateix fenomen de l'anomenat *treball-a-casa* pot adquirir ben aviat un pes significatiu. Aquesta transformació, però, no es limita al món laboral: cada cop tenen més importància també a l'ensenyament, el consum, l'assistència sanitària, l'oci,... Com a conseqüència, per a individus i organitzacions, al decidir la seva ubicació física, tendeixen a relativitzar-se els criteris tradicionals d'emplaçament d'activitats, particularment pel que fa a la proximitat física a mercats, centres urbans, de transport, productius o de matèries primeres.

Per al món dels negocis, els processos de concentració a la recerca de massa crítica suficient per a la competitivitat global, no resulten de fet contradictoris amb l'anomenat *downsizing* d'un nombre creixent d'activitats subsidiàries i amb les possibilitats d'esmicolament de les parts de les grans *holdings* empresarials que no necessiten estar físicament juntes –ni sovint amb un contacte directe amb proveïdors i clients-, per actuar coordinadament sota una única direcció.

Aixó fa que "... a les ciutats, es va perdent l'avantatge comparatiu que ha suposat la concentració d'activitats per aconseguir una màxima eficàcia funcional.... les noves tecnologies informàtiques, mediàtiques i de telecomunicacions possibiliten una utilització més lògica del temps i de l'espai, al evitar desplaçaments innecessaris, estalviant combustible, contaminació, trànsit i tensions nervioses." (Ruano,M.,1995).

3.4.3.4. El factor multiplicador de les tecnologies

La descripció de Ruano més amunt expressada en aquest capítol, pot relacionar-se amb el concepte de "factor multiplicador" d'una tecnologia, que ve a ser el nombre de vegades que una nova tecnologia és capaç de millorar la funció o l'objectiu desitjat respecte les possibilitats de la tecnologia preexistent correlativa.

Mitjançant aquest indicador podem establir el factor corresponent a diferents situacions:

Introducció en la societat	Factor
Automòbil	15
Aeronàutica	150
Tecnologia pròpia de la Revolució Industrial	1000
Tecnologies de la informació	10e6
Digitalització informàtica y telecomunicacions	10e12

3.4.3.5. Efectes immediats

Resumint, podem destacar una sèrie de punts que aporten les noves tecnologies de la informació i que combinen avantatges i inconvenients (Barceló,M.,1995):

- Són tecnologies de tipus universal ja que afecten a tots els camps de l'activitat humana: treball, oci, sanitat, ensenyament...

- Permeten augmentar la productivitat i abaixar els costos.
- Generen una clara disminució de les necessitats de treball addicional, o sigui, fan augmentar l'atur en molts sectors.
- En canvi, es poden crear llocs de treball en camps relacionats amb la societat de la informació en el sector terciari.
- Es crea una nova concepció en les formes de treballar; apareix el treball a distància (tele-treball) el que, sobre el paper, sembla implicar una reducció del consum dels recursos associats al moviment de les persones.
- Fan possible ampliar les nostres capacitats, allunyant els límits mentals sense esgotar els límits materials.

Sense mediar altres consideracions, d'aquests punts, sembla doncs deduir-se'n que la introducció d'aquestes tecnologies pot contribuir a reduir la mobilitat interna i, per tant, reduir els recursos que es necessiten per sostenir aquesta mobilitat.

Des de un altre punt de vista, però, diferent al de Ruano i Barceló, la introducció d'aquestes tecnologies pot incidir indirectament en un increment de la mobilitat, ja que les xarxes de comunicació globals, com és el cas d'Internet, provoquen un augment dels contactes "virtuals" - inexistents fins avui dia- amb un efecte multiplicador, potser infravalorat, sobre els contactes "físics" i el corresponent augment de la mobilitat que se'n deduiria.

S'hauria de debatre aquest punt quantificant aquest augment de contactes per poder planificar de forma adient la mobilitat. Al següent apartat s'ampliarà l'anàlisi d'aquest important dubte: la nova societat de la informació pot influir positivament en la consecució del desenvolupament sostenible, però cal aprofundir en la determinació d'aspectes colaterals o derivats en ràpida i prolífica emergència i la seva influència real a termini, la qual cosa constitueix un difícil repte prospectiu.

3.4.3.6. La ciutat relacional

Segons Ruano, per construir una ciutat ecològica no només s'han de construir galeries de serveis, instal·lar anells de fibra òptica o connectar-se amb les "autopistes de la informació", observant tot això com una nova capa d'utilitats que se superposa a les existents a la ciutat, com tampoc és suficient un toc de "verd" o reciclar les escombraries domèstiques.

És necessari analitzar i comprendre quins seran els efectes profunds i estructurals que aquestes tecnologies tenen i tindran sobre les nostres ciutats, sobre la nostra manera de viure, sobre l'habitatge i llocs de treball." (Ruano,M.,1995).

Aquesta aproximació necessita una visió de la qüestió urbana més rica i complexa, doncs implica entendre la ciutat més enllà d'un senzill ensamblat de peces discretes i tractables per separat. "La

manca d'una visió de conjunt, d'una fita integral, per als múltiples operadors ciutadans impedeix atacar els problemes de fons, produint solucions parcial i temporals, que en molts casos, es contradiuen les unes amb les altres. El resultat d'aquest procedir que coneixem prou bé és que cada solució genera nous problemes, en una espiral infinita i que aparentment no es pot interrompre." (Ruano,M.,1995).

Una estratègia holística per a la ciutat significa, per tant, entendre el fenomen urbà essencialment no només com un conjunt interactiu d'artefactes i éssers vius sinó també, i especialment, com un conjunt interactiu de relacions. Relacions en les que hi concorrerien els components físics ("hardware"), els intangibles ("software"), i els éssers humans ("humanware"), en tant que elements subjectius.

És precís remarcar les relacions per destacar la diferència fonamental amb les actuals maneres d'entendre l'urbanisme i l'ordenació del territori, basades en el tractament específic per components funcionals. La ciutat relacional que aquest model proposa, és la ciutat de la trobada, la ciutat humana, en contraposició de la ciutat futurista i caòtica, la ciutat-trànsit.

El model d'urbanisme sostenible propugnat correspon al d'aquesta "Ciutat Relacional", entenent-lo aplicable a les ciutats construïdes segons el patró tradicional europeu, és a dir, ciutats amb centres (generalment amb llarga història) densament poblats, d'usos mixtos barrejats i que encara conserven el seu pes específic dins del respectiu conjunt urbà més general.

3.4.4. L'imperatiu ecològic en la mobilitat

La superació de la tradicional contraposició ecològic-tecnològic constitueix un altre aspecte fonamental de canvi. Les dues esferes s'integren dins de les estratègies per al desenvolupament sostenible, més enllà de discursos ideològics en confrontació. Per una part, les consideracions ecològiques han superat el seu paper marginal, de "mala consciència", que tants tractaments "verds" purament cosmètics han originat en la indústria, l'urbanisme i la planificació recent, per transformar-se en un concepte de base, essencial en les noves maneres de pensar sobre la producció, la ciutat i el territori.

Pel que fa a la tecnologia, la seva contribució al desenvolupament sostenible es produeix en dos grans àmbits: per un costat, la denominada "eco-tecnologia", posada a punt després de dos dècades d'intensa investigació, ja permet un ús més racional dels escassos recursos naturals disponibles. El reciclatge de residus sòlids i líquids, permet realitats tangibles i eficients en molts llocs del món, tant a escala urbana com en edificis individuals.

El canvi de mentalitat social ve precedit pel canvi d'actitud dintre del mateix moviment ecologista. En els seus inicis l'ambientalisme (moviment verd o ecologista) es caracteritzava pels seus continguts **reactius** i resistencialistes, voluntàriament “al marge de...”, a la contra. El mateix concepte de tecnologia -essencialment dolenta- es feia sinònim de pol·lució. Es tractava de cridar l'atenció de l'opinió pública i d'instar als governs a promoure lleis conservacionistes o antipol·lució. Des de la perspectiva actual i sense negar el seu caràcter pioner, de revulsiu social, es fa ben palès el seu simplisme romàntic.

Avui el moviment verd, posa de manifest una evident maduració. Tendeix a ser més **proactiu** veient la tecnologia més aviat com font de possibles solucions: prevenir danys ambientals, gestionar ecosistemes fràgils, disseny de productes i mètodes de fabricació apropiats, adobs no agressius per a l'agricultura, o per trobar solucions per a la neteja de l'aigua i de l'atmosfera; també per produir combustibles no contaminants i a partir de matèries renovables i, en definitiva, millorar l'eficiència energètica.

L'esperança d'un futur millor ha passat, en termes generals, del trencament amb els esquemes tradicionals a solucions que recolzen en la seva reforma o adequació. Un bon exemple n'és l'automòbil, símbol indiscutible de l'individualisme en la mobilitat de les persones i motor –valgui la redundància- de la urbanització. Fa més de 50 anys que es parla de l'adveniment de l'automòbil elèctric com d'una gran panacea. Deixant de banda que no s'han resolt encara els problemes de manca d'autonomia i que la producció energètica corresponent contamina en un lloc o en un altre, el cert és que la millora del motor de combustió sembla ser avui un bon camí.

Segons la Divisió del Transport de la Comissió Econòmica per a Europa de les Nacions Unides (UN/ECE), cada vehicle de combustió contamina avui, de mitjana, un 5% del que contaminava ara fa 30 anys, tot consumint un 30% menys de benzina (seguiment estadístic en 30 països europeus). La mateixa enquesta palesa una millora en la seguretat de les carreteres i dels vehicles: en el mateix període i al mateix àmbit, el tràfic s'ha triplicat, mentre que els accidents a la carretera han disminuït –en termes relatius- d'un 40%.

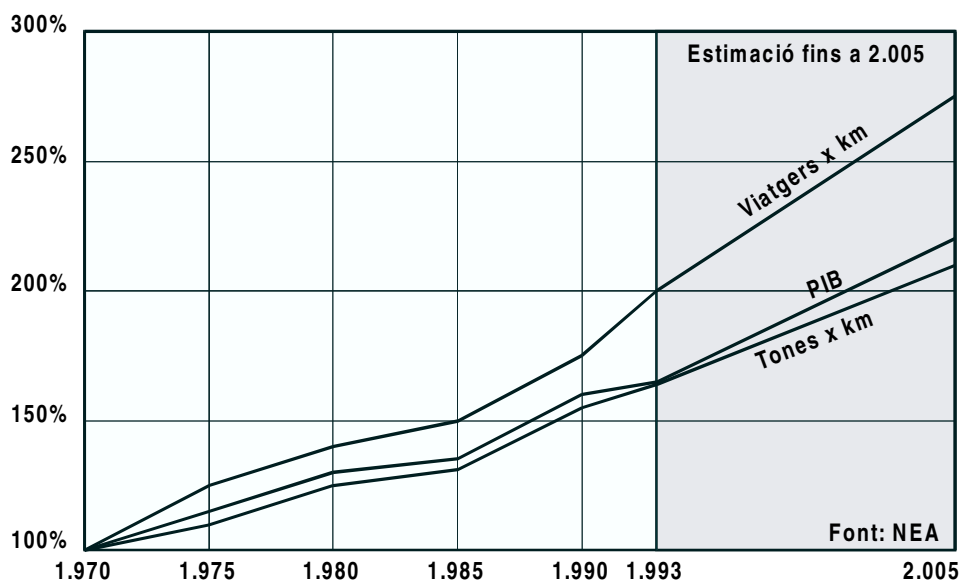
En aquest mateix sentit, hom pot constatar l'existència de certes *hot-line* en R+D properes a alguns fabricants punters, al voltant del motor híbrid (benzina/electricitat) o dels combustibles biodiesel renovables (obtinguts per destil·lació de certs cereals fermentats) i menys contaminants (amb dràstica reducció -a una quarta part, aproximadament- de l'emissió de CO₂ i altres gasos motivadors de l'efecte hivernacle). No cal dir que d'això a posar productes concrets al mercat en condicions competitives d'abast generalitzat, passa per superar les dificultats derivades dels lògics interessos establerts als poderosos sectors petroler i de l'automòbil.

L'administració té un paper fonamental en l'impuls de normativa apropiada, però també pot donar exemple –en el cas dels municipis- adaptant els corresponents parcs mòbils del transport públic,

dels serveis de neteja i recollida d'escombraries,... A Catalunya, el mateix Institut Català de la Energia (ICAEN) promou experiències pilot d'aquest estil, recolzant en disposicions fiscals sobre els anomenats "impostos especials", sancionades per la Comissió de la UE i les Corts Generals espanyoles.

La Fig. 6 ens dóna idea de l'estreta correlació entre els creixements econòmic (PIB) i de la mobilitat a l'Europa occidental (30 països en seguiment estadístic). El desplaçament de mercaderies s'ajusta de forma pràcticament exacta, mentre que el moviment de persones és més que proporcional.

TENDÈNCIES DE CREIXEMENT DEL TRANSPORT
en Relació al Producte Interior Brut (PIB) a l'Europa Occidental



Altres fenòmens a tenir en compte a efectes prospectius:

- les estadístiques demostren que allà on s'ha aconseguit fer créixer la mobilitat ferroviària de viatgers, mai no s'en ha derivat una minva o estabilització de la mobilitat viària;
- cal esperar que es produeixi una correlació positiva entre la consolidació de les telecomunicacions –amb els serveis telemàtics que porten associades- i la mobilitat total de les persones. Tot i que, en aquest cas, això està per demostrar i que pot semblar contradictori, compte tingut de la capacitat descentralitzadora i deslocalitzadora d'aquestes xarxes. Segurament canviarà la composició de la mobilitat, en detriment dels desplaçaments residència-treball -que encara avui representen més de la meitat dels moviments totals en àmbits metropolitans com el de Barcelona-, i en benefici de desplaçaments motivats pel

comerç, el lleure i altres, que es produiran segons patrons més aleatoris. Un fenomen semblant va succeir amb la generalització del telèfon quan podia pensar-se “que moltes coses podrien solucionar-se sense necessitat de desplaçar-se”; s’ha demostrat que, ben al contrari, la possibilitat de comunicar-se telefònicament, tant en l'àmbit de l'empresa com en el privat, ha vingut a potenciar les relacions materials o físiques. Un principi general seria doncs que el foment de les relacions virtuals o immaterials contribueix sistemàticament a potenciar les relacions físiques o materials, que son les que, en definitiva, afecten o incideixen sobre el territori.

- per comparació amb els països més desenvolupats de la UE trobem una important subutilització de les vies segregades a Catalunya. Si considerem el conjunt de les autopistes i autovies de tot l'Estat, aquest fet resulta encara més exagerat (IMD: mitjana autopistes UE 50.000 aprox.; mitjana autopistes espanyoles 16.000). L'usuari de les xarxes de comunicacions sempre paga d'una forma o d'un altra, per moure's sobre el territori: el que es tracta es que hi hagi un **model racionalitzat de costos del transport**, coherent amb uns criteris d'eficiència territorial i energètica. Des d'aquest punt de vista, el peatge associat a l'ús de determinades infraestructures del transport és un instrument -ni bo ni dolent, per ell mateix- al servei de polítiques de mobilitat determinades, aquestes sí sempre discutibles en quant els seus plantejaments.
- anem vers un context fiscal de la mobilitat que certs assoliments tecnològics tendeixen a fer viable, en el sentit del que en podríem dir un peatge cada vegada més sofisticat, més ajustable als objectius territorials, amb una més fina identificació dels serveis reals prestats a l'usuari per l'administració –o a través de l'administració-. Això pot permetre, a mig termini, imputar els costos dels serveis de forma més ajustada i, en conseqüència, controlar més i millor, per ser més justos i poder aplicar polítiques específiques en determinats indrets i per a determinats usuaris, també més correctament identificables, o en àmbits d'influència més correctament delimitables. Així, conèixer amb precisió l'ús que es fa de les infraestructures, permet a l'administració cobrar el preu real d'un servei, o subvencionar-lo total o parcialment, en funció de criteris objectivables d'interès social general. També permet afinar en l'òptim aprofitament dels elements infraestructurals existents, així com en la prioritització de l'assignació de recursos per a noves inversions.

3.4.5. La diversitat com índex d'organització

Segons Rueda el grau d'organització d'un territori, així com la seva potencialitat d'intercanvi d'informació, es pot establir a través d'un anàlisi de la “diversitat” (H).

$$H = \sum_{i=1}^m H_i$$

La diversitat total del territori s'entén com la suma dels seus components o "diversitats parcials".

Els valors d'H ens permeten aproximar-nos a les disfuncions potencials del sistema i als elements amb els que s'aconsegueix obtenir estabilitat. Per exemple, una major diversitat d'usos en un territori proporciona un augment dels intercanvis d'informació i en conseqüència es creuen els canals de fluxes energètics sustentadors de l'organització complexa.

Tot condueix a pensar que si el valor d'H augmenta de manera important en un espai determinat es poden arribar a corregir bona part de les disfuncions actuals.

"L'augment d'H crea un efecte real de major proximitat pel fet de concentrar en l'espai unitats de característiques diferents. Les fa més properes i en conseqüència, es redueixen les distàncies físiques dels portadors d'informació. Els temps exigit per a contactes diversos s'escurcen i l'energia dedicada a la mobilitat que s'en pugui derivar és substancialment menor" (Rueda,S.,1995a).

En els sistemes urbans, a més de portadors d'informació existeixen xarxes més o menys denses que possibiliten l'intercanvi de matèria, energia i informació entre ells. Aquestes xarxes ajuden de manera important a l'organització dels sistema, mitjançant l'efecte multiplicador del intercanvi.

Per a Rueda, poden considerar-se tres factors basats en les xarxes d'intercanvi que corregeixen el valor de la diversitat total (H):

1.- **La xarxa de mobilitat (t)** on es pretén aproximar la capacitat de cada tipus de transport (modes de transport) en relació a les possibilitats de moviment pel territori.

$$t = \sum_{i=1}^n v_i \cdot H_{ti} \quad \text{on, } H_{ti} = -\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{C} \cdot \log_2 \frac{c_i}{C}$$

v_i = número de viatges en el mode i, en un període concret

c_i = número de viatges potencials per al mode i

C = número de viatges potencials total per al conjunt de la xarxa

modos de transport: a peu, bicicleta, automòbil, ferrocarril, bus,...

2.- **La xarxa d'intercanvi d'informació (f)** definida per:

$$f = \sum_{i=1}^n h_i \cdot H_{fi} \quad \text{on, } H_{fi} = -\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{S} \cdot \log_2 \frac{s_i}{S}$$

h_i = número de bits (unitat d'informació) rebuts i/o emesos per unitat de temps en la subxarxa i

s_i = capacitat potencial per rebre i/o emetre informació en bits per a la subxarxa i

S = número de bits d'informació total per al conjunt de la xarxa

subxarxes: telèfon, fibra òptica,...

3.- **La xarxa econòmica (m)** pot definir-se com:

$$m = \sum_{i=1}^n l_i \cdot H_{mi} \quad \text{on} \quad H_{mi} = - \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{D} \cdot \log_2 \frac{d_i}{D}$$

l_i = tipus de transacció en un període donat

d_i = quantitat monetària intercanviada per a cada tipus de transacció

D = quantitat monetària total en un període donat

Tenint en compte els factors de multiplicació de les potencialitats d'intercanvi de cada una de les xarxes s'obté una diversitat total corregida (H_c) que ens acostava a la realitat de l'organització complexa del territori.

$$H_c = (t+f+m) \cdot H$$

3.4.6. L'evolució de la complexitat

Un dels objectius de l'ecologia urbana és d'obtenir una sèrie de paràmetres que indiquin l'evolució de la complexitat interna del sistema estudiat. Per això, Margalef estableix un quocient que relaciona l'energia i l'organització del sistema com mitjà d'assenyalar la direcció evolutiva d'aquest.

Resumint es pot definir com E_{TOTAL}/H

on E_{TOTAL} és la suma de l'energia endosomàtica i l'exosomàtica. H és el sumatori de les diversitats definides anteriorment: biològica, socioeconòmica, sociocultural, etc., (veure més amunt l'apartat 3.4.3.2.)

De fet, "aquest quocient es configura com la funció guia que tendeix a minimitzar-se en el temps en aquells sistemes que maximitzen la recuperació d'entropia en termes d'informació i minimitzen la projecció d'entropia a l'entorn per un menor consum d'energia" (Rueda, S., 1995c).

Aquest intent de recuperació d'entropia en termes d'informació és el model que s'acosta idealment a la sostenibilitat; en canvi, el model que proposa maximitzar l'entropia projectada al entorn s'acosta a la idea economicista de creixement sostingut, ja comentat en el capítol anterior.

3.4.6.1. Dos models oposats: l'ordenació compacta en front la difusa

Una forma d'estudiar la complexitat dels sistemes urbans és analitzant la contraposició entre el model compacte i el model difús d'ordenació territorial.

El model d'ordenació difusa s'adapta al sistema funcionalista d'ordenació actual, amb tendència a augmentar la complexitat interna simplificant la de l'exterior. Aquest tipus de ciutats es difuminen sobre el territori de forma dispersa i segregada socialment, restant unides mitjançant una gran varietat de xarxes d'infraestructures.

El model d'ordenació compacta, es defineix com tot el contrari, pot augmentar la complexitat interna sense necessitat de simplificar tant l'exterior del ecosistema, degut a que els portadors d'informació es relacionen més estretament, cosa que facilita (retroalimentació positiva) un augment de la diversitat. Aquest tipus de model és més adient segons els ecòlegs urbans per poder seguir una estratègia de sostenibilitat.

Donades les definicions formals podem aprofundir en els models estudiant els avantatges i inconvenients amb major detall.

3.4.6.1.1. Conurbació difusa

Els problemes causats per aquest tipus de model es poden exposar en tres punts:

1. L'elevat consum de sòl.
2. Un consum exagerat de materials i energia, provocat per la segregació dels usos del sòl, la mobilitat que s'en deriva i una dinàmica de consum descentralitzat.
3. La tendència a explotar i desestructurar els sistemes del entorn més enllà de la seva capacitat de càrrega.

(Rueda,S.,1995c)

La conurbació dispersa acumula molta informació en el seu conjunt però no en les seves parts, on el valor d'H és molt reduït i el quocient E/H és molt elevat. Es tracta de desenvolupar-se sense tenir en compte la capacitat de càrrega dels sistemes en explotació.

És el cas de l'AMB, on aquesta forma d'ocupar el territori, aplicant per als nous assentaments urbans un patró típic de les conurbacions anglosaxones, ha portat una explosió urbana (*sprawl*) molt accentuada en els últims quaranta anys, quan s'ha ocupat més espai (fonamentalment sòl fèrtil) que des dels orígens històrics de la urbanització. A partir dels anys 50 i de forma semblant al que ha succeït en un bon nombre d'àrees metropolitanes europees, l'ús massiu del vehicle privat, ha estat el principal impulsor de la urbanització difusa en aquest territori, alhora que s'ha exacerbat

el procés parcel·lador, desestructurant i simplificant els sistemes naturals de perifèries cada cop més allunyades.

Al malbaratament del sòl, s'ha d'afegir el malbaratament generat pels actuals estils de vida que tendeixen a fer-ho tot obsolet, en períodes temporals cada cop més curts.

A més, a les conurbacions difuses "s'han separat els usos i les funcions, ocupant territoris amplis, connectant-los a través d'una densa xarxa de carreteres per al transport motoritzat i d'extenses xarxes de serveis tècnics. El transport s'ha convertit així en el sector de major consum d'energia. A més de la separació de funcions i atenent als nivells de renda, s'ha donat una segregació social de la població, el que ha provocat una disminució d'estabilitat i de cohesió social. La separació de funcions i la segregació social, han donat lloc a un trencaclosques territorial amb pocs portadors d'informació en cada peça, donant lloc a una gran homogeneïtat i empobriment d'aquests espais. La ciutat es dilueix i es difumina convertint-se en un 'quasi-continuum' d'assentaments urbans dispersos" (Naredo i Rueda, 1995).

La conurbació difusa, d'aquesta manera, s'allunya (retroalimentació negativa) d'un ideal de sostenibilitat degut a que per a mantenir-se, precisa d'un major consum de recursos, requerint superfícies majors per abastir-se dels elements bàsics per a la seva subsistència. Això queda reflectit clarament per l'aplicació dels criteris expressats en la determinació de la "petjada ecològica", on el dèficit ecològic augmenta degut a la disminució del territori ecològicament productiu.

3.4.6.1.2. Conurbació compacta

Per tal de trobar el bon camí de la sostenibilitat, i atès que la ciutat és un sistema artificios, carregat d'intencionalitat, seria convenient buscar aquells models urbans que proporcionin el contacte, l'intercanvi i la comunicació, augmentant la densitat d'informació organitzada i disminuint, alhora, el consum de recursos naturals per mantenir l'organització complexa. Per altra banda, els models desitjats han de possibilitar la reducció de les disfuncions ambientals, socials i econòmiques més importants que les conurbacions presenten en l'actualitat.

Un dels models que, en principi, s'acomoda millor als propòsits esmentats, amb els ajustos necessaris, és aquell que ens proposa el tipus de ciutat mediterrània compacta i densa, amb continuïtat formal, multifuncional, heterogènia i diversa en tota la seva extensió. És un model que permet concebre un augment de la complexitat de les seves parts internes, que és la base per obtenir una vida social cohesionada i una plataforma econòmica competitiva, al mateix temps que s'estalvia sòl, energia i recursos materials, i es preserven els sistemes agrícoles i naturals.

“A la ciutat compacta la diversitat pot augmentar. L'augment d'H crea l'efecte real d'una major proximitat, per que concentra a l'espai unitats de característiques diferents. Les fa més properes, i en conseqüència es redueixen les distàncies físiques dels portadors d'informació. El temps de presa de contacte s'escurça i l'energia específica dedicada a la mobilitat esdevé substancialment més petita. Avui, l'activitat que consumeix més energia a la ciutat és el transport mecanitzat; en conseqüència, la reducció de la distància per mantenir el mateix numero de contactes i d'intercanvis significa reduir substancialment l'energia consumida pel sistema.” (Naredo i Rueda,1995)

A part de la tendència a l'augment de la diversitat (H), el model es fonamenta també en la reducció del quocient E/H, entenent que una disminució del mateix representa una major eficiència en l'ús dels recursos per mantenir una informació organitzada determinada. Sembla que la planificació del territori que es fonamentés en accions que disminuïssin el valor del quocient E/H permetria corregir, en part, les disfuncions del sistema actual i fer flexibles algunes de les variables que avui més condicionen el funcionament del ecosistema urbà i del entorn.

També, segons Mitlin i Satterhwaite, les concentracions urbanes compactes tenen una sèrie d'avantatges per aconseguir la sostenibilitat que són:

- Baix cost per càpita en infraestructures de canalitzacions d'aigua potable, sistemes de clavegueram, recollida d'escombreries, entre d'altres.
- Altes possibilitats per augmentar les opcions de reciclat o reutilització de materials i l'aparició de tècniques especialitzades i iniciatives per generar sinèrgies en altres opcions.
- Alta densitat de població, el que redueix la demanda d'ocupació del territori per càpita.
- Gran potencial a través d'economies d'escala, la cogeneració i l'ús de processos calorífics residuals de la indústria i de les plantes energètiques, per reduir l'ús de combustibles fòssils per càpita per calefacció.
- Elevat potencial per reduir l'ús d'energia (principalment fòssil) dels motors mitjançant l'ús de bicicletes o mitjançant el trànsit a peu. (Rees i Wackernagel,1996)

3.4.6.1.3. Corolari.

Algú podria pensar que s'està proposant la creació de ciutats tan denses i condensades com les ciutats corresponents a la primera època de l'era industrial. Seria un error. No es tracta de resoldre els nous conflictes per anar a caure en els conflictes antics. Ildefons Cerdà i després altres urbanistes pragmàtics ja varen crear els instruments per afrontar els conflictes derivats de la higiene i la salubritat, del privat i del col·lectiu, del silenci i de l'enrenou, de l'equitat i la reducció de la injustícia en relació amb l'espai, entre d'altres.

“Es tractaria de compaginar les millors fórmules que reduïssin els conflictes nous sense oblidar les corresponents mesures per reduir els conflictes antics. L'Eixample de Barcelona és un exemple de

ciutat compacta i diversa, a la que idealment es pot considerar que per reduir les disfuncions que genera li sobren coses i n'hi falten d'altres. De tota manera, és un bon punt de partida teòric per aquelles ciutats que estan creixent ja que ens aproxima a un nou model d'ordenació de l'espai, certament diferent al model que proporciona la ciutat difusa actual." (Rueda,S.,1995b)

Afirmar que la ciutat mediterrània compacta i diversa, multifuncional i heterogènia pot constituir un model amb una bona base per dirigir-se cap a la sostenibilitat, no invalida la proposició d'altres models urbans que també poden aconseguir-ho. Podria pensar-se en la configuració d'una xarxa de nuclis urbans de mida mitjana o fins i tot d'una xarxa més extensa de nuclis urbans de mida reduïda, tots ells ben adaptats a l'aprofitament sostenible dels recursos locals. Aquestes configuracions s'han desenvolupat durant segles als països riberencs de la Mediterrània.

Aquesta dimensió màxima dels nuclis urbans la podem deduir del quocient E/H. La necessitat d'incrementar la diversitat a partir de quantitats cada cop menors d'energia pot indicar-nos la dimensió òptima del nucli urbà estudiat.

3.5. LA TEORIA DEL CAOS APLICADA A LA PLANIFICACIÓ TERRITORIAL

Assistim a un increment accelerat de la complexitat de la societat actual, degut als fenòmens, de fet complementaris, de globalització i regionalització, així com a les tensions entre diferents cultures i religions, i la creixent velocitat dels canvis tecnològics i socio-culturals.

En aquest context, el model filosòfic i científic tradicional arrelat en la mecànica newtoniana i la geometria d'Euclides, no és ja una eina vàlida per entendre el nostre món d'una manera profunda. Es necessita, doncs, una eina que ens permeti crear escenaris de futur ben argumentats i que sigui compatible amb la naturalesa no-lineal, dinàmica, orgànica, sistèmica i holística dels sistemes naturals i socials.

Pel que fa a la planificació territorial ens trobem amb el mateix problema. La quantitat de factors que interaccionen sobre aquest recurs integral limitat i sensible, és tan gran, que els instruments de caire lineal característics d'aquell vell paradigma no permet obtenir previsions de futur que siguin suficientment representatives del que podrem trobar-nos en la realitat.

Per les seves pròpies característiques, la Teoria del Caos pot aportar instruments i models per abordar d'una forma més ajustada, els problemes de planificació ocasionats per l'especial complexitat que assoleixen avui els sistemes urbans.

3.5.1. La necessitat de nous models analítics

El fet que ens anima és l'evidència que la majoria d'anàlisis estadístiques referides a les àrees metropolitanes més evolucionades, com pot ser el cas aparentment senzill de la determinació de la seva població futura, palesen la naturalesa essencialment impredecible de l'urbanisme i l'ordenació del territori.

Una possible solució en aquest problema, segons proposen Josep Maria Fargas i Pegor Papazian, és l'ús de models analítics en lloc de models estadístics. Amb un model analític es pot representar un sistema caòtic en funció dels factors que tenen influència sobre ell. Si el model està ben ajustat, simularà correctament el comportament caòtic i, llavors, serà possible distingir en la planificació urbanística entre aquells aspectes intrínsecament impredecibles, sense necessitat de recórrer a l'atzar i les representacions probabilistes, i aquells que poden ser acuradament determinats.

El principal avantatge d'aquest plantejament és la seva capacitat per analitzar qualsevol seqüència possible d'estats futurs en termes dels factors influents, que estan explícitament representats en el model, amb el que es pot detectar aspectes importants del funcionament del sistema.

Els models analítics permeten estudiar el comportament del sistema davant la variació d'un sol factor i determinar si aquest factor provoca diferències qualitatives en les famílies de patrons resultants. Aquestes possibilitats d'estudi no es poden plantejar amb els models estadístics.

3.5.2. L'aplicació als sistemes urbans

Malgrat que la predicció absoluta a llarg termini és impossible per definició en un sistema caòtic, la utilitat d'aquest enfocament radica en determinar quan el sistema comença a comportar-se caòticament i quins són els paràmetres que influeixen en el seu comportament.

Josep Maria Fargas aplica un model computacional, generat per Pegor Papazian, a la tasca de deduir les possibles envoltants d'edificis en funció de paràmetres de zonificació i d'interessos econòmics i/o polítics dels diferents agents inversors en el procés d'urbanització.

Fargas i Papazian proposen una metodologia basada en dos fases:

- En la **primera fase**: han d'establir-se els factors que influeixen en el sistema a estudiar, i fer una abstracció de les regles racionals que governen el comportament del sistema enfront a variacions d'un mateix factor, independentment dels altres.
- En la **segona fase**: s'han d'implementar les regles racionals, obtingudes en la fase anterior, en un programa informàtic. Aquest s'estructurarà com un sistema expert per a cadascun dels mòduls que representen un factor, que hauran de ser connectats i sintonitzats per que el comportament del programa segueixi el del sistema estudiat.

En aquest estudi, els factors escollits per deduir les possibles envoltants d'edificis, són:

- Planejament.
- Renda / preu del sòl.
- Atractors socioeconòmics.
- Topografia.

Segons els seus autors aquest model podria ser un dels mòduls dins del sistema més ampli proposat a escala regional. Altres mòduls podrien incloure regles analítiques de trànsit, influències dels canvis de població, constriccions demogràfiques, etc.

3.5.2.1. Un model no-lineal per a les atractivitats

Una de les característiques de les societats humanes és la seva capacitat d'adaptació i de constant reestructuració del seu comportament sota condicions de no equilibri. Per descriure aquestes

evolucions podem partir de models dinàmics no lineals, com és el cas del model dinàmic de les atractivitats proposat per Allen i Prigogine.

Cal tenir en compte que tot model dinàmic que tracti de representar una societat humana ha de començar per definir el sistema corresponent, l'estructura interna del qual presenta un fort acoblament amb el seu entorn, amb el que intercanvia matèria, energia i informació. En aquest joc, també s'ha de tenir present, que els sistemes humans, a diferència dels sistemes químics o les societats animals desenvolupen necessitats i desigs individuals. La discrepància que sovint apareix entre desig i realitat fa que el futur humà tingui aspectes altament impredecibles.

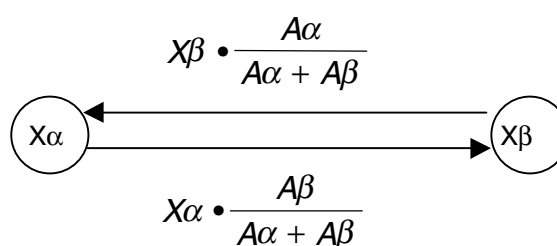
Centrem aquesta breu descripció del model en el cas d'una ciutat on les activitats econòmiques es troben distribuïdes en diverses zones especialitzades. Hi ha també una separació de les zones residencials, que es diferencien entre elles pel que fa a les condicions de vida i la disponibilitat de llocs de treball i serveis.

En aquest model, tenim les següents característiques:

- Les variables principals que determinen l'estat del sistema en un moment determinat són el número X_i^k d'habitants del grup "k" en el lloc "i" i les corresponents activitats J_i^k .
- N_i és la població resident en el lloc "i".
- Les atractivitats A_{ij} són funcions complexes de X_i^k , J_i^k i de les distàncies entre els punts "i" i "j".

Com es pot veure en el gràfic següent, tenim una anella de realimentació per la possibilitat d'elecció sota dues ofertes simultànies α i β i amb atractivitats A_α i A_β .

D'altra banda, X_α i X_β representen la població que s'ha decidit, en un instant determinat, per l'oferta α o l'oferta β .



$$X_\beta \cdot \frac{A_\alpha}{A_\alpha + A_\beta}$$

individus que desitgen canviar a α .

$$X_\alpha \cdot \frac{A_\beta}{A_\alpha + A_\beta}$$

individus que desitgen canviar a β .

Obtenim el teorema per les equacions d'equilibri per X_α i X_β :

$$\frac{dX_\alpha}{dt} = a \cdot X_\alpha \cdot \left(\frac{X_\beta \cdot A_\alpha}{A_\alpha + A_\beta} - \frac{X_\alpha \cdot A_\beta}{A_\alpha + A_\beta} \right)$$

Mitjançant la simplificació $X_\beta = N - X_\alpha$ on N =població total, obtenim la següent equació:

$$\frac{dX_\alpha}{dt} = a \cdot X_\alpha \cdot \left(\frac{N \cdot A_\alpha}{A_\alpha + A_\beta} - X_\alpha \right)$$

Per X_β tindriem la equació simètrica corresponent.

La dependència de les atractivitats respecte de X , la converteix en una funció de l'estat instantani. Per representar de forma més fidel la complexitat del sistema, en tenim prou amb augmentar a les equacions anteriors les possibilitats d'elecció, i aplicar una situació més realista en que l'atractivitat de l'oferta "i" dependrà del grup de població "j". Se suposa que la població total "N" és inhomogènia i es descomposa en grups diferenciables on cada grup pren el seu propi punt de vista envers l'atractivitat relativa de les diverses possibilitat d'elecció.

D'això en resulta la següent equació:

$$\frac{dX_i}{dt} = C \cdot X_i \cdot \left(1 - \frac{X_i}{\sum_{j=1}^k \frac{N_j \cdot A_{ij}}{\sum_l A_{lj}}} \right) \quad (i=1, \dots, k)$$

En aquesta equació, les variables de les atractivitats A_{ij} i les N_j estan relacionades amb les variables de població X_i del estat momentani.

3.5.2.1.1. Conclusions d'aquest model

La resolució numèrica d'aquestes equacions "confirma clarament l'existència d'un gran número de solucions així com de complicats fenòmens de bifurcació. Partint d'una zona en la que les variables estan inicialment distribuïdes de forma aleatòria, s'observa, poc a poc, l'aparició d'una estructura organitzada amb els seus propis centres de comportament i negoci, les seves zones industrials, els

seus centres comercials i les zones residencials de qualitats diferents. Mentre no aparegui algun tipus de pertorbació massiva, l'estructura es manté estable, durant un temps indeterminat" (Nicolis i Prigogine, 1986).

Un aspecte interessant del model és que segons el moment en que s'inicia una nova activitat, aquesta tendeix a incrementar-se fins assolir una estabilització; en canvi, si aquesta activitat s'inicia en un altre instant no té perquè tenir èxit. Aquesta situació palesa el perill d'una planificació estreta i a curt termini, basada simplement en l'extrapolació d'experiències anteriors.

Les diferències en les condicions inicials posen al sistema en àrees d'atracció de branques de solucions diferents i connecten d'aquesta manera diferents evolucions possibles o "desenvolupaments històrics" diferents.

Un imperceptible i imprevisible diferencial de naturalesa quàntica en el punt de bifurcació deixa la trajectòria efectiva (aquella que finalment s'esdevè) a l'albur del col·lapse al que s'arriba segons una distribució probabilística entre les branques possibles.

3.6. LA SOSTENIBILITAT EN LA PRÀCTICA: POLÍTIQUES URBANES EN L'ORDENACIÓ DEL TERRITORI

A meitat del present segle ja apareixen intents de crear models territorials que tinguin en compte les preocupacions ambientals, fonamentalment als països amb major desenvolupament, com és el cas dels Estats Units i el Canadà.

En els anys 70, aquestes preocupacions comencen a instaurar-se en la consciència europea. Els països mediterranis, entre ells Espanya, no sintonitzen, de moment, amb aquesta mentalitat d'adequació territorial ambientalment condicionada.

A partir de la Conferència de Río, amb el desenvolupament sostenible per bandera, es generalitza la consciència ambiental que es tradueix en una intenció d'internalitzar els problemes ambientals en les polítiques amb incidència sobre el territori.

3.6.1. Els inicis de la preocupació mediambiental

De fet a partir dels anys 60, els països més avançats comencen a tenir consciència dels problemes ambientals relacionats amb els assentaments humans i desenvolupen una sèrie de models en tant que són representacions esquemàtiques dels processos territorials que hi estan implicats.

Podem establir tres tipus de models amb les següents qualitats: senzillesa, fidelitat i precisió (Ortega i Rodríguez, 1994):

1. Models basats en unitats ambientals homogènies.
2. Models basats en la determinació d'usos segons àrees.
3. Models mixtes.

3.6.1.1. Models basats en unitats ambientals homogènies.

En aquests models, la unitat ambiental és una part homogènia del territori en relació amb totes les dades de l'inventari.

Model de Hills: Fou emprat al Canadà per Angus G. Hills. Divideix l'espai total en zones d'acord amb similituds climàtiques; aquestes es divideixen en subzones, amb base geològica i fisiogràfica segons característiques del sòl. Cada tipus fisiogràfic es confronta amb quatre categories d'ús del sòl: agrícola, silvícola, de conservació i recreatiu. Es determina per cada tipus fisiogràfic la seva capacitat o potencial de producció, la seva adequació d'ús i la seva viabilitat o conveniència d'ús donades les condicions econòmiques i socials existents o previstes. A partir d'això, per

agrupacions successives, es constitueixen unitats de paisatge, on poden delimitar-se unitats de sòl, en les que es classifica el territori. Per últim es cartografien aquestes unitats.

Model GEM: Dissenyat a Holanda al 1975, fou ideat com a base ecològica general per un nou sistema de planificació física de tot el país. El model està pensat per valorar les interaccions entre el medi natural i la societat referides a un determinat sistema espacial. Com unitat bàsica territorial s'utilitza el concepte geogràfic de "geotop", definit com una part de la geosfera, morfològica i funcionalment homogènia. Com a criteris d'avaluació s'utilitzen les magnituds ecològiques del medi: diversitat, raresa, plenitud i irremplaçabilitat.

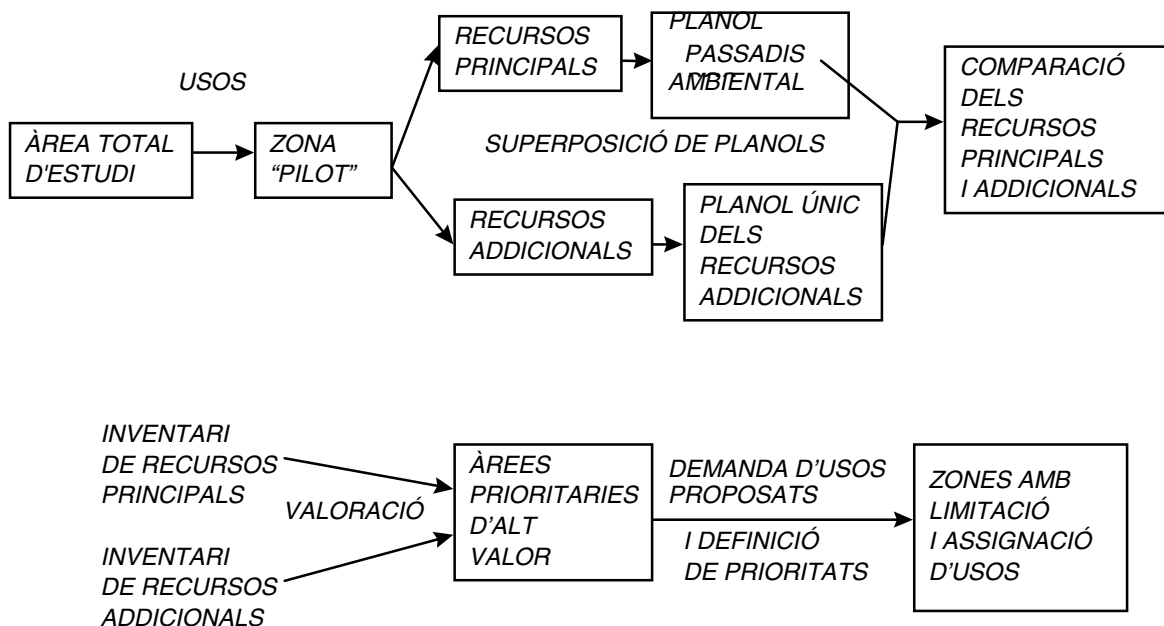
3.6.1.2. Models basats en àrees segons usos potencials

Aquests models es basen en la caracterització dels elements útils o significatius del medi, per estudiar la seva reacció individual enfront a cadascuna de les activitats previstes.

Model de Lewis: Data del any 1964 i tenia com a objectiu identificar tots els recursos ambientals de l'Estat de Wisconsin. Fou el primer model que va tractar d'incorporar els valors ecològics al procés de planificació. Però no pretén classificar el territori, ni delimitar usos, sinó que es limita a reservar zones en les que no es pot realitzar cap actuació. Diferencia recursos amb valor intrínsec i recursos amb valors extrínsecs, conseqüència d'actuacions humanes. La seqüència del procés (veure figura 6) és la següent:

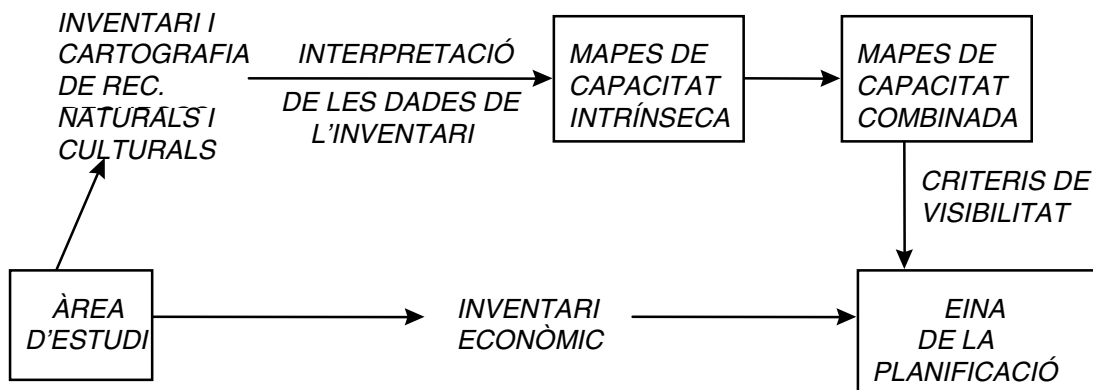
1. Es delimita l'àrea total d'estudi.
2. S'identifiquen els usos del territori.
3. Se selecciona un àrea "pilot".
4. En l'àrea "pilot" es cartografien, en mapes transparents d'igual escala, els recursos principals i els recursos addicionals.
5. Se superposen els mapes dels recursos principals definint-se els passadissos ambientals en aquella zona on s'acumulin aquests recursos.
6. Se superposen els mapes de recursos addicionals.
7. Es comparen els recursos principals i els addicionals.
8. S'inventarien els recursos principals i els addicionals en l'àrea total d'estudi.
9. Es valoren uns i altres recursos.
10. Es totalitzen els valors, identificant-se àrees de prioritats.
11. Es determina la demanda d'usos proposats i es defineixen les prioritats.
12. Per últim, s'identifiquen les limitacions i s'assignen els usos específics.

Model de Lewis



Model de McHarg: Donada un àrea d'estudi, s'efectua un inventari ecològic a partir del qual es cartografien els recursos naturals i culturals. Posteriorment s'interpreten les dades de l'inventari en relació amb les actuacions proposades. S'obté després un mapa de capacitat intrínseca per a cada una de les activitats: agrícola, recreativa forestal i d'ús urbà. Després es donen valors als processos obtenint una zonificació de l'àrea total segons el seu valor. Confrontant els usos de localització entre ells s'obté una matriu d'incompatibilitat. Amb aquestes dades (mapes de capacitat intrínseca, mapes de valor i matriu d'incompatibilitats) se sintetitza un mapa de capacitat continuada. Simultàniament a l'inventari ecològic es realitza un inventari econòmic que juntament amb els criteris de visibilitat, permet obtenir l'eina de planificació.

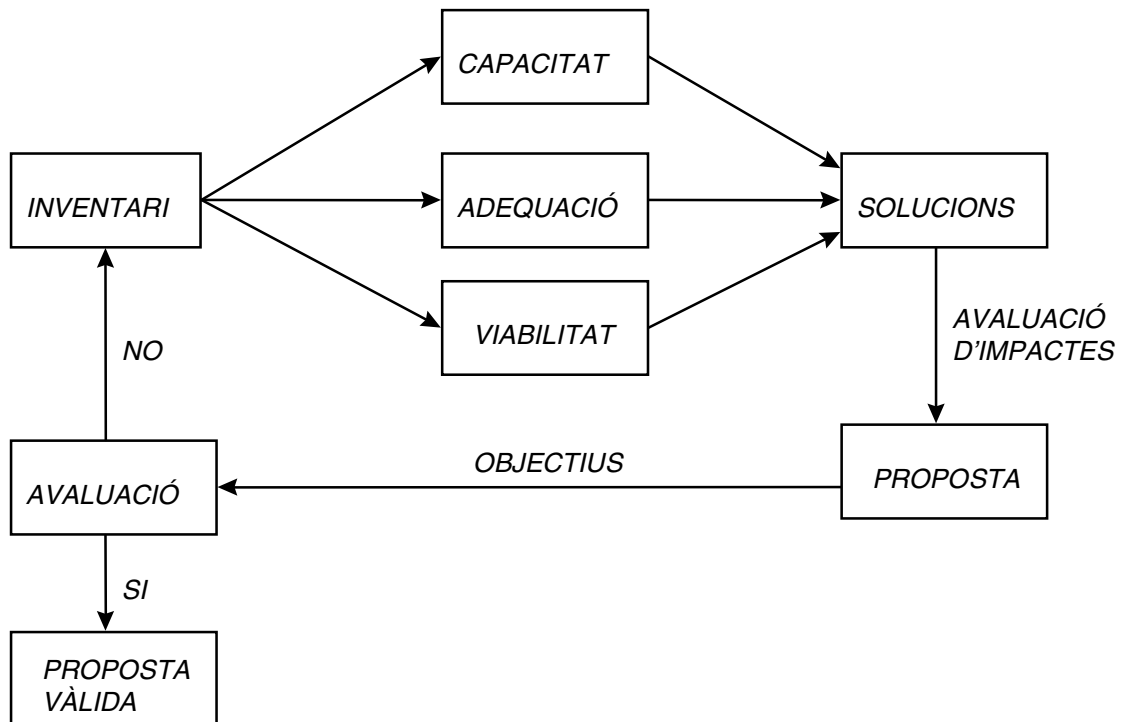
Model de McHarg



Model de Johns: Es tracta d'un model del any 1973 que inclou una anàlisi de la capacitat intrínseca del territori i un estudi dels impactes produïts pels diferents plans. S'elabora un inventari dels factors naturals, socials i econòmics. Amb aquest inventari s'analitzen:

- La capacitat del medi per produir determinats bens i serveis.
- L'adequació o possibilitat de l'àrea per dur a terme en ella les activitats proposades.
- la viabilitat o possibilitat total d'acollir les diferents activitats.

Model de Johns



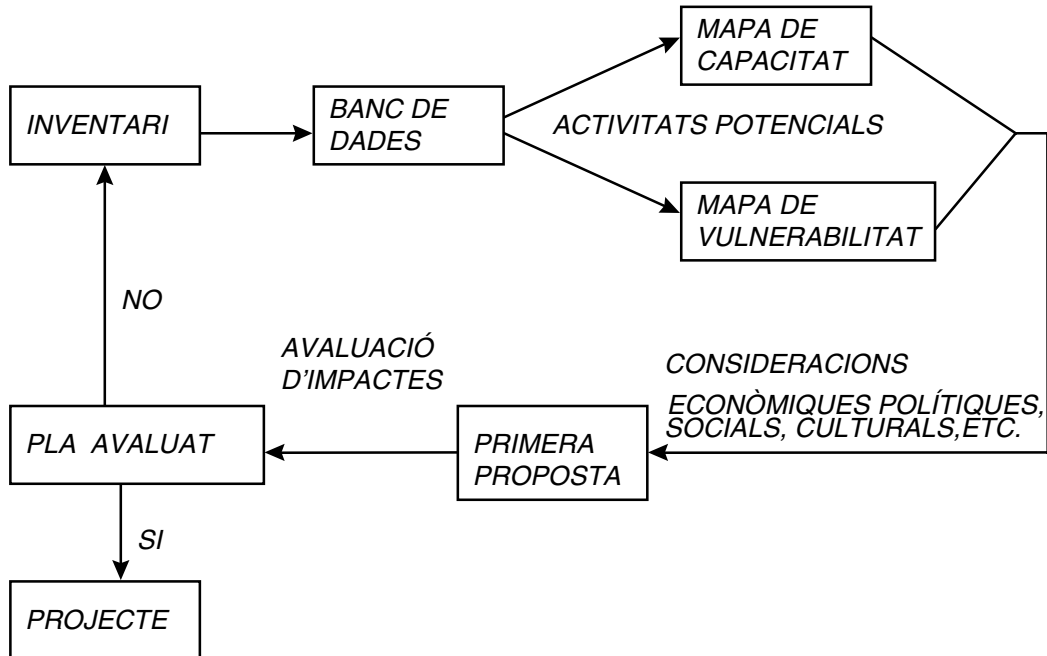
Amb aquestes dades s'obtenen diferents solucions que se sotmeten a una avaluació d'impacte ambiental. A través dels objectius plantejats s'obté una proposta que es revisa i recicla fins aconseguir una proposta final vàlida.

Mètode de Steinitz: Es tracta de l'elaboració de diversos models matemàtics amb la finalitat de resoldre el problema de la incorporació de les dades del medi físic a la planificació territorial. La seqüència pot resumir-se així:

- Inventari, arxiu i localització de les dades en cartografia automàtica.
- Establiment de les activitats potencials.
- Determinació de la capacitat i de la vulnerabilitat del medi per a cada una d'aquestes activitats. S'obtenen mapes de capacitat i de vulnerabilitat.
- A partir dels mapes de capacitat i de vulnerabilitat, tenint en compte consideracions de tipus econòmic, social, polític, cultural, etc., s'obté una primera proposta; s'avalua l'impacte ambiental produït per aquesta proposta, segons la capacitat intrínseca del territori.

- D'acord amb el resultat de l'avaluació es corregeix el pla inicial per adequar-lo als objectius d'augmentar la capacitat i disminuir l'impacte.

Model de Steinitz



3.6.1.3. Models mixtos

Un tercer grup de models participa de la divisió del territori en unitats ambientals homogènies i de la caracterització dels elements significatius del medi. Es tracta d'abordar l'urbanisme des d'una perspectiva multifactorial, amb la finalitat d'arribar a solucions racionals i consistents, mitjançant la intervenció d'equips multidisciplinaris. La seqüència d'aquests tipus de models pot resumir-se així:

- Inventari de dades físiques i culturals.
- Correlació de les dades.
- Identificació dels problemes importants i de les oportunitats.

3.6.2. Els programes europeus

En els tractats fundacionals de la CEE no es feia cap esment als problemes del medi ambient. Però enfront de la demanda d'una millor qualitat de vida, anàlisis dels efectes de la industrialització i de la urbanització al 1970 es redactà el primer document de la Comunitat; el **I Programa d'Acció de les Comunitats Europees sobre el Medi Ambient** (1973-76).

Els principis en els que s'inspira són tretze, i els més rellevants són (Paniagua i Tarancón, 1993):

1. La millor política de medi ambient consisteix més en evitar l'origen de la contaminació i els seus danys, abans que la posterior acció per combatre els seus efectes.
2. La política del medi ambient pot i ha d'anar sincronitzada amb el desenvolupament econòmic i social.
3. Convé tenir en compte la incidència de tots els processos tècnics de planificació i de decisió sobre el medi ambient.
4. Els aspectes més importants de la política de medi ambient mai s'han de programar ni realitzar de forma aïllada pels diversos països.
5. La política comunitària del medi ambient ha de tenir com objectiu, sempre que sigui possible, progressar de forma coordinada i harmonitzada amb les polítiques sectorials.

Tots aquests principis han estat els elements rectors de la política ambiental comunitària, malgrat que en el **IV Programa d'Acció** van ser redefinits.

Les àrees urbanes tenen un tractament primordial dins del IV Programa. La urbanització ràpida resultant de la migració del camp a la ciutat i el creixement actual de la pròpia població urbana, porta com a conseqüència un deteriorament de la qualitat del medi ambient.

Per això es prenen mesures encaminades vers:

- L'aprofitament de terres abandonades o contaminades.
- La creació de parcs o sistemes d'espais lliures.
- Mesures de rehabilitació d'edificis vells.
- Control del creixement urbà.

3.6.2.1. Una nova eina: l'Avaluació d'Impacte Ambiental (AIA)

Des del Primer programa se sosté la conveniència de tenir en compte, tant com sigui possible, la incidència de tots els processos de planificació i de decisió sobre el medi ambient. El procediment que assegura la presa en consideració dels danys causats que pugui patir el medi ambient dins de qualsevol procés, és l'avaluació d'impacte ambiental (AIA).

Els informes d'AIA són susceptibles d'aplicar-se a polítiques, programes i plans, encara que el seu índex i objectius poden ser modificats. Fins i tot, determinats impactes ambientals no són avaluable al nivell de projectes i sí cercant altres categories més generals. Diferents tipus d'impacte poden ser avaluats en diferents etapes.

Segons Paniagua i Tarancón l'ampliació de l'AIA pot dirigir-se cap a diversos sectors de l'activitat econòmica, així com a plans urbanístics i territorials. En aquest sentit, pot aplicar-se des d'una

escala nacional, i també regional o local, fins a accions sectorials i de planificació detallada del medi físic.

3.6.2.1.1. L'AIA a Espanya

L'AIA és un procés de doble caràcter. Tracta d'elaborar una anàlisi encaminada a predir les alteracions que un projecte o activitat pot produir en la salut humana i en el medi ambient. Per l'altre, ha d'establir el procediment jurídic-administratiu per l'aprovació, modificació o rebuig de l'activitat o projecte per part de l'Administració.

La finalitat és dotar als responsables de la planificació i gestió ambiental d'una eina que els permeti tenir la certesa de que les decisions trascendentals, en el camp del medi ambient, han estat preses després d'una anàlisi sistemàtica i adequada. En definitiva, aquest procés ha de permetre proporcionar major fiabilitat i confiança a les decisions que s'han d'adoptar, per poder escollir, entre diferents alternatives possibles, aquella que millor salvaguardi els interessos generals des d'una perspectiva global i integrada que tingui en compte tots els efectes derivats de l'activitat projectada.

Conté disposicions addicionals, ja que no serà d'aplicació als projectes relacionats amb la defensa nacional, ni amb els aprovats específicament per una llei de l'Estat, ni tampoc als supòsits excepcionals que el Consell de Ministres, mitjançant acord motivat, pugui excloure; en cada cas, s'escau que l'acord del Govern sigui públic i contingui les previsions que en cada supòsit estimi necessàries en ordre a minimitzar l'impacte ambiental del projecte.

Segons la lectura de Paniagua i Tarancón a través de l'anàlisi del Reglament, s'adverteix que en el cas espanyol la transposició de la directiva comunitària no queda sovint recollida en la planificació territorial, a pesar de les recomanacions del IV Programa.

3.6.3. La preparació de la Conferència de Ríó: l'Agenda 21 i el V Programa europeu

Com ja s'ha explicat en el capítol I, a partir de 1987, amb motiu de l'Informe Brundtland, s'introdueix el concepte de sostenibilitat, fent referència a la impossibilitat de garantir un creixement econòmic futur donades les actuals condicions d'explotació dels recursos.

En l'àmbit estrictament urbà, es pot afirmar que no existiran condicions de sostenibilitat globals si les ciutats no unifiquen uns criteris de referència a nivell estrictament local. Actualment el món es globalitza a ritme elevat, i s'organitza i gestiona a través d'una xarxa de sistemes urbans que alhora concentra els principals centres d'informació i decisió, residència, producció, distribució i consum del planeta.

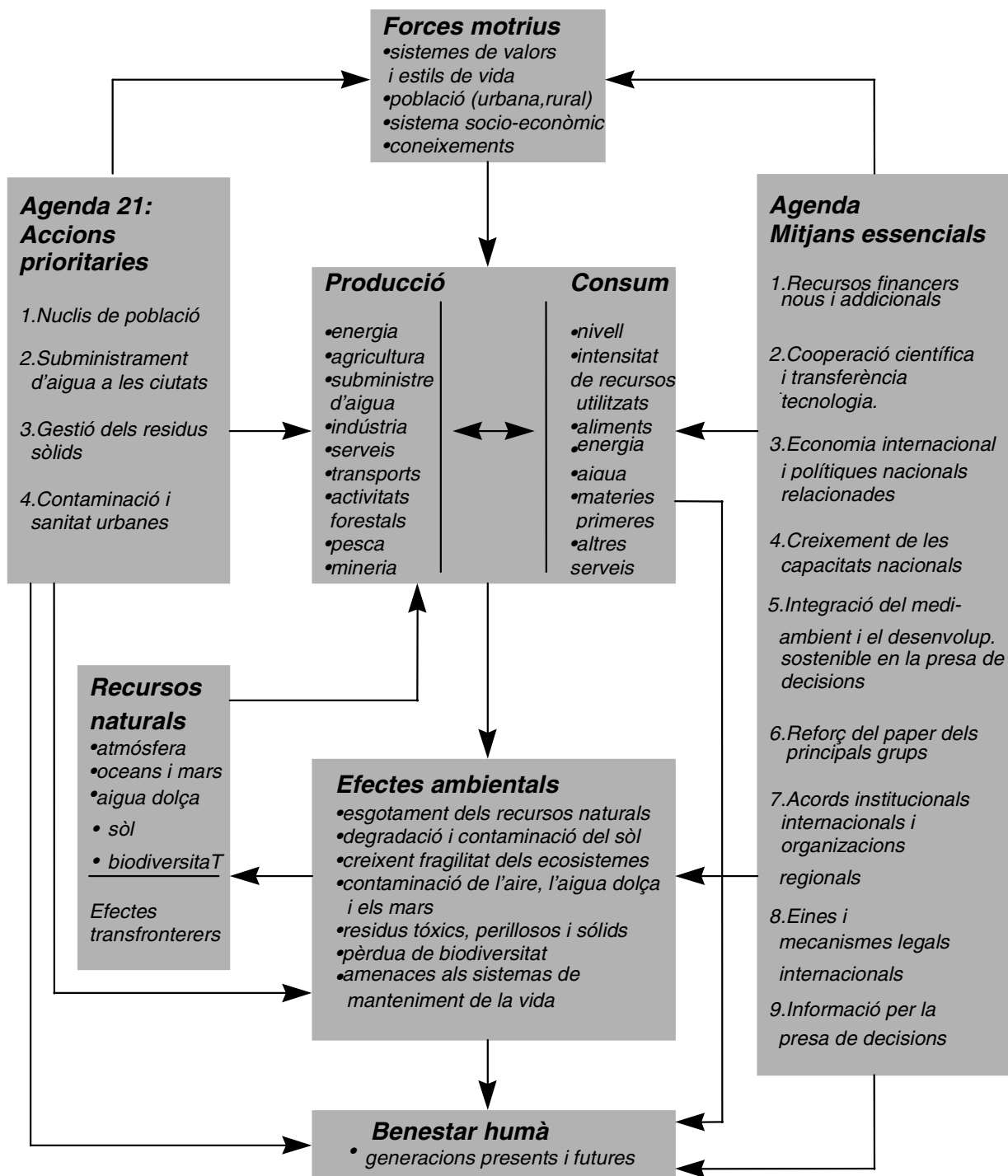
Llavors, és molt important conformar aquesta xarxa urbana de manera adequada per poder configurar els comportaments socials dins les ciutats amb relació a la seva compatibilitat amb els equilibris ambientals i socio-econòmics.

Mirant cap a la Cimera de Río de l'any 1992, els experts en matèria urbana col·laboren en la redacció de textos per diferents programes, on destaca l'Agenda 21 i el V Programa de la Unió Europea. Aquests programes, que es varen presentar a la Conferència com estratègies a aprovar i a seguir en un futur, convergien en la necessitat d'un nou desenvolupament local. Extrapolant-ho a l'àmbit urbà, els informes destaquen la necessitat d'afrontar els problemes derivats dels límits de l'actual model d'urbanització, un model excessivament consumidor de sòl, recursos i energia, basat en la lògica del creixement quantitatiu i sectorial.

La necessitat d'una visió integrada i a llarg termini queda reflectida en els diferents programes, que s'exposaran a continuació.

3.6.3.1. El medi urbà a l'Agenda 21

Com es desprèn de l'esquema que segueix, l'Agenda 21, preveu una sèrie d'accions prioritàries en el medi urbà. Per dur a terme aquestes accions s'utilitzen mitjans i "forces motrius" destinats a establir una comunitat adequada entre l'ús dels recursos naturals, la producció i el consum, amb la intenció de minimitzar els efectes ambientals nocius.



Font: Agenda 21

Tota aquesta sèrie de paràmetres convergeix en la finalitat última del desenvolupament sostenible; el benestar present i futur recolzat mitjançant els agents locals.

3.6.3.2. El medi urbà al V Programa d'Acció europeu

Encara que als anys 70 i 80 la preocupació mediambiental té un paper important en els programes europeus, no és fins l'any 1992, en motiu del V Programa europeu, quan convergeixen els objectius cap al nou concepte de sostenibilitat, entesa en totes les seves vessants.

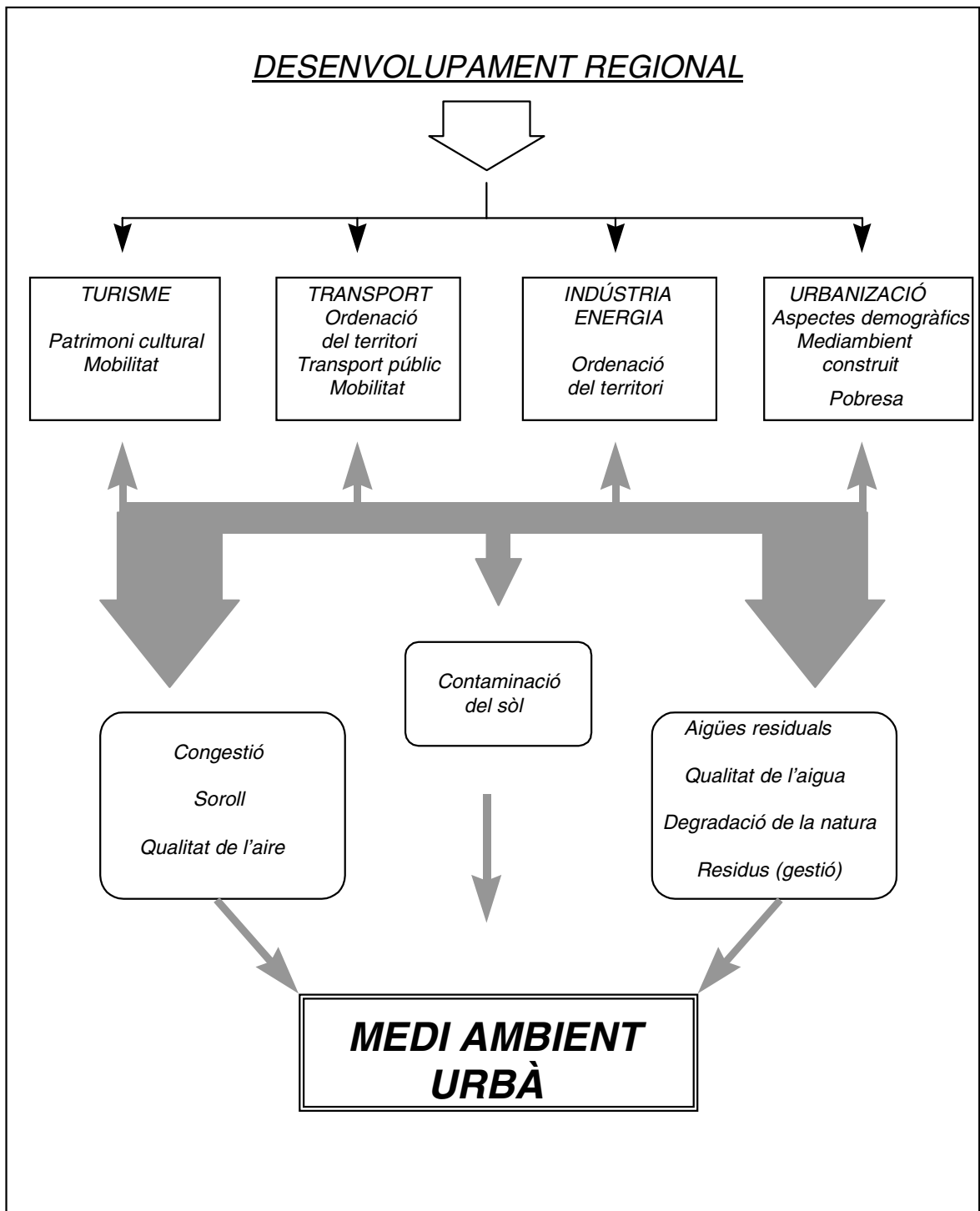
La UE estableix en aquest programa uns objectius que "s'hauran d'assolir sobre la base d'una responsabilitat compartida entre totes les esferes de la societat, integrant plenament la política sobre el medi ambient amb la resta de polítiques, cosa que requerirà l'aplicació d'instruments concrets, un dels quals serà sense cap mena de dubte, l'Avaluació Estratègica Ambiental (AEA)". (Ripa i Verdú, 1995)

L'Avaluació d'Impacte Ambiental (AIA), aplicada a projectes i l'Avaluació Estratègica Ambiental (AEA), aplicada a polítiques, plans i programes, s'han d'entendre com independents, encara que complementàries, i com instruments concrets d'avaluació ambiental. Els punts d'estudi del V Programa en matèria urbana es poden veure a l'esquema de la figura 11. Prenent aquest programa com a base per futures actuacions, s'han anat desenvolupant diferents polítiques en matèria territorial gràcies als diferents informes del Grup d'Experts del Medi Ambient Urbà.

El primer informe, dins del Projecte Ciutats Sostenibles, considera la ciutat sostenible com un procés, més que com un punt final; recull una gran diversitat d'idees i experiències pràctiques sobre com abordar les qüestions de l'ordenació urbana sostenible; en aquest sentit, es necessari un enfocament integral (holístic) de l'ordenació urbana, basat en la teoria dels ecosistemes, doncs es reconeix la complexitat del sistema urbà i les interconnexions existents entre els seus diversos elements.

Les àrees seleccionades com prioritàries en el primer informe són: l'economia urbana, la planificació territorial i la mobilitat i l'accessibilitat.

Les qüestions relatives a sostenibilitat econòmica i social, no poden considerar-se aïlladament de les qüestions relacionades amb la planificació territorial i els sistemes de transport.



Font V Programa UE

Pel que fa a la integració del medi ambient urbà i l'ordenació territorial, es reconeix la necessitat d'internalitzar, sota diverses formes, els objectius ambientals en les futures regulacions del sòl urbà, que són principalment recollits del Llibre Verd. A més, es manifesta que per abordar la qüestió del desenvolupament sostenible, ja no és possible fer-ho amb criteris restrictius, sinó que s'han d'incorporar criteris ecològics, destacant-se en l'apartat "d'acció en les ciutats" la necessitat

de desplegar polítiques en quatre apartats essencials: morfologia urbana; espais oberts; rehabilitació i renovació urbanes; així com, disseny urbà, vitalitat i usos mixtos.

Per últim, pel que fa al medi ambient urbà, mobilitat i accessibilitat, s'enuncia que el guany de la mobilitat urbana sostenible és un pas essencial en la millora general del medi ambient urbà i en el manteniment de la viabilitat econòmica de les ciutats; en aquest sentit, el compliment dels objectius relacionats amb l'ambient i el transport requereixen enfocaments integrats on puguin combinar-se el transport amb la planificació ambiental i espacial.

L'informe finalitza oferint recomanacions sobre polítiques urbanes i territorials, prenent aconseguir aquesta integració. Al respecte s'insisteix en:

- Una major integració dels aspectes econòmics, socials i ambientals de la sostenibilitat, en tots els sectors de les polítiques municipals i regionals dels estats membres de la Unió Europea.
- Millora de la capacitat d'ordenació i gestió de les Actuacions Urbanes amb l'objectiu de la sostenibilitat.
- Una major coherència entre directrius polítiques i actuacions, de forma que el desenvolupament de la sostenibilitat a escala local no es vegi menystingut per les decisions i mesures preses pels estats membres de la Unió.
- Mesures que evitin una duplicació inútil del treball i augmentin l'intercanvi productiu d'experiències.
- Una millor aplicació de les polítiques programes i mecanismes existents i, quan s'escaigui, l'elaboració d'altres nous.

En aquesta línia, la **Carta de Aalborg**, l'últim document generat fins al moment pel moviment de ciutats europees vers un desenvolupament sostenible, "planteja la necessitat de l'avaluació ambiental dels plans urbans cercant salvaguardar el desenvolupament futur de les ciutats, cosa que comporta la revisió de les polítiques convencionals en els àmbits del transport, els usos del sòl, la biodiversitat, els residus i la contaminació en general." (Alió, M.A., 1995)

Índex de la Carta d'Aalborg

- 1.El paper de les ciutats europees.
- 2.Noció i principis de sostenibilitat.
- 3.Estratègies locals vers la sostenibilitat.
- 4.La sostenibilitat com procés creatiu local a la recerca d'un equilibri.
- 5.Resolució de problemes mitjançant negociacions obertes
- 6.L'economia urbana vers la sostenibilitat.
- 7.Justícia social per a la sostenibilitat urbana.
- 8.Una ocupació del sòl sostenible.

9. Una mobilitat urbana sostenible.
10. Responsabilitat del canvi climàtic mundial.
11. Prevenció de la contaminació dels ecosistemes.
12. L'autogestió a escala local com condició necessària.
13. El protagonisme dels ciutadans i la participació de la comunitat.
14. Eines de la gestió urbana orientada vers la sostenibilitat.

Etapas d'un Pla d'Acció segons la Carta d'Aalborg

1. Reconeixement dels mètodes de planificació i dels mecanismes financers existents, així com altres plans i programes.
2. Localització sistemàtica dels problemes i de les seves causes, mitjançant consultes públiques extenses.
3. Classificació de les tasques per ordre de prioritat, a fi de tractar sistemàticament els problemes detectats.
4. Creació d'un model de comunitat sostenible mitjançant un procés participatiu que inclogui a tots els sectors de la comunitat.
5. Consideració i avaluació d'opcions estratègiques alternatives.
6. Establiment d'un pla d'acció local a llarg termini en favor d'un desenvolupament sostenible que inclogui objectius mesurables.
7. Programació de l'aplicació del pla, inclosa la preparació d'un calendari i una declaració del repartiment de responsabilitat entre els participants.
8. Establiment de sistemes i formes de processament de la supervisió de l'aplicació del pla.

3.6.4. Ciutat i territori després de Rio i el V Programa: les agendes de Desenvolupament Local

La Conferència de Rio i el V Programa Comunitari han impulsat en la societat europea el debat sobre la necessitat d'establir noves polítiques generals i locals orientades vers la sostenibilitat. I el fet que en la Unió Europea, el 80% de la seva població ja visqui en ciutats, indueix a que molts dels seus problemes tinguin una forta relació amb els de les nostres societats urbanes. L'atur estructural, els processos d'exclusió social i les dificultats per mantenir les tradicionals polítiques de l'*estat del benestar*, coexisteixen amb uns patrons de producció, distribució i consum, heretats del tipus d'industrialització desenvolupat en els últims cinquanta anys, d'alt impacte ambiental a nivell local i global, que converteixen Europa en un dels espais més saturats i amb major responsabilitat en la reconversió dels modes de desenvolupament vigents.

Mica en mica, i amb la col·laboració de tot tipus d'organitzacions, estan sorgint per tot el continent europeu diferents iniciatives, des dels municipis, que tracten de desenvolupar els seus Programes o Agendes Locals d'Acció 21. Dins una lògica variació existent entre els diferents casos particulars, s'han de sintetitzar una sèrie de característiques que són comuns als diversos **Programes Locals d'Acció 21** (Prats, F.,1995):

- Es conceben com estratègies integrades de prevenció i actuació, encaminades a la sostenibilitat del desenvolupament i la qualitat de vida local, mitjançant l'aplicació dels principis generals de la sostenibilitat a les condicions concretes de cada cas i zona. Els Programes estan revolucionant els criteris d'acció local vigents en els últims decennis i contemplen, des de perspectives integrades i de llarg termini, els problemes ambientals, socioculturals i econòmics de la localitat.
- Els Programes solen estar dirigits pels poders locals però tenen un caràcter obert i s'elaboren en amplis processos de concertació amb altres administracions i la població local. Per això es constitueixen fòrums representatius, comissions temàtiques o d'àmbit territorial, i es desenvolupen consultes obertes a la població de diferent tipus.
- Els Programes es conceben com una successió de cicles que defineixen els principals problemes en relació a la sostenibilitat local, i a partir d'aquí, concreten els objectius i programes clau, així com els indicadors que permeten, de forma senzilla, un seguiment i realimentació del procés. Aquesta metodologia permet establir una informació oberta i permanent a la població local sobre l'evolució dels principals indicadors de la sostenibilitat local.

3.6.5. Els indicadors de sostenibilitat com eina metodològica

Les reflexions anteriors confirmen que la sostenibilitat és un concepte teòric que no podem mesurar directament. Cal determinar un mètode operatiu a través dels oportuns indicadors. Un indicador representa la realitat, tot i que vingui derivat d'una conceptualització.

“Els sistemes d'indicadors de sostenibilitat permeten un judici objectiu sobre les possibilitats reals que presenten per accelerar la transició vers un model d'aquesta naturalesa, introduir una visió que va més enllà de la protecció mediambiental i sintonitzar una perspectiva d'eficiència ambiental en sentit ampli, integrada en el desenvolupament local: màxim benefici econòmic que es pot obtenir amb una mínima depreciació.” (Franco,N.,1995)

El veritable potencial de l'ús dels indicadors recau en la seva utilitat com eina de gestió i planificació local en les Auditories Ambientals Municipals (AAMs).

3.6.5.1. Tipologia dels indicadors

Hi ha varies classificacions d'indicadors entre les que destaca la de F. Casas:

1. Descriptius:

- Són els indicadors utilitzats en el procediment "tècnico-descriptiu", que seria semblant a realitzar fotografies d'una determinada situació. Útils en aplicacions particulars o per oferir informacions de caràcter genèric. No analitzen ni interpreten. El grau d'adaptació al coneixement científic és nul.

2. Tecnològics:

- Són els indicadors utilitzats en el procediment "tècnico-analític".
- Busquen la connexió entre la realitat i un model teòric.
- Utilitzats en la recerca per a la resolució de problemes o la presa de decisions i en la valoració de programes o recerques teòriques amb fonament.
- Serveixen per orientar i guiar en la presa de decisions.

3. Conceptuals:

- Són els indicadors utilitzats en el procediment "metodològic-conceptual", l'objectiu prioritari del qual és l'elaboració de models teòrics que permetin acostar-se a la realitat.
- Deriven de anàlisis conceptual del conjunt de dimensions d'un concepte científic lligat a alguna teoria.
- Instruments d'un procediment deductiu.
- Són propis de la investigació bàsica. S'han de discriminar si són mesurables, bé directament, bé indirectament, per tal de confegir un disseny de recerca aplicada; i si no són mesurables, han de quedar en situació d'espera de noves dades o nous instruments de recerca.
- Són els que guarden major "potencialitat científica".

Segons aquesta classificació, els indicadors de sostenibilitat que podem incorporar en les AAMs són els tecnològics, degut a que busquen la connexió entre la realitat i el model teòric de sostenibilitat. S'utilitzen per orientar en la presa de decisions, sempre atenent l'equilibri del sistema local al llarg del temps. En les AAMs, també són importants els indicadors psicosocials, ja que permeten recollir informació sobre aquesta mena d'aspectes i relacionar-los amb els estrictament ambientals.

3.6.5.2. Funcions i utilitats dels indicadors

Els indicadors són útils per diverses raons (Franco,N., 1995):

1. Reflecteixen problemes o situacions.
2. Faciliten comparacions entre diferents sistemes, països, regions, districtes...
3. Prediuen, a partir de l'avaluació de determinats sistemes, tendències futures.
4. Faciliten la planificació de les intervencions.
5. Permeten avaluar programes o intervencions.

Segons Marina Alberti (1996), els indicadors proveeixen una informació que simplifica la comunicació entre els experts, els polítics i els ciutadans; la seva utilitat específica recau en:

1. Control sistemàtic dels canvis mediambientals urbans.
2. Avís avançat dels problemes mediambientals.
3. Fixació d'objectius.
4. Anàlisi de l'actuació.
5. Informació i comunicació pública.

3.6.5.3. Fases per la construcció d'un sistema d'indicadors

Existeixen tres fases per a la construcció d'un sistema d'indicadors:

1. **Elaboració**, on l'escala s'elabora i se sotmet a prova. Es realitza una anàlisi indicador a indicador.
2. **Objectivació**, on l'escala es va fent objectiva, en el sentit d'una bona fiabilitat.
3. **Estandarització**, on es relativitzen les puntuacions a un grup normatiu.

3.6.5.4. Característiques que han de complir els indicadors per ser admesos.

- Fiables (consistents al llarg del temps).
- Vàlids (reflectint la realitat o el concepte a analitzar).
- Sensibles perquè s'adaptin als canvis.
- Específics.
- Comparables.
- Universals, o sigui, que siguin rellevants de forma general.
- Fàcilment comprensibles (delimitació conceptual clara).
- Flexibles i amb possibilitats d'examinar-los sovint.

La selecció final ve determinada per:

- Els objectius plantejats.
- Els recursos amb els que es compta.
- Les facilitats que es tenen per obtenir les corresponents informacions.

3.6.5.5. Exemples d'indicadors

Dins dels intents de mesurar la sostenibilitat local a Europa, a partir de la tendència de 50 ciutats europees va sorgir l'Índex Europeu de Sostenibilitat (1994).

Aquesta modalitat consisteix en tres àrees (específica, bàsica i central) d'indicadors. Després de varies revisions de les tres àrees s'arriba a una llista de 10 factors que influeixen en aquest Índex:

1. **Ambient saludable:** número de dies a l'any que la qualitat del aire no sobrepassa uns valors límits.
2. **Espais verds:** % de persones que tenen accés als espais verds a una distància adequada.
3. **Ús eficient dels recursos:** consum d'energia, aigua i generació de residus per habitant i dia.
4. **Qualitat de l'ambient construït:** ratio dels espais oberts respecte a les àrees d'infraestructures.
5. **Accessibilitat:** número de kms realitzats pel transport per persona i any.
6. **Economia verda:** % d'empreses que utilitzen auditories ambientals.
7. **Viabilitat:** número d'activitats socioculturals.
8. **Participació pública:** número d'organitzacions o voluntaris per 1000 habitants.
9. **Justícia social:** % de persones que viuen per sota del límit de pobresa.
10. **Benestar subjectiu:** Satisfacció percebuda de la qualitat de vida.

Posteriorment, l'any 1995, l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA) ha desenvolupat un model d'indicadors que distingeix entre "activitats" i "pressió" generada, per remarcar que les activitats humanes no són sempre la causa de l'estrés ambiental. Centrant-se en les àrees urbanes, la EEA identifica 55 indicadors classificats sota tres categories:

- Indicadors de models urbans
- Indicadors de fluxos urbans
- Indicadors de la qualitat del medi ambient urbà

Indicadors de models urbans

1. Població Urbana	a) Població	Número d'habitants en ciutats (1) i a la perifèria (2)
	b) Densitat de Població	Població per Km2 (3) Superfície per classe de densitat (4)
2. Territori urbà	a) Superfície total	Superfície en Km2 (5)
	b) Superfície total construïda	Superfície en Km2 (6) Per ús de terreny (7)
	c) Superfície oberta	Superfície en Km2 (8) Percentatge de zones verdes (9) Percentatge d'aigua (10)
	d) Xarxa de Transports	Autopistes (Km) (11) Vies fèrrees (Km) (12) Percentatge de la superfície total urbana (13)
3. Àrees urbanes abandonades	Superfície total	Superfície en Km2 (14) Percentatge de superfície urbana (15)
4. Àrees de renovació	Superfície total	Superfície en Km2 (16) Percentatge de superfície urbana (17)
5. Mobilitat urbana	a) Medi de transport	Número (18) i longitud mitja (19) de viatges en km. per habitant per medi de transport per dia
	b) Modes de transport per anar al treball	Número de trajectes cap a i des de la perifèria (20) Percentatge de població urbana (21)
	c) Volum de trànsit	Total (22) i destins anada/tornada (23) en vehicle Número de vehicles en les principals rutes (24)

Indicadors de fluxos urbans

6. Aigua	a) Consum d'aigua	Consum per habitant en litres per dia (25) Percentatge d'aigua subterrània en el consum total (26)
	b) Aigües residuals	Percentatge de les domèstiques connectades a un sistema de depuració (27) Número (28) i capacitat (29) de las plantes de tractament per tipus de tractament
7. Energia	a) Consum d'energia	Electricitat en GWh per any (30).Energia usada per tipus de combustible i sector (31)
	b) Plantes de producció d'energia	Número (32) i tipus (33) d'energia i plantes de calor en perifèria
8. Materials i productes	Transport de mercaderies	Quantitat de mercaderies mogudes des de i cap a la ciutat en kg. per càpita per any (34)
9. Residus	a) Producció de residus	Quantitat de residus sòlids Contabilitzats en Tm per hab/any (35) i composició dels residus (36)
	b) Reciclatge	% de residus reciclats per fracció (37)
	c) Tractament de residus i escombraries	Número d'incineradores (38) i volum (39) incinerat Número d'abocadors (40) i volum (41) rebut per tipus de residus

Indicadors de la qualitat del medi ambient urbà

10. Qualitat de l'aigua	a) Aigua potable	Nº de dies/any en que la mitjana d'aigua potable es superada (42)
	b) Aigües als embassaments	Concentració d'O ₂ a l'aigua embassada en mg per litre (43) Número de dies que el pH es >9 o <6 (44)
11. Qualitat del aire	a) A llarg termini	Principals concentracions anuals (45)
	b) Concentracions a curt termini: O ₃ , SO ₂ , TSP	Excedents de AQGs: O ₃ (46) SO ₂ (47), TSP (48)
12. Qualitat acústica	Exposició al soroll (habitants per període de temps)	Exposició al soroll per sobre de 65 dB (49) i per sobre de 75 dB (50)
13. Seguretat vial	Víctimes (morts i ferits) en accidents de trànsit	Nº de morts (51) i ferits (52) en accidentes de trànsit per 10.000 habitants
14. Qualitat dels habitatges	Mitjana de superfície per persona	M ² per persona (53)
15. Accessibilitat dels espais verds	Proximitat als espais verds urbans	Percentatge de gent a 15 minuts de distància (caminant) dels espais Verds urbans (54)
16. Qualitat de la fauna urbana	Número d'espècies d'ocells	Número d'espècies d'ocells (55)

3.6.6. Les Auditories Ambientals Municipals: AAMs

Les AAMs, també conegudes com ecoauditories, tenen els seus antecedents més immediats en les auditories mediambientals de les empreses, amb l'objectiu de conèixer el funcionament intern de les entitats des del punt de vista dels seu impacte mediambiental i proporcionar instruccions per

introduir alternatives ecològicament més correctes i millorar la qualitat ambiental. És per això que es perfilen com un instrument d'anàlisi i diagnòstic de l'activitat municipal des del punt de vista de la seva incidència ambiental, "fixant com objectiu final el disseny per les ciutats d'unes estratègies d'intervenció que permetin fer sostenible l'espai urbà amb relació a les possibilitats del seu medi natural". (Alió, M.A., 1995)

3.6.6.1. Tipus d'auditories

Si ens centrem en l'experiència europea s'ha d'assenyalar la presència de diferències substancials entre països. Existeix, d'altra banda, el cas d'alguns països on les ecoauditories es defineixen principalment per les seves característiques polítiques, que es centren en la recerca de mecanismes per millorar la participació ciutadana en el disseny de propostes.

Altres països destaquen per auditories més tècniques, en la que prevalen les qüestions empíriques i analítiques. Aquest últim tipus d'auditories, molt utilitzades al Regne Unit, es poden catalogar de tres maneres:

- Els informes mediambientals de la situació existent, i que també solen incloure algunes referències sobre les alternatives possibles.
- Les ecoauditories denominades internes, que tracten només de les pràctiques de la gestió municipal o de les corporacions administratives corresponents.
- La ecoauditoria pròpiament dita, que compren la primera i la segona modalitat.

3.6.6.2. Fases de les auditories

Les AAMs consten de les següents fases (Franco, N., 1995):

1. Preparació de l'auditoria.
 - Definició d'objectius.
 - Organització i assignació de personal.
 - Assignació de recursos i elaboració del "check-list".
2. Recollida i tractament de dades sobre tots aquells paràmetres, activitats i altres aspectes que incideixin en la qualitat ambiental i funcionalitat del municipi.
3. Elaboració d'una diagnosi ambiental provisional.
4. Elaboració d'un Pla d'Optimització Ambiental provisional.
5. Elaboració d'un Pla d'Optimització Ambiental definitiu i el document de síntesis.
6. Pla de Seguiment de la AAM.

3.6.7. El concepte de sostenibilitat a Espanya

Les ciutats espanyoles comparteixen en l'actualitat molts dels problemes de les seves homologues europees amb les singularitats pròpies del país: a) la dura herència rebuda d'un ampli període de fort creixement sense llibertats polítiques i la recent instauració d'una Constitució Democràtica (1978) amb un notable caràcter descentralitzador; b) el relatiu endarreriment i desequilibri amb que s'han produït els processos d'industrialització i terciarització del país i les seves ciutats, coexistent amb un desenvolupament turístic molt potent en el litoral.

Aquestes singularitats incideixen alhora en un perfil propi de la realitat territorial i urbana espanyola: disponibilitat d'una gran reserva territorial que inclou un percentatge significatiu de diversitat biològica, així com un sistema de ciutats de tipus mediterrani força jerarquitzat i seguint una sèrie d'eixos territorials discontinus.

Existeix un cert endarreriment en la consideració de la problemàtica ambiental, local i global, erròniament desplaçada per la necessitat d'afrontar els greus problemes heretats de les grans migracions camp-ciutat dels anys 60-70, i les conseqüències de les successives crisis posteriors de 1975-84 i la més recent al començament de la dècada dels 90.

Per que existeixi un equilibri en la ordenació del territori, es necessita que s'hagin identificat els veritables problemes, que poden presentar-se a escales bastant diferents. A escala local, moltes qüestions poden identificar-se clarament; això no vol dir que siguin simples, degut a que existeixen interessos oposats en joc, entre actors diferents. La implicació ambiental no sempre es fàcil de compatibilitzar amb la ambició urbana, industrial o turística.

Es fa cada vegada més evident la necessitat fer correspondre l'ordenació ambiental amb una ordenació territorial que hi sigui coherent. Altrament, els objectius de sostenibilitat en el desenvolupament socioeconòmic quedaran a mig camí, fent del discurs ambiental un mer exercici teòric, esquitxat, en tot cas, amb actuacions, que per molt nombroses i voluntaristes (ben intencionades) que siguin, sempre resultaran difícils de coordinar sense el referent físic.

3.6.7.1. Problemes ambientals

Els problemes ambientals més destacables a Espanya són:

- Catàstrofes naturals i antròpiques, principalment inundacions i incendis.
- Processos continuats d'erosió i desertització.
- Problemes relacionats amb l'ineficient utilització dels recursos hidrològics.
- La progressiva contaminació de les aigües subterrànies, superficials i marítimes.

- L'alt grau de degradació assolit en les costes espanyoles, especialment el litoral mediterrani i les illes.
- La progressiva contaminació del sòl per la seva explotació agrícola intensa i els abocaments de residus sòlids urbans o industrials.
- Increment de la contaminació del aire en les principals àrees metropolitanes.

3.6.7.2. Criteris d'avaluació

La primera de les dificultats a resoldre, ha consistit en l'establiment de criteris d'avaluació en relació al concepte de sostenibilitat en el medi urbà i local, a l'hora d'analitzar i valorar els plantejaments formulats per les diferents ciutats.

S'han establert tres referències inicials de caràcter general per suplir les mancances actuals:

- Existència d'instruments d'intervenció coherents.
- Amplitud i caràcter integrat de la gestió local.
- Consideració del esforç institucional i local desenvolupat.

Els camps i valor temàtics constitueixen un nivell de consideració més concret i d'interès, sempre que això no generi una percepció segmentada del cas analitzat, incompatible amb la visió integrada que requereix el caràcter de l'avaluació a realitzar i que passa per la concreció dels plans d'ordenació territorial i urbanística. Es tracta d'identificar uns valors de referència concrets sobre la sostenibilitat de les polítiques urbanes amb l'objectiu de facilitar un contrast coherent en relació a les pràctiques a analitzar.

S'han agrupat quatre camps desenvolupats (veure taula 1): la qualitat mediambiental, l'estructura espacial, la cohesió i la qualitat de vida social i l'economia local.

Pràctiques urbanes

Pràctiques urbanes i sostenibilitat a Espanya. Camps i valors temàtics d'avaluació

1. Qualitat mediambiental

- Programes locals relacionats amb els problemes ambientals globals.
- Preservació de la biodiversitat i dels ecosistemes locals, sense desbordar les pròpies capacitats de càrrega.
- Prevenció i actuació contra els riscos ambientals
- Minimització en el consum de recursos i generació de residus: qualitat dels serveis ambientals i mesures en sectors clau.

2.Estructura espacial

- Adaptació de l'estructura urbanística a les condicions espacials i ambientals locals.
- Racionalitat en la resolució espacial de les necessitats socials en relació al nou creixement i la rehabilitació del patrimoni edificat.
- Ordenació dels bens i serveis urbans i del propi espai de la ciutat de forma que s'afavoreixin els desplaçaments a peu i en transport públic.
- Foment de la riquesa, diversitat i complexitat del teixit urbà.
- Adaptació del espai urbà i de l'edificació als requeriments ambientals i de qualitat de vida en la ciutat.

3.Cohesió social i qualitat de vida

- Vertebració social i cobertura de les necessitats socials bàsiques.
- Qualitat de vida i disponibilitat d'un entorn sociocultural ric, divers i complex.
- Accés a informació, formació i participació en la política local i global.

4.Economia local

- Escala, equilibri, viabilitat, estabilitat i nivell raonable d'interrelació amb el desenvolupament local.
- Iniciatives de minimització d'impactes ambientals en els sectors-instal·lacions de l'economia local
- Foment de l'economia ecològica en relació a l'adequació ambiental del seu cicle complet, i a la seva pròpia inserció en l'entorn local.
- La sostenibilitat de les hisendes públiques.

Font: Hàbitat II

3.7. EL PROCÉS D'OCUPACIÓ DE SÒL A L'AMB

A les Fig. 1 a 4, podem veure d'una ullada, el procés de creixement en la ocupació del sòl, en relació a les xarxes de carreteres i del ferrocarril, a l'àmbit metropolità de Barcelona, en els gairebé 150 anys que ens separen de l'aparició de les primeres línies ferroviàries i de l'inici de la urbanització de l'Eixample Cerdà sobre el Pla de Barcelona, arran l'enderrocament de les muralles de la Ciutat Vella, tot plegat en el context socio-econòmic paral·lel –i estretament interrelacionat– que ha suposat el procés d'industrialització del país.

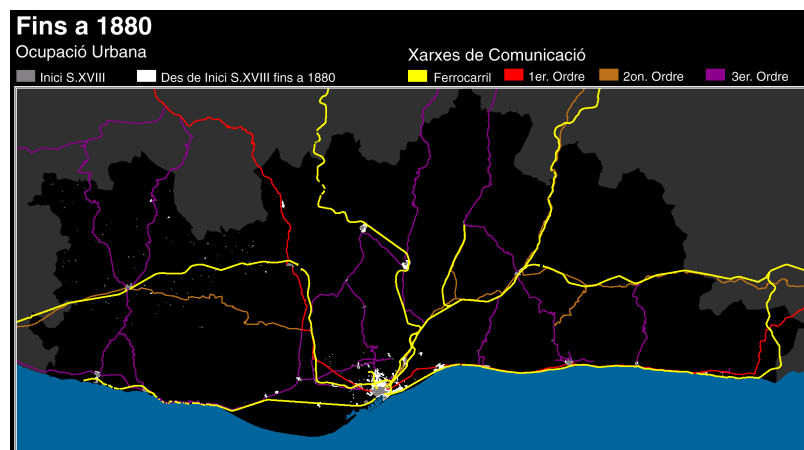


Fig. 1

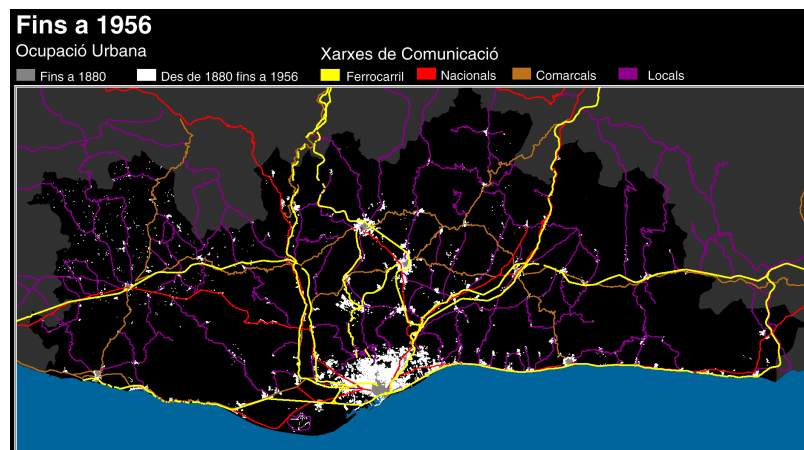


Fig. 2

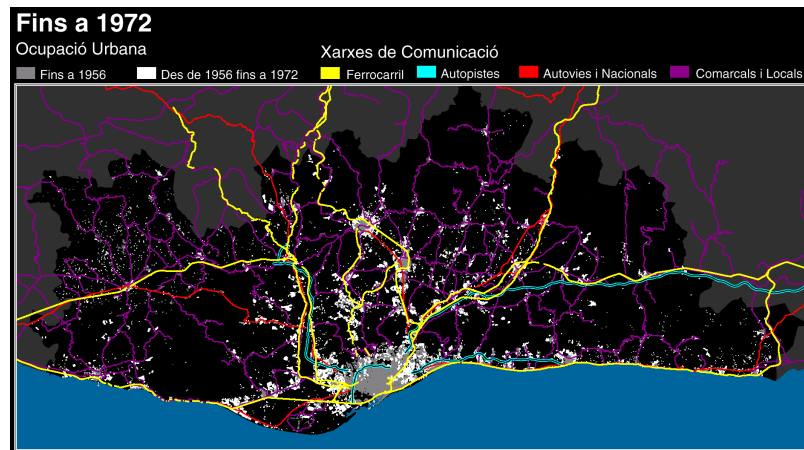


Fig. 3

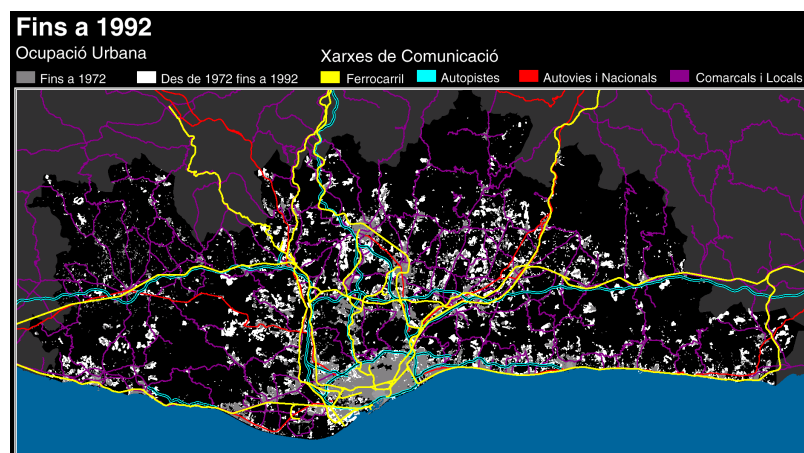


Fig. 4

A la Fig. 5 apareix el diagrama que ens quantifica aquest procés indicant les taxes d'ocupació per intervals de temps. És la crònica condensada dels fenòmens que ens porten a la situació present caracteritzada per una articulació metropolitana –interacció amb Barcelona, però també creixents interaccions creuades entre les diferents polaritats- d'aquest ampli espai i per consums de territori en tendència exponencial i en baixes densitats en els nous assentaments; això, mentre la conurbació central pateix una densificació nomès inflexionada ben recentment, al voltants de l'any 1980.

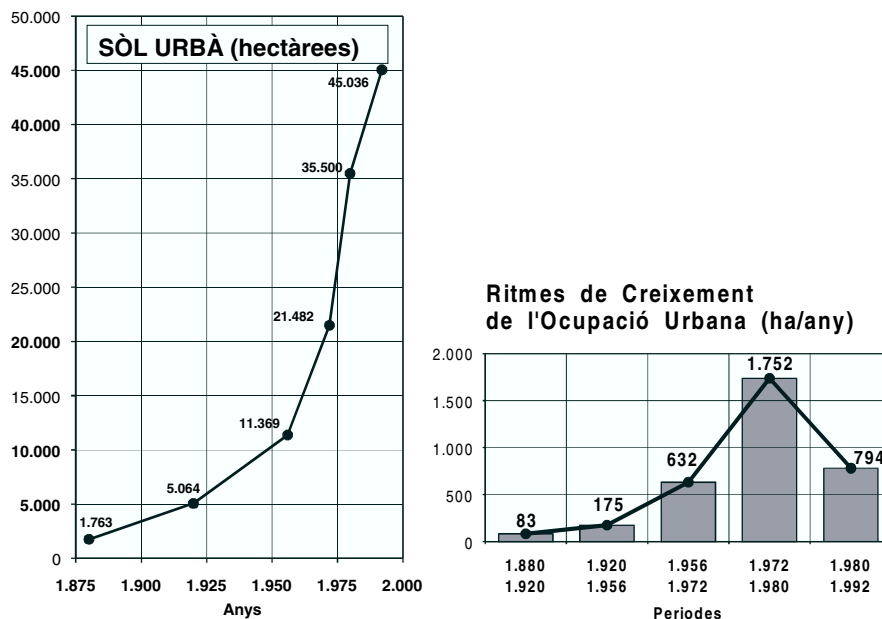


Fig. 5

El model d'urbanització dispersa arriba després d'etapes determinades que marquen la trajectòria: a) des del començament, industrialització i línies ferroviàries, al llarg de les quals es concentren els nuclis urbans més dinàmics; b) vers 1955, generalització del vehicle utilitari i consegüent consolidació d'una xarxa viària secundària "arrivant a tot arreu"; la carretera substitueix la via del tren com a eix de desenvolupament urbanístic i capilaritza l'accessibilitat al territori; c) vers 1970, inici de la construcció de les primeres autopistes i ampliació d'escala -quantitativa i en distància al centre- del fenomen; d) 1980, exercici de les competències autonòmiques en urbanisme que a través d'instruments com l'Institut Català del Sòl, fa possible inflexionar, per primera vegada, la tendència a la dispersió i descongestionar la conurbació central sobre l'àmbit metropolità.

Amb certs desfassaments en el temps i potser amb intensitats i matisos diferents, aquest procés territorial presenta característiques prou similars amb allò que s'ha esdevingut en altres capitals metropolitanes de l'Europa occidental que, en definitiva, han passat també per un cicle socio-econòmic semblant.

3.8. TOT VERIFICANT LA SOSTENIBILITAT DEL PTMB

De fet, el plantejament de fons d'aquesta tesi és anar més enllà del propi concepte de "sostenibilitat", per veure maneres de "mesurar" la sostenibilitat. O, més concretament, maneres de determinar "en quant" millorarem la sostenibilitat d'un territori –que en capítols anteriors hem anomenat estructural o prèvia a qualsevol altra més específica o sectorial- amb l'aplicació d'un determinat instrument d'ordenació del territori o pla territorial. És fa concretament en relació al projecte de Pla Territorial Metropolità de Barcelona (PTMB). La seva aprovació, d'acord amb les disposicions que el regulen, comportarà la revisió del Pla General Metropolità de Barcelona i dels altres Plans Generals Municipals d'Ordenació Urbanística dins del seu àmbit d'estudi, així com dels plans o actuacions dels particulars i dels organismes sectorials que hi tinguin incidència, de forma que tots ells s'hauran d'adaptar a les seves determinacions.

A continuació es descriuen, molt resumidament les característiques de la recerca. Deixant ja de banda la formulació efectuada de l'"estat de la qüestió" i la presentació d'un marc ampli d'instruments novedosos que poden ser objecte d'ulteriors desenvolupaments, cal puntualitzar, en tot cas, que aquesta tesi es concentra en **un vector concret**, fixant-se, dintre del concepte global de sostenibilitat, en **l'ús eficient de l'energia**.

Concretament, aquesta eficiència es pretén mesurar per l'estalvi diferencial que pot estimar-se que es produirà a l'AMB *ceteris paribus*, pel fet d'aplicar una planificació territorial determinada, el PTMB –"escenari del Pla"-, per comparació amb un "escenari inercial", corresponent a la situació resultant de la simple extrapolació de les tendències actualment en curs dels paràmetres "territorials" que intervenen.

El manteniment de la resta de condicions –condicions de contorn energètic- vol dir essencialment que la prospectiva sobre l'evolució dels paràmetres "energètics" –no controlables des de l'ordenació territorial-, ja sigui a causa de nous desenvolupaments tecnològics o per majors exigències reglamentàries, o derivades de convencions internacionals, afecta de la mateixa manera ambdòs escenaris, en les diferents etapes d'anàlisi que se succeeixen fins l'any horitzò 2.026.

L'àmbit d'estudi escollit té una extensió de 3.200 km² i inclou 164 municipis, agrupats en set comarques: Barcelonès, Maresme, Vallès Oriental, Vallès Occidental, Baix Llobregat, Alt Penedès i Garraf. La població actual (1996) és d'uns 4.200.000 habitants, preveient-se un creixement màxim fins als 4.700.000 habitants, per l'any horitzò 2.026. Amb un 10 % de la superfície de Catalunya aplega, així, un 70 % de la seva població, contribuint en un percentatge semblant a la formació del PIB català.

El PTMB proposa dos objectius territorials matrius: assolir en aquest àmbit un **transport públic eficient** (mobilitat eficient, basada en la infraestructura fixa o ferrocarril) i la **compactació de la urbanització**. S'influeixen mútuament i d'ells, de fet, s'en deriven nombrosos subobjectius que passarem per alt en aquesta presentació sintètica. Tothom pot estar d'acord, de forma intuïtiva, que la concreció d'aquests assoliments comporta un diferencial de sostenibilitat en relació al que anomenem "escenari inercial". El que persegueix justament l'estudi és determinar un model matemàtic prou ajustat, que permeti calcular aquest diferencial pel que fa al consum d'energia.

A la Fig. 6 apareix en forma d'esquema, la nova classificació del sòl que proposa el PTMB, entre **espai obert** (un 80% de l'àmbit, que l'any horitzò es previst que aplegui un 8% de la població) i les **illes metropolitanas** (21 unitats, amb un 20% de l'àmbit aplegant un 92% de la població), en valors aproximats referits a l'any horitzò de 2.026.

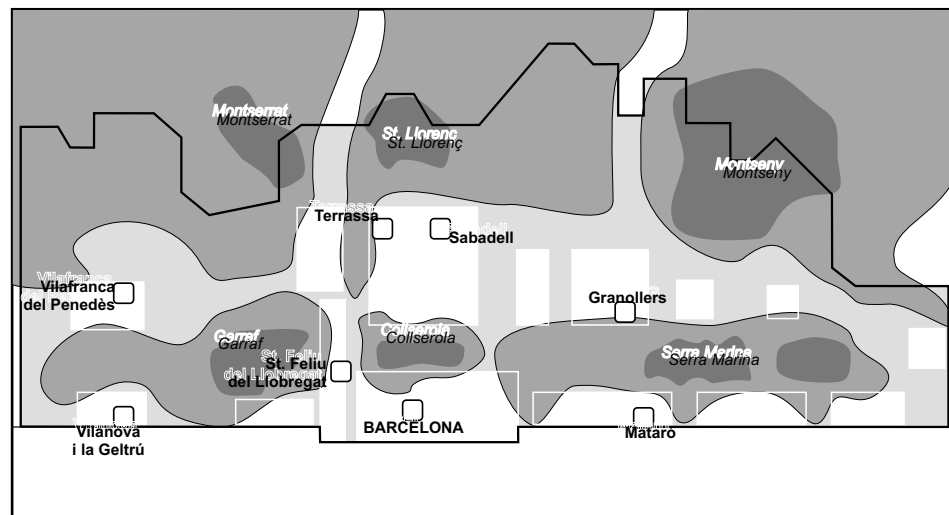


Fig. 6

La densitat de població tot i no ser l'únic, s'escau considerar-lo tanmateix com el paràmetre "territorial" essencial per calibrar els nivells d'urbanització dins uns marges: 200 habitants/hectàrea pot prendre's com límit superior, pel damunt del qual no és possible eludir els problemes de la congestió urbana, ni resoldre les dotacions en equipaments i espais lliures que configurin uns estàndards adients de qualitat de vida; entre 80 i 60 habitants/hectàrea, trobem el llindar per sota del qual no es pot parlar ja de "ciutat" (més aviat d'espai "rururbà" o totalment rural) i es donen ja condicions d'urbanització dispersa: consum innecessàriament extensiu de territori –amb l'afectació derivada de les seves condicions naturals-, segregació excessiva d'usos, proliferació capilar de xarxes de tota mena, encariment exponencial d'accessos, dotacions i abastament de serveis, dependència exagerada del vehicle privat, impossibilitat d'un transport públic eficient... Més enllà dels dos extrems, partim de la base, doncs, que es donen condicions no assumibles des del punt de vista de l'interès social general, que esdevenen, per altra banda, ambientalment insostenibles.

A l'àrea metropolitana de Barcelona, el sector del transport, amb el 37%, presenta la quota més elevada del consum energètic total, mentre que la indústria representa un 35%, i l'agregat d'habitatge, comerç i serveis el 28% restant.

Existeix un marge important d'actuació sobre el sector del transport. Una xifra comparada ens ho fa prou evident: els viatges en tren per a desplaçaments interurbans: són a Alemanya el 26%, mentre a Catalunya representen encara nomès el 7%. Això, pel que fa al moviment de persones. Les xifres referides a mercaderies són encara més eloqüents.

Per tot el que antecedeix s'escau formular les següents **premises**:

- a) qualsevol actuació sobre el sector del transport té uns efectes de primer ordre sobre el consum energètic global.
- b) el transport públic de persones a través d'infraestructura fixa (ferrocarril), és substancialment més eficient –funcionalment, econòmicament i energèticament- que el transport en vehicle privat a través de la xarxa viària (sempre que es donin unes condicions mínimes de compacitat en la urbanització).
- c) el transport de mercaderies a través d'infraestructura fixa (ferrocarril), és substancialment més eficient que el transport per carretera.

L'eficiència a que es refereixen els punts b) i c) no és nomès energètica, sino que també afecta a altres vectors de la sostenibilitat: qualitat atmosfèrica, econòmica (pel que fa a les inversions en xarxes de comunicacions i la seva explotació),...

**CAPÍTOL 4: DISSENY D'UN MODEL
MATEMÀTIC LINEAL D'OPTIMITZACIÓ
DE RECURSOS ENERGÈTICS SOTA
RESTRICCIONS DE SOSTENIBILITAT**

4.1 INTRODUCCIÓ A LA INVESTIGACIÓ OPERATIVA

La investigació operativa neix de la necessitat, cada cop més acusada, d'assignació de recursos en àmbits de creixent complexitat i especialització. L'enfocament de la investigació operativa és el mateix del mètode científic. En particular, el procés comença per una observació acurada i la formulació del problema; segueix amb la construcció d'un model matemàtic que intenta abstraure l'essència del problema real.

En general, la investigació operativa s'ocupa de la presa de decisions òptima i del modelat de sistemes determinístics i probabilístics que s'originen en la vida real. Aquestes aplicacions, que succeeixen de manera freqüent en l'enginyeria, es caracteritzen, en gran mesura, per la necessitat d'assignar recursos escassos. En aquestes situacions, es pot obtenir un coneixement en profunditat del problema a partir de l'anàlisi científic que proporciona la investigació operativa.

En resum, la contribució més recent de l'enfocament de la investigació operativa prové principalment de (Hillier i Lieberman, 1993):

1. L'estructuració d'una situació de la vida real com un model matemàtic, amb el que s'aconsegueix una abstracció dels elements essencials per que pugui buscar-se una solució que concordi amb els objectius de qui pren les decisions. Això implica tenir en compte el problema dins del context del sistema complet.
2. L'anàlisi de l'estructura d'aquestes solucions i el desenvolupament de procediments sistemàtics per obtenir-les.
3. El desenvolupament d'una solució, incloent la teoria matemàtica, si es necessari, que porti al valor òptim de la mesura del que s'espera del sistema (o potser que compari els cursos d'acció alternatius avaluant aquesta mesura per a cadascun).

4.2. CONSTRUCCIÓ D'UN MODEL MATEMÀTIC

Si es poden prendre n decisions quantificables, relacionades unes amb les altres, es representen com **variables de decisió** (X_1, X_2, \dots, X_n) per a les que s'han de determinar els valors respectius.

La mesura d'efectivitat (per exemple, el guany) s'expressa llavors com una funció matemàtica d'aquestes variables de decisió, denominada **funció objectiu**. També s'expressen matemàticament totes les limitacions que es puguin imposar sobre els valor de les variables de decisió, quasi sempre en forma d'equacions o desigualtats. Aquestes expressions matemàtiques de les limitacions, amb freqüència reben el nom de **restriccions**. Les constants (els coeficients al costat dret i esquerra de les equacions) en les restriccions i en la funció objectiu s'anomenen **paràmetres** del model.

El model matemàtic pot expressar-se llavors com el problema d'elecció dels valors de les variables de decisió de manera que es maximitzi (el guany) o es minimitzi (el cost) de la funció objectiu, subjecte a restriccions donades.

Un cop formulat el model matemàtic relatiu al problema en estudi, la següent etapa consisteix en derivar una solució a partir d'aquest model. Un tema comú en investigació operativa és la recerca de la **solució òptima**, es a dir, la millor possible. Com el model necessàriament és una idealització i no una representació del problema real, no pot existir una garantia absoluta de que la solució òptima del model resulti ser la millor solució possible que pugui portar-se a la pràctica per al problema real. D'aquesta manera, en la vida real es molt més freqüent **satisfer** que **optimitzar**, o sigui, buscar una solució que sigui "el suficientment satisfactòria" per al problema que s'aborda.

Una solució òptima per al problema original pot ser molt menys ideal per al problema real. Així, l'anàlisi postòptim constitueix una part molt important de la majoria d'aquests estudis. Anàlisi postòptim implica dur a terme una **anàlisi de sensibilitat** per determinar quins paràmetres del model són els més crítics per determinar la solució.

En alguns casos, certs paràmetres del model representen polítiques de decisió (com l'assignació de recursos). Si és així, amb freqüència existeix alguna flexibilitat sobre els valors assignats a aquests paràmetres. Tal vegada alguns d'aquests es poden augmentar si altres es disminueixen. L'anàlisi postòptim inclou la investigació d'aquests intercanvis.

4.3. PROGRAMACIÓ LINEAL

La programació lineal utilitza un model matemàtic per descriure el problema. L'adjectiu lineal significa que totes les funcions matemàtiques del model han de ser funcions lineals. En aquest cas, la paraula programació es sinònim de planificació. Així, la programació lineal estudia la forma de planificar les activitats de la millor manera per obtenir un resultat òptim, això és, el resultat que millor assoleixi la fita especificada (segons el model matemàtic) entre totes les alternatives de solució.

“La solució que aporta la P.L. es un conjunt de valors de les variables independents, corresponent a l'òptim de la funció objectiu F.O. i complint amb totes les restriccions.” (Arbones,E.A.,1989)

4.3.1. Formulació d'un problema de programació lineal

De forma general, un problema de programació lineal (P.L.), consisteix en trobar els valors de les variables de decisió X_1, X_2, \dots, X_n que maximitzen la F.O., que estableix una determinada relació lineal entre aquestes variables.

Podem escriure:

$$\text{Maximitzar } Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$$

Subjecta a les **restriccions funcionals**

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

i subjecta a la **condició de no negativitat**

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0$$

Aquesta és la denominada forma estàndar de la programació lineal. Per l'activitat j ($j=1,2,\dots,n$), c_j és l'increment que resultaria en el valor de z per cada unitat d'increment en el valor de X_j (el nivell de l'activitat j). Per al recurs i ($i=1,2,\dots,m$), b_i és la quantitat disponible per assignar a les activitats. Per últim, a_{ij} és la quantitat del recurs i que consumeix cada unitat de l'activitat j (per $i=1,2,\dots,m$ i $j=1,2,\dots,n$). Aquest conjunt de dades (a_{ij} , b_i i c_j) constitueixen els **paràmetres** (constants) del model de programació lineal.

En determinats casos, el model anterior no s'ajusta a la forma natural d'alguns problemes de programació lineal. Les altres formes legítimes són les següents:

4.3.2. Hipòtesis de la programació lineal

a) Proporcionalitat

La proporcionalitat és una hipòtesi sobre les activitats individuals que es considera independent de les altres (mentre que la següent suposició sobre additivitat es refereix a l'efecte de dur a terme activitats en forma conjunta).

Considerem el cas de que només una de les n activitats es realitza. Anomenem a aquesta l'activitat k , de forma que $X_j=0$ per a tota $j=1,2,\dots,n$ excepte per $j=k$.

La hipòtesis diu que:

- La mesura global d'efectivitat de Z és igual a $c_k X_k$.
- El consum de cada recurs i és igual a $a_{ik} X_k$, o el que és el mateix, les dues quantitats són directament proporcionals en el nivell on es duu a terme cada activitat k ($k=1,2,\dots,n$).

b) Additivitat

La condició de proporcionalitat no és suficient per garantir que la funció objectiu i les restriccions siguin lineals. Si existeix interacció entre algunes activitats que poden canviar la mesura total d'efectivitat o el consum total d'algun recurs, poden sorgir termes de producte creuat. Additivitat suposa que no existeixen interaccions d'aquest tipus entre cap de les activitats, de manera que no hi haurà termes de productes creuats en el model.

De manera més específica, la suposició d'additivitat (a l'igual que de proporcionalitat) s'aplica tan a la funció objectiu com a les funcions del costat esquerre de les restriccions. Aquest últim tipus de funció representa la utilització total d'algun recurs. Per ambdós tipus de funcions, la hipòtesis concerneix a la comparació entre el valor total de la funció que s'obté al realitzar conjuntament les activitats en els seus respectius nivells (X_1, X_2, \dots, X_n) i les contribucions individuals al valor de la funció al realitzar cada activitat per separat (establint totes les variables en zero). En programació lineal, aquestes contribucions individuals són: $c_j X_j$ per la funció objectiu i $a_{ij} X_j$ per les restriccions.

Resumint, la hipòtesis d'additivitat diu que, per a cada funció, el seu valor total es pot obtenir sumant les contribucions individuals de les activitats respectives.

c) Divisibilitat

Algunes variables de decisió només tenen significat físic quan adquireixen valors sencers. La solució òptima que s'obté en programació lineal amb molta freqüència no és sencera.

Per això, la hipòtesi de divisibilitat es refereix a que les unitats de cada activitat es puguin dividir en qualsevol nivell fraccional, per tal que permetin valors no sencers de les variables de decisió.

d) Certesa

La hipòtesis de certesa diu que tots els paràmetres del model (els valors a_{ij} , b_i i c_j) són constants conegudes. En els problemes reals, molt poques vegades es satisfà per complet aquesta hipòtesis. Gairebé sempre es formula un model de programació lineal per escollir un curs d'acció futur. Llavors, els paràmetres que s'utilitzen estan basats en una predicció de les condicions futures, el que inevitablement introdueix un cert grau d'incertesa. Per aquesta raó sempre és important realitzar una anàlisi de sensibilitat després de trobar una solució òptima per als valors suposats dels paràmetres.

4.4. APLICACIÓ DE LA PROGRAMACIÓ LINEAL A L'OPTIMITZACIÓ DE RECURSOS ENERGÈTICS

L'ús de la programació lineal en la planificació energètica és freqüent en molts àmbits d'estudi. L'optimització de l'energia n'és l'objectiu últim.

Un dels àmbits d'estudi que més s'ajusta en aquests objectius, és la planificació energètica en un territori determinat. Dins d'aquest àmbit, existeixen diferents maneres d'interpretar aquesta planificació que venen imposades normalment pel període temporal d'anàlisi.

Així, per exemple, la planificació energètica dels últims temps s'ha desenvolupat sota hipòtesis on predominava l'idea de que el progrés econòmic se sustentava sota consums energètics elevats, sense tenir en compte altres factors com l'escassetat d'aquests recursos o l'impacte sobre el medi ambient.

La introducció de les teories sobre el desenvolupament sostenible durant els últims anys, s'ha vist reflectida en els models energètics més recents, amb noves hipòtesis que tenen en compte el factor social, l'econòmic i l'ambiental.

4.4.1. Models energètics amb restriccions de sostenibilitat

Els models energètics que tenen en compte el factors mediambientals estan, en la seva majoria, en una etapa de desenvolupament primerenca. Com hem vist en altres apartats, la conscienciació social internacional ha vingut pressionant en els darrers temps, per tal que les activitats humanes assumeixin en general els patrons de sostenibilitat. Això es tradueix, per exemple, en la voluntat de redreçar la tendència del consum energètic que ha anat en augment de forma exponencial durant el present segle, sobretot als països desenvolupats.

Durant els propers anys s'insistirà en la necessitat de limitar el consum energètic, mitjançant una racionalització que ha de recolzar en mesures que incrementin l'eficiència dels processos i minimitzin l'emissió de contaminants a l'atmosfera.

Per assolir escenaris energèticament sostenibles, alguns investigadors han proposat models matemàtics basats en la investigació operativa.

R.K.Bose del Tata Energy Research Institute de Nova Delhi i G.Anandalingam de la Universitat de Pennsilvània, han dissenyat un model que introdueix paràmetres relacionats amb la planificació energètica sostenible dins d'un àrea urbana.

L'objectiu d'aquest model de programació lineal consisteix en trobar la quantitat òptima de les diferents formes d'energia per diferents usos finals: domèstic, transport, indústria i serveis. El model urbà integrat de Bose i Anandalingam ha estat experimentat a la ciutat de Nova Delhi, mitjançant la creació de dos escenaris per a l'any 2001. En el primer escenari, les possibilitats de millora de l'eficiència energètica i de la reducció d'emissions no s'han tingut en compte. En el segon escenari, en canvi, es preveu una millora de la tecnologia i de l'eficiència en tots els estadis del procés energètic, així com una reducció de la densitat de trànsit.

Els resultats obtinguts mitjançant aquest model estableixen uns estalvis energètics del 10% per al segon escenari durant l'any 2001.

4.4.2. Construcció d'un model energètic adaptat a les necessitats de l'ordenació territorial

Objectiu del model

La planificació de les necessitats energètiques, si es realitza en un procés d'ordenació d'un territori determinat, es basa en els següents paràmetres:

- Tipologia del sistema energètic.
- Període de vigència de la planificació territorial.

Això des d'una perspectiva de sostenibilitat i considerant el factor econòmic com la funció a minimitzar.

En aquest model s'ha d'entendre la sostenibilitat com la fita d'una qualitat de vida que pugui ser mantinguda al llarg de moltes generacions tenint en compte les següents condicions:

- ✓ és socialment desitjable, doncs satisfà les necessitats culturals, materials i espirituals de les persones de forma equitativa.
- ✓ és econòmicament viable, degut a l'autofinançament amb costos que no excedeixen els ingressos.
- ✓ és ecològicament sostenible, degut al manteniment dels ecosistemes a llarg termini.

Tot això sense oblidar que el temps i el diner són dos recursos que les societats desenvolupades no han de malbaratar, sinó gestionar de forma adequada per afrontar les necessitats de les economies emergents i anivellar els desequilibris de riquesa.

Variables de decisió

Las variables de decisió són les que volem optimitzar; en el nostre cas, els recursos energètics. Les variables energètiques que apareixen en el model són de dos tipus:

Variables energètiques renovables [tep_p]

- X₁ ⇔ BIOMASSA (que inclou els biocombustibles, la fracció orgànica dels RSU i el biogas)
- X₂ ⇔ HIDRÀULICA
- X₃ ⇔ EÒLICA
- X₄ ⇔ SOLAR FOTOVOLTAÏCA
- X₅ ⇔ SOLAR TÈRMICA

Variables energètiques no renovables [tep_p]

- X₆ ⇔ CARBÓ
- X₇ ⇔ GAS NATURAL
- X₈ ⇔ DERIVATS DEL PETROLI
- X₉ ⇔ NUCLEAR

Funció Objectiu (F.O.)

Alguns autors, com Bose i Anandalingam utilitzen la funció objectiu amb la missió de minimitzar les desviacions de les variables de manca o excés que apareixen en les restriccions del model. D'aquesta forma s'intenta que les inequacions tendeixin a ser equacions.

$$\text{MIN } Z = P_1A^- + P_2D^- + P_3B^+ + P_4C^+ + P_5A^+$$

on

$$A^- = \sum w_{js}^- d_{js}^- \quad A^+ = \sum w_{js}^+ d_{js}^+ \quad B^+ = \sum w_s^+ d_s^+$$

$$C^+ = \sum w_p^+ d_p^+ \quad D^- = \sum w_k^- d_{jk}^-, \text{ són les desviacions}$$

Aquestes desviacions tenen associats uns pesos que depenen dels seus nivells relatius d'importància.

En el model que es presentarà a continuació, la F.O. és l'expressió matemàtica funció de les variables de decisió amb la que es buscarà l'òptima solució amb els mínims costos. Els coeficients de la F.O. depenen de l'estat de l'art tecnològic. Un altre novetat respecte al model de Bose i Anandalingam és l'aparició d'un coeficient de variació temporal dels costos que permet obtenir el valor de la funció objectiu en el moment desitjat i poder analitzar tendències.

L'equació de la F.O. serà del tipus:

$$\text{MIN } Z_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \cdot X_i$$

$$\forall i = 1, \dots, 9 \quad \forall j = 1, \dots, 4 \quad \forall k = 1, \dots, t$$

on

i = subíndex del tipus de variable energètica

j = subíndex del tipus de cost

k = subíndex temporal

Z_k : valor total de la despesa energètica l'any k [euros]

C_{ij} : cost total d'una unitat energètica primària
[euros/tep_p]

- en plantes energètiques [euros/tep_p]

C_{i1} : costos d'instal·lació (enginyeria i construcció)

C_{i2} : costos d'operació i manteniment fixos

C_{i3} : costos d'operació i manteniment variables més cost
de combustibles

C_{i4} : costos de transport i distribució

- sense transformació energètica [euros/tep_p]

C_{i1} : cost d'extracció

C_{i2} : cost de manipulació

C_{i3} : cost de transport i distribució

NOTA: Com els costos en les plantes energètiques venen donats per unitat energètica de sortida i les variables de decisió són referides a energia primària, les variables X_1, X_6, X_7 i X_8 es veuran afectades pel rendiment energètic de la instal·lació.

A_{ik} : coeficient de variació temporal del cost de la variable energètica i

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

Restriccions funcionals

Les restriccions són les equacions i inequacions que expressen algun tipus de limitació sobre els valors de les variables de decisió.

Les restriccions funcionals que apareixen en aquest model es denominen restriccions de sostenibilitat perquè els paràmetres que formen part de les inequacions tenen objectius relacionats amb l'ús energètic de forma compatible amb el medi ambient.

Els objectius de sostenibilitat que apareixen en les restriccions del model de Bose i Anandalingam tenen en compte els processos inherents a la planificació territorial (Bose i Anandalingam, 1996):

a) Obtenir l'energia mínima necessària per satisfer la demanda dels diferents sectors.

$$\sum a_{ijk} \cdot X_{ijk} \geq u_j^s$$

b) Utilitzar al màxim rendiment les centrals energètiques.

$$\sum a_{ijk} \cdot X_{ijk} \leq b_{ijk}$$

c) Minimitzar la despesa energètica dins d'uns límits pressupostaris.

$$\sum c_{ijk} \cdot X_{ijk} \leq e^s$$

d) Reduir les emissions de contaminants l'any 2020 a nivells de 1990.

$$\sum \sum q_{ijk}^{ps} \cdot t^s \cdot x_{ijk}^s \leq v^p$$

e) Adaptar la demanda energètica a les disponibilitats en l'àmbit.

$$\sum \sum t^s \cdot x_{ijk}^s \leq r_i$$

A les restriccions del model dissenyat en aquest treball es tenen en compte els mateixos objectius exposats en els punts a), b) i d). En canvi, les noves restriccions no tenen en compte els límits pressupostaris ni adapten la demanda a l'oferta energètica del territori en estudi. A més, els termes independents de les inequacions s'obtenen a partir d'una sèrie de paràmetres de freqüent utilització en l'ordenació territorial.

Un altre aspecte novedós que apareix a la F.O., és la introducció d'un coeficient temporal que modifica els paràmetres del model en estudi. D'aquesta forma, es poden analitzar els valors de les variables de decisió en diferents instants del període d'anàlisi.

Podem classificar aquests paràmetres segons el lloc que ocupen en la restricció:

- els paràmetres que acompanyen a les variables de decisió (a la dreta de la restricció) són generalment de caràcter energètic i tenen en compte els següents apartats:

- Emissions**, mitjançant l'estudi del CO₂, SO₂ i NO_x com a contaminants principals.
- Eficiència** dels processos d'extracció, processat, transport, conversió i distribució d'energia fins l'usuari final.
- Usos energètics** mitjançant la progressiva utilització de les energies renovables autòctones dins de l'àmbit d'estudi.

Dels apartats anteriors, la restricció d'emissions i els usos energètics venen regulats per les polítiques energètiques mentre que l'eficiència depèn de l'estat de l'art tecnològic. A l'últim apartat, l'aspecte territorial té el paper més destacat.

- els paràmetres que apareixen en el terme independent (a l'esquerra de la restricció) recullen tots els coeficients relacionats amb la planificació territorial acompanyats per coeficients energètics exclusius de l'àmbit de l'estudi. En resum, quantifiquen les necessitats energètiques.

Ara ja estem en condicions d'analitzar aquestes restriccions.

RESTRICCIÓ 1 ⇨ Emissions

✓ Equació tipus:

$$\sum_{i=6}^m C_{ij} \cdot \left(1 - \sum_{k=1}^t A_{ik}\right) \cdot X_i \leq b_{0j} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k\right)$$

$\forall i=6, \dots, 8$ $\forall j=1, \dots, 3$ $\forall k=1, \dots, t$

on

C_{ij} : emissions emeses per unitat energètica primària

C_{i1} : emissions de CO₂ [ton/tep_p]

C_{i2} : emissions de SO₂ [kg/tep_p]

C_{i3} : emissions de NO_x [kg/tep_p]

A_{ik} : variació temporal de C_{ij}

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

b_{0j} : quantitat d'emissions durant l'any inicial

b_{01} : emissions de CO₂ [ton]

b_{02} : emissions de SO₂ [kg]

b_{03} : emissions de NO_x [kg]

B_k : variació de b_{0j} en el temps

RESTRICCIÓ 2 ⇨ Eficiència

2.1. Eficiència energètica des de l'extracció fins al consum final en la producció d'energia elèctrica mitjançant energies fòssils.

✓ Equació tipus:

$$\sum_{i=6}^m \left[\left(\prod_{r=1}^s C_{ir} \right) \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \right] \cdot a_i \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(B_0 - \sum_{K=1}^t B_k \right)$$

$\forall i=6, \dots, 9$ $\forall j=1, \dots, 3$ $\forall k=1, \dots, t$ $\forall r=1, \dots, 5$

2.2. Eficiència energètica des de la producció d'energia elèctrica fins el consum final mitjançant energies renovables.

✓ Equació tipus:

$$\sum_{i=6}^m \left[\left(\prod_{r=1}^s C_{ir} \right) \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik} \right) \right] \cdot a_i \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(1 - B_0 + \sum_{K=1}^t B_k \right)$$

$\forall i=1, \dots, 5$ $\forall j=1, \dots, 3$ $\forall k=1, \dots, t$ $\forall r=1, \dots, 5$

on

C_{ir} : eficiència dels processos energètics [tep_r/tep_p]

C_{i1} : procés de extracció [-]

C_{i2} : procés de manipulació [-]

C_{i3} : procés de transport [-]

C_{i4} : procés de conversió [-]

C_{i5} : procés de distribució [-]

A_{ik} : variació temporal de C_{ir}

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

B_0 : utilització de las energies fòssils per producció elèctrica en %

B_k : variació temporal de B_0

b_{jk} : consum elèctric per sector d'activitat

a_i : coeficient d'ús elèctric

b_{1k} : **consum del sector transport** [tep_i]

$$b_{1k} = \left(d_{sem\ 0} + \sum_{k=1}^t d_{sem\ k} \right) \cdot s \cdot ef \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot r$$

$\forall k = 1, \dots, t$

on

$d_{sem\ 0}$: n^o de desplaçaments setmanals l'any inicial

$d_{sem\ k}$: variació temporal del número de desplaçaments

s : setmanes

ef : eficiència [tep/km]

r : recorregut [km/desp]

B_k : variació temporal de l'eficiència

b_{2k} : consum del sector serveis i habitatge [tep_f]

$$b_{2k} = \left[\frac{h_0 \cdot e_c}{NMO_0 \cdot PRI_0} + \sum_{k=1}^t \frac{[a_k \cdot e_c + (1 - a_k) \cdot e_b] \cdot h_k}{\left(NMO_0 + \sum_{k=1}^t NMO_k \right) \cdot \left(PRI_0 + \sum_{k=1}^t PRI_k \right)} \right] \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right)$$

$\forall k = 1, \dots, t$

on

h_0 : nº de habitants l'any inicial

h_k : variació temporal de h_0

e_c : energia elèctrica utilitzada en habitatge convencional
[tep_f/viv]

e_b : energia elèctrica utilitzada en habitatge bioclimàtic
[tep_f/viv]

a_k : % de habitatges convencionals l'any k

B_k : variació temporal de b_{2k}

NMO_0 : nº mig de ocupació l'any inicial

NMO_k : variació temporal de NMO_0

PRI_0 : ús d'habitatge com primera residència l'any inicial

PRI_k : variació temporal de PRI_0

b_{3k} : consum del sector industrial [tep_f]

$$b_{3k} = e_{in} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot \left(i_0 + \sum_{k=1}^t i_k \right)$$

$\forall k = 1, \dots, t$

on

e_{in} = energia elèctrica utilitzada en establiments
industrials [tep_f/est]

i_0 = número d'establiments industrials l'any inicial

i_k = variació d'establiments industrials l'any k

B_k = variació temporal de b_{3k}

RESTRICCIÓ 3 ⇨ Ús de l'energia

3.1. Utilització de les energies renovables

✓ Equació tipus:

$$\sum_{i=1}^m C_i \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik}\right) \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(1 - B_0 + \sum_{k=1}^t B_k\right)$$

$$\forall i=1, \dots, 5 \quad \forall j=1, \dots, 4 \quad \forall k=1, \dots, t$$

3.2. Utilització de les energies fòssils

✓ Equació tipus:

$$\sum_{i=1}^m C_i \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t A_{ik}\right) \cdot X_i \geq \sum_{j=1}^n b_{jk} \cdot \left(B_0 - \sum_{k=1}^t B_k\right)$$

$$\forall i=6, \dots, 9 \quad \forall j=1, \dots, 4 \quad \forall k=1, \dots, t$$

on

C_i : coeficient d'ús energètic

A_{ik} : variació temporal de C_i

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

B_0 : utilització de les energies fòssils en %

B_k : variació temporal de B_0

b_{jk} : consum energètic per sector d'activitat

b_{1k} : **consum del sector transport** [tep_p]

$$b_{1k} = \left(d_{sem\ 0} + \sum_{k=1}^t d_{sem\ k} \right) \cdot s \cdot ef \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot r$$

$$\forall k = 1, \dots, t$$

on

$d_{sem\ 0}$: nº de desplaçaments setmanals l'any inicial

$d_{sem\ k}$: variació temporal del número de desplaçaments

s : setmanes

ef : eficiència [tep/km]

r : recorregut [km/desp]

B_k : variació temporal de la eficiència

b_{2k} : **consum del sector serveis i habitatge** [tep_p]

$$b_{2k} = \left[\frac{h_0 \cdot e_c}{NMO\ 0 \cdot PRI\ 0} + \sum_{k=1}^t \frac{[a_k \cdot e_c + (1 - a_k) \cdot e_b] \cdot h_k}{\left(NMO\ 0 + \sum_{k=1}^t NMO\ k \right) \cdot \left(PRI\ 0 + \sum_{k=1}^t PRI\ k \right)} \right] \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right)$$

$$\forall k = 1, \dots, t$$

h_0 : nº de habitants l'any inicial
 h_k : variació temporal de h_0
 e_c : energia total utilitzada en habitatge convencional
 [tep_p/viv]
 e_b : energia total utilitzada en habitatge bioclimàtic
 [tep_p/viv]
 a_k : % de habitatges convencionals l'any k
 B_k : variació temporal de b_{2k}
 NMO_0 : nº mig de ocupació l'any inicial
 NMO_k : variació temporal de NMO_0
 PRI_0 : ús d'habitatge com primera residència l'any inicial
 PRI_k : variació temporal de PRI_0

b_{3k} : **consum del sector industrial** [tep_p]

$$b_{3k} = e_{in} \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot \left(i_0 + \sum_{k=1}^t i_k \right)$$

$\forall k = 1, \dots, t$

on

e_{in} = energia total utilitzada en establiments
 industrials [tep_p/est]
 i_0 = número de establiments industrials l'any inicial
 i_k = variació de establiments industrials l'any k
 B_k = variació temporal de b_{3k}

b_{4k} : **usos no energètics** [tep_p]

RESTRICCIÓ 4 ⇒ Ús energètic no elèctric en el sector Transport

✓ Equació tipus:

$$C_{10} \cdot \left(\sum_{k=1}^t A_k \right) \cdot X_1 + C_{80} \cdot \left(1 - \sum_{k=1}^t A_k \right) \cdot X_8 \geq b_{1k}$$

$\forall k = 1, \dots, t$

on

C_{10} : ús dels biocombustibles en el transport
 A_k : variació temporal de C_{10}

C_{80} : ús dels derivats del petroli en el transport

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

b_{1k} : **consum energètic no elèctric en el sector transport** [tep_p]

$$b_{1k} = \left(d_{sem\ 0} + \sum_{k=1}^t d_{sem\ k} \right) \cdot s \cdot ef \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^t B_k \right) \cdot r$$

$\forall k = 1, \dots, t$

on

$d_{sem\ 0}$: nº de desplaçaments setmanals l'any inicial

$d_{sem\ k}$: variació temporal del número de desplaçaments

s: setmanes

ef: eficiència [tep/km]

r: recorregut [km/desp]

B_k : variació temporal de l'eficiència

RESTRICCIÓ 5 ⇨ Capacitat d'introducció de les energies renovables

És conseqüència de les limitacions físiques del territori i de la planificació territorial.

✓ Equació tipus:

$$X_i \leq b_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, 3$$

$$X_i \geq b_{ik} \quad \forall i = 4, 5$$

on

X_i : variable de decisió energètica [tep_p]

b_{ik} : quantitat d'energia l'any k [tep_p]

Condicció de no negativitat

Els valors de X_i han de ser positius $\forall k$

CAPÍTOL 5: APLICACIÓ DEL MODEL MATEMÀTIC AL TERRITORI DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA

5.1. INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS

Els resultats obtinguts mitjançant el programa LINDO són una eina molt important per al planificador.

El valor de la funció objectiu (F.O.) indica el cost energètic anual (per a l'any k), si es configura l'escenari donat pels valors de les variables de decisió.

Els valors de las variables de decisió són també importants per poder planificar en el temps futures necessitats de terrenys i d'inversions per plantes energètiques o per al disseny de noves infraestructures de transport i distribució.

Un altre aspecte interessant que ens ofereix el programa LINDO és l'anàlisi de sensibilitat. Amb aquest anàlisi el programa subministra els valors dels coeficients de cost (de la F.O.) i els termes independents, per als que la base segueix sent vàlida.

Una cop teoritzat el model, només cal aplicar-lo a una realitat concreta. L'estructura del model matemàtic presentat en l'apartat 4.4 s'adequa als paràmetres relacionats amb la proposta del PTMB, segons el projecte de pla acabat per l'equip redactor en data juny de 1998. S'ha efectuat un estudi energètic dinàmic en l'horitzó temporal del Pla (2.026).

Com més amunt s'ha explicat, el Pla Territorial Metropolità de Barcelona (PTMB) planteja una ordenació territorial de l'AMB sota criteris implícits de sostenibilitat que mesurem mitjançant aquest treball pel que fa a l'eficiència energètica, per aplicació d'un model matemàtic especialment adaptat a les circumstàncies concretes d'aquesta realitat territorial en evolució. La concepció mateixa del PTMB fa que ordenació territorial i la planificació energètica s'influeixin estretament, principalment en relació al sector del transport. En particular, es tracta de conèixer el diferencial de sostenibilitat energètica que aporta la proposta del PTMB respecte a la situació tendencial que versemblantment es produiria sense la seva aplicació.

5.2. ESTUDI DELS PARÀMETRES DEL MODEL

Com l'horitzó del Pla és l'any 2026, s'han agafat 6 períodes temporals com a base d'estudi de les variables de decisió.

- k=0 ⇨ 1995 • k=3 ⇨ 2010 • k=6 ⇨ 2025
- k=1 ⇨ 2000 • k=4 ⇨ 2015
- k=2 ⇨ 2005 • k=5 ⇨ 2020

□ Funció Objectiu (F.O.)

Els valors dels paràmetres de la funció objectiu estan estrictament relacionats amb l'estat de l'art tecnològic, per tant, no variaran en funció de l'àmbit d'estudi.

Després del repàs de diferents estudis relacionats amb els costos de la tecnologia energètica, com els de Johansson, Kelly, Reddy o Williams, es poden definir els següents valors segons l'energia estudiada per a l'any 1995.

⇨ BIOMASSA: X_1

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{11}= 300,51 \quad C_{12}= 119,01 \quad C_{13}= 195,38 \quad C_{14}= 125,56$$

$$\sum C_{1j1} = 700,47 \quad \eta_{inst} = 0,43$$

- sense transformació energètica [euros/tep_p]

$$C_{11}= 176,37 \quad C_{12}= 94,96 \quad C_{13}= 86,75$$

$$\sum C_{1j2} = 371,29$$

$$\sum C_{1j} = \sum C_{1j1} \cdot \eta_{inst} \cdot 0,9 + \sum C_{1j2} \cdot 0,1 = 366 \text{ euros /tep}_p$$

$$A_{1k} = -0,040$$

⇨ HIDRAÚLICA: X_2

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{21}= 244,99 \quad C_{22}= 252,41 \quad C_{23}= 96,51 \quad C_{24}= 148,48$$

$$\sum C_{2j} = 742,40 \text{ euros/tep}_p \quad (\text{tep}_p = \text{tep}_i \text{ para } X_2)$$

$$A_{2k} = -0,0190$$

⇒ **EÒLICA: X₃**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{31}= 229,10 \quad C_{32}= 236,05 \quad C_{33}= 90,25 \quad C_{34}= 138,85$$

$$\sum C_{3j} = 694,27 \text{ euros/tep}_p \quad (\text{tep}_p = \text{tep}_i \text{ para } X_3)$$

$$A_{3k} = -0,068$$

⇒ **SOLAR FOTOVOLTAICA: X₄**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{41}= 981,89 \quad C_{42}= 1011,64 \quad C_{43}= 386,80 \quad C_{44}= 595,08$$

$$\sum C_{4j} = 2975,44 \text{ euros/tep}_p \quad (\text{tep}_p = \text{tep}_i \text{ para } X_4)$$

$$A_{4k} = -0,111$$

⇒ **SOLAR TÈRMICA: X₅**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{51}= 294,56 \quad C_{52}= 303,49 \quad C_{53}= 116,04 \quad C_{54}= 178,52$$

$$\sum C_{5j} = 892,63 \text{ euros/tep}_p \quad (\text{tep}_p = \text{tep}_i \text{ para } X_5)$$

$$A_{5k} = -0,00740$$

⇒ **CARBÓ: X₆**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{61}= 393,60 \quad C_{62}= 405,53 \quad C_{63}= 155,05 \quad C_{64}= 238,55$$

$$\sum C_{6j1} = 1192,75 \quad \eta_{inst} = 0,30$$

- sense transformació energètica [euros/tep_p]

$$C_{61}= 141 \quad C_{62}= 75 \quad C_{63}= 84$$

$$\sum C_{1j2} = 300$$

$$\sum C_{6j} = \sum C_{6j1} \cdot \eta_{inst} \cdot 0,75 + \sum C_{6j2} \cdot 0,25 = 343,37 \text{ euros /tep}_p$$

$$A_{6k} = 0$$

⇒ **GAS NATURAL: X₇**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{71}= 245,47 \quad C_{72}= 252,91 \quad C_{73}= 96,70 \quad C_{74}= 148,77$$

$$\sum C_{7j1} = 743,86 \quad \eta_{inst} = 0,43$$

- sense transformació energètica [euros/tep_p]

$$C_{71}= 84,51 \quad C_{72}= 44,95 \quad C_{73}= 50,34$$

$$\sum C_{7j2} = 179,81$$

$$\sum C_{7j} = \sum C_{7j1} \cdot \eta_{inst} \cdot 0,15 + \sum C_{7j2} \cdot 0,85 = 200,82 \text{ euros /tep}_p$$

$$A_{7k} = 0$$

⇒ **DERIVATS DEL PETROLI: X₈**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{81}= 245,47 \quad C_{82}= 252,91 \quad C_{83}= 96,70 \quad C_{84}= 148,77$$

$$\sum C_{8j1} = 743,86 \quad \eta_{inst} = 0,30$$

- sense transformació energètica [euros/tep_p]

$$C_{81}= 141 \quad C_{82}= 75 \quad C_{83}= 84$$

$$\sum C_{8j2} = 300$$

$$\sum C_{8j} = \sum C_{8j1} \cdot \eta_{inst} \cdot 0,1 + \sum C_{8j2} \cdot 0,9 = 291,12 \text{ euros /tep}_p$$

$$A_{8k} = 0$$

⇒ **NUCLEAR: X₉**

- en plantes energètiques [euros/tep_i]

$$C_{91}= 392,75 \quad C_{92}= 404,65 \quad C_{93}= 154,72 \quad C_{94}= 238,03$$

$$\sum C_{9j} = 1190,17 \text{ euros/tep}_p \quad (\text{tep}_p = \text{tep}_i \text{ para } X_9)$$

$$A_{9k} = 0$$

□ **Restriccions funcionals**

Els valors dels paràmetres de les restriccions funcionals, depenen en la seva majoria d'aspectes relacionats amb l'àmbit d'estudi.

⇒ **RESTRICCIÓ 1: Emissions**

Segons els nivells proposats a la Conferència de Kioto el desembre de 1997, Espanya pot augmentar les seves emissions de gasos contaminants fins un 17% cap a l'any 2010. En el present model, s'ha establert un creixement del 15% fins aquest any, mantenint aquestes emissions durant els següents anys.

$$C_{61}= 5,112 \quad C_{71}= 2,438 \quad C_{81}= 3,301 \quad [\text{ton CO}_2/\text{tep}_p]$$

$$C_{62}= 6,532 \quad C_{72}= 0 \quad C_{82}= 21,810 \quad [\text{Kg SO}_2/\text{tep}_p]$$

$$C_{63}= 18,121 \quad C_{73}= 6,608 \quad C_{83}= 9,9133 \quad [\text{Kg NO}_x/\text{tep}_p]$$

$$b_{01} = 12.585.749 \quad [\text{ton CO}_2]$$

$$b_{02} = 59.741.000 \quad [\text{Kg SO}_2]$$

$$b_{03} = 37.271.000 \quad [\text{Kg NO}_x]$$

$$B_k = 0,05 \quad \forall k=1,2,3$$

$$B_k = 0 \quad \forall k=4,5,6$$

⇒ **RESTRICCIÓ 2: Eficiència**

En aquesta restricció, i particularment en el terme independent, apareixen una sèrie de paràmetres relacionats estretament amb l'ordenació territorial. S'ha considerat que els paràmetres de l'eficiència augmenten en el temps, segons índexs raonables d'acord amb les perspectives que efectuen les institucions sectorials.

$$\prod C_{1r}= 0,4374 \prod C_{2r}= 0,4374 \prod C_{3r}= 0,4374$$

$$\prod C_{4r}= 0,4374 \prod C_{5r}= 0,4374 \prod C_{6r}= 0,1382$$

$$\prod C_{7r}= 0,2615 \prod C_{8r}= 0,1325 \prod C_{9r}= 0,1346$$

$$B_0 = 0,8350 B_k = 0,0225 \forall k$$

$$b_{01} = 17.135 \text{ [tep}_p\text{]}$$

$$b_{02} = 393.603 \text{ [tep}_p\text{]}$$

$$b_{03} = 747.820 \text{ [tep}_p\text{]}$$

⇒ **RESTRICCIÓ 3: Ús de l'energia**

L'ús energètic s'ha parametrizat segons les expectatives de la D.G. XVII de la Comissió Europea. Segons això, les energies renovables es van introduint progressivament a la cistella energètica total.

$$C_{10}= 1,3135 C_{20}= 0,8823 C_{30}= 0,066 C_{40}= 0,0022$$

$$C_{50}= 0,0066 C_{60}= 0,0356 C_{70}= 0,3423 C_{80}= 1,6433$$

$$C_{90}= 0,7175$$

$$b_{01} = 1.367.068 \text{ [tep}_p\text{]}$$

$$b_{02} = 1.698.291 \text{ [tep}_p\text{]}$$

$$b_{03} = 2.342.655 \text{ [tep}_p\text{]}$$

$$b_{04} = 1.243.000 \text{ [tep}_p\text{]}$$

⇒ **RESTRICCIÓ 4: Ús energètic en el sector transport**

Aquesta restricció, també s'ha parametrizat segons les expectatives de la UE. S'ha volgut realçar el paper dels biocombustibles en detriment dels combustibles fòssils, malgrat que aquests últims seguiran portant el pes energètic del sector. Per simplificar, només s'han tingut en compte els derivats del petroli.

$$C_{10}= 0 C_{80}= 0,4567$$

$$b_{01} = 1.321.188 \text{ [tep}_p\text{]}$$

⇒ **RESTRICCIÓ 5: Capacitat d'introducció de les energies renovables**

Aquesta restricció és conseqüència de les limitacions físiques del territori i de la planificació territorial. Els valors de b_{ik} s'exposen en las fitxes 21, 22, 23, 24 i 25 sobre les restriccions, que apareixen en l'apartat **0. Resum** del present document.

□ Resultats del model

És el moment d'analitzar els resultats obtinguts per a l'AMB, en aplicació del model matemàtic dissenyat. S'han obtingut resultats de las variables energètiques de decisió segons el model d'ordenació territorial proposat pel Pla Territorial Metropolità de Barcelona. Per a l'any 2025 (just un any per sota de l'horitzó del Pla), s'ha considerat necessari, també, el càlcul de les variables de decisió en el cas que es continués amb la tendència d'urbanització actual. D'aquesta manera, es poden comparar els resultats amb els obtinguts segons la Proposta del Pla.

⇒ Costos energètics

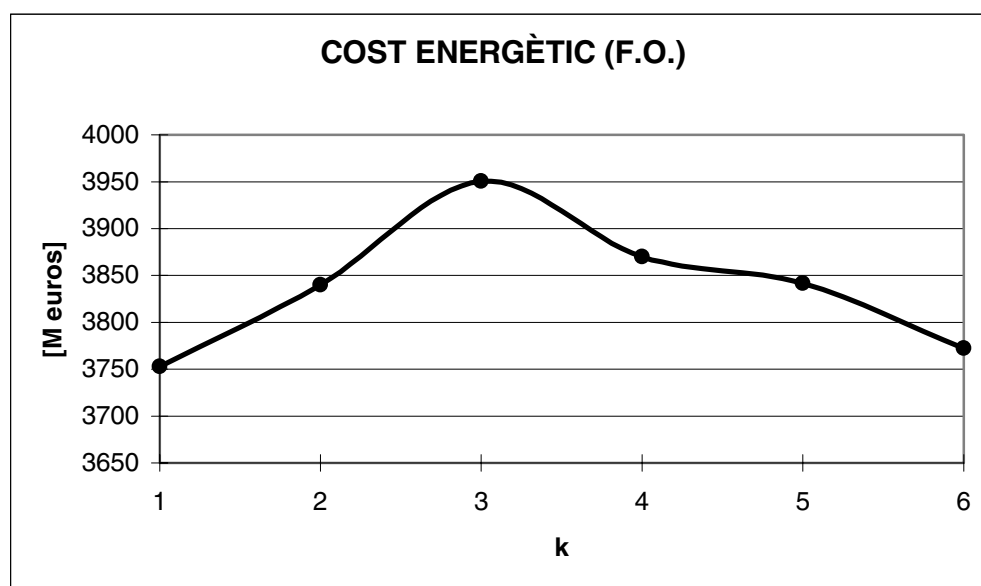
Per poder comparar en el temps, s'han considerat els resultats segons valors monetaris actuals, sense tenir en compte la depreciació temporal. D'aquesta forma, els valors obtinguts no són els reals, en termes constants, per cada instant "k" considerat. S'ha tractat així d'evitar haver de pendre una hipòtesi sobre l'evolució de la inflació.

En el gràfic dels costos energètics s'observa un progressiu creixement d'aquests fins l'any 2010, on es produeix el màxim pels costos: 3.950.293.000 euros (661.000 milions de pessetes). A partir d'aquest valor, els costos decreixen fins arribar a uns valors, pel 2025, pràcticament iguals als de l'any 2000.

Costos energètics

- Període 2000-2010: Increment dels costos
- Període 2010-2025: Disminució dels costos

La massiva introducció de les energies renovables, amb uns costos més elevats durant els primers



anys fa créixer els costos globals per sobre dels valors actuals. Com s'ha explicat en el capítol 7, a partir de la segona dècada del pròxim segle, es produirà un apropament de costos entre les energies fòssils i les renovables. Aquest detall es veu reflectit en el gràfic amb una disminució significativa dels costos.

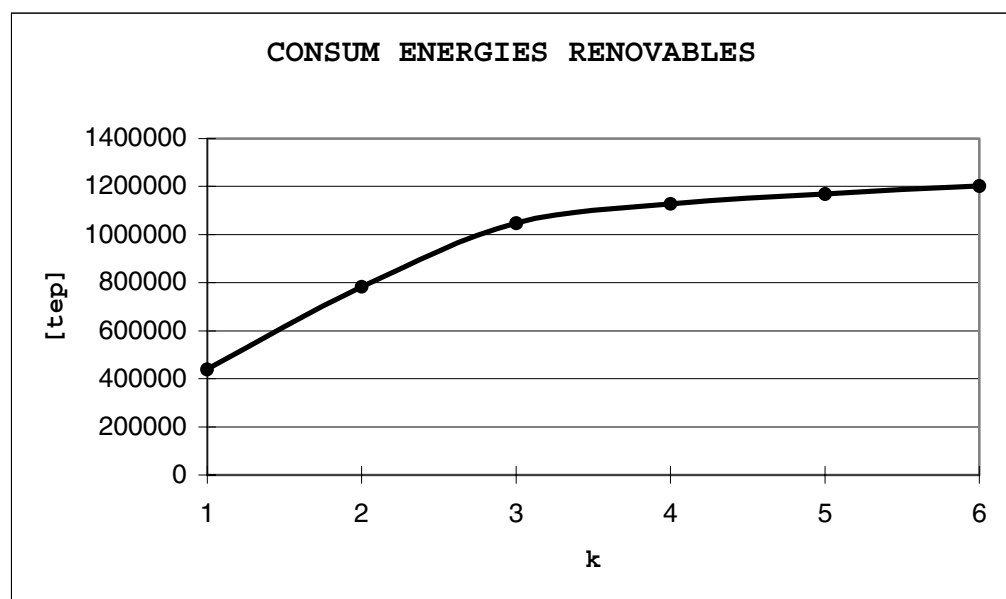
En resum, si ens fixem en els costos, la introducció de les energies renovables no implica el seu creixement en l'horitzó del Pla.

⇒ Energies renovables

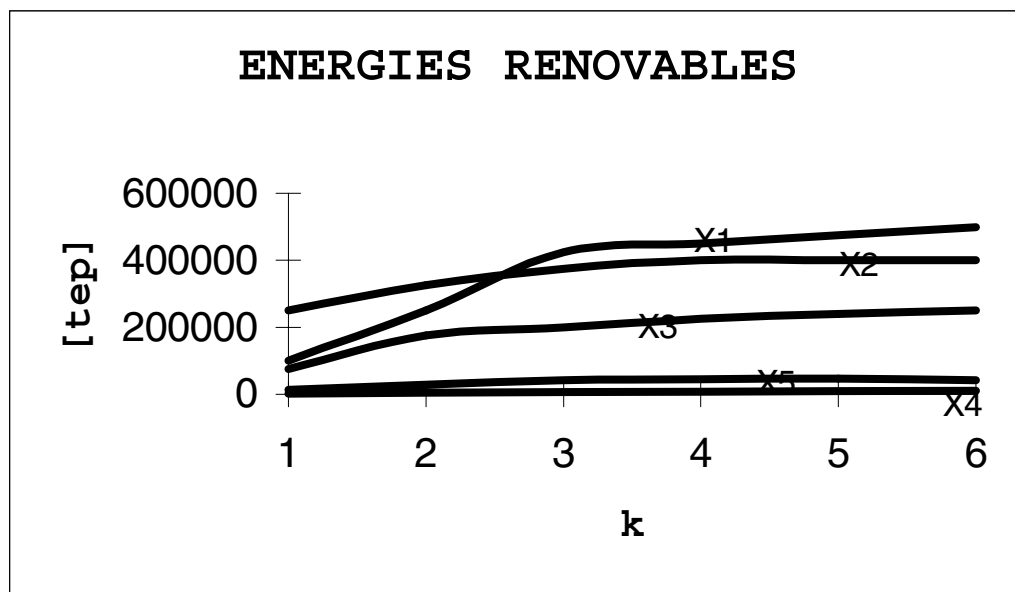
En conjunt, durant el període de vigència del Pla, les energies renovables creixeran des dels 441.000 tep fins 1.200.000 tep. Aquest creixement serà més acusat fins l'any 2010, com pot comprovar-se, degut a les restriccions comunitàries pel que fa als usos energètics (veure restriccions 3 y 4).

Energies renovables

- Període 2000-2010: Creixement
- Període 2010-2025: Estabilització



Pel que fa a la tipologia energètica, les energies amb un pes més important dins de la cistella de les energies renovables són la biomassa i la hidràulica. Les segueix d'aprop l'energia eòlica, mentre que las tecnologies solars (fotovoltaica i tèrmica) queden en un segon pla, segurament pels seus elevats costos.

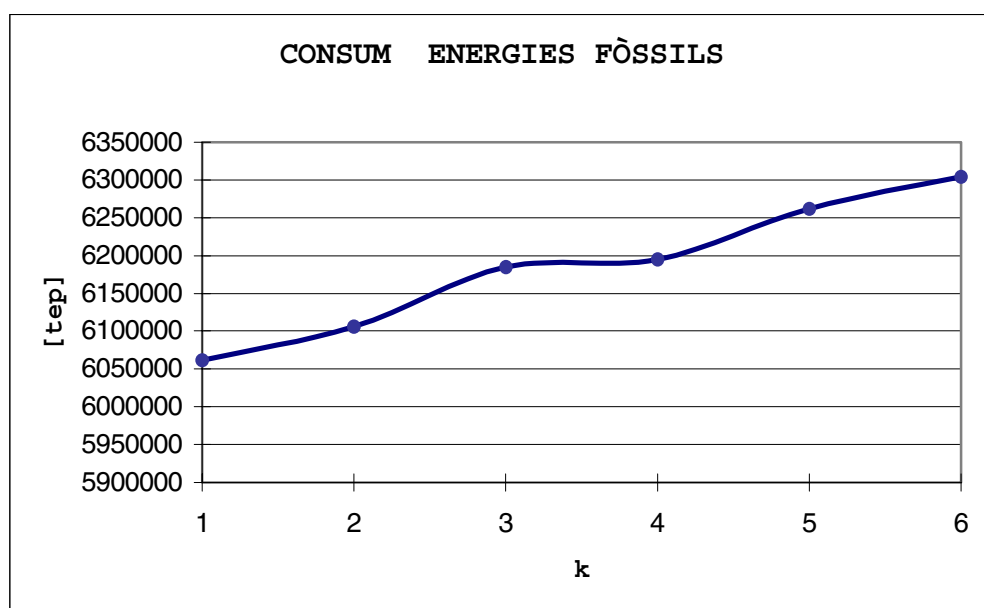


⇨ Energies fòssils

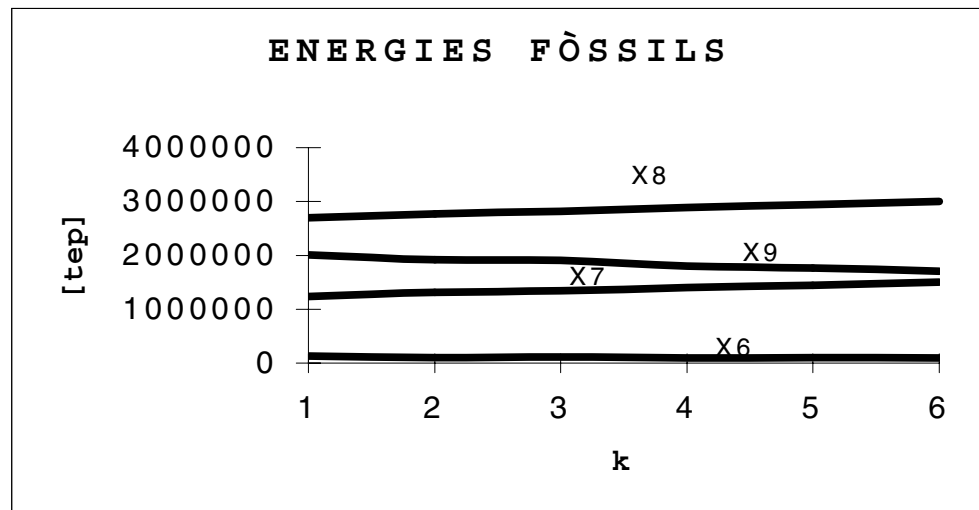
El creixement de les energies convencionals, entorn al 12%, serà inferior al que experimentaran les energies renovables, amb un 170%, aproximadament. D'aquesta forma, malgrat que les energies convencionals seguiran tenint en el futur el pes principal, el seu percentatge respecte a l'energia total haurà baixat del 93%, l'any 2000, fins el 80% l'any 2025.

Energies fòssils

- Període 2015-2025: Creixement
- Període 2000-2010: Creixement
- Període 2010-2015: Estabilització



Pel que fa a la tipologia energètica, els derivats del petroli i, sobretot, el gas natural seguiran creixent de forma moderada. Amb un pes proper als derivats del petroli i al gas natural, destaca l'energia nuclear, que decreix en uns 300.000 tep la seva participació a la cistella energètica. A gran distància, apareix el carbó, que anirà decreixent, de forma irregular en el temps, degut a la demanda energètica d'altres combustibles.



El resultat combinat de l'evolució al llarg del temps de les diferents variables de decisió es resumeix en el següent quadre:

⇒ **El factor territori**

L'anàlisi que planteja aquest treball, sobre la incidència de l'ordenació del territori en l'eficiència energètica, ha fet que s'hagin estudiat per a l'any 2025 (k=6) els efectes d'una ordenació territorial basada en els actuals patrons de creixement urbanístic i s'hagi també comparat la tendència amb l'escenari final derivat de la proposta d'ordenació adoptada pel PTMB.

El resum d'aquesta comparació ens indica que mitjançant l'aplicació del projecte de PTMB:

s'obtidria un estalvi anual per l'any 2025 de 129 milions de euros (21.613 milions de pessetes).
s'aconseguiria estalviar unes 490.000 tep d'energia.

L'equivalent en dades del sector energètic del 1995:

importació d'energia elèctrica a Espanya;

23% del consum a Catalunya de gas natural com energia primària;

5% del consum a Catalunya de combustibles derivats del petroli;

10% de la producció a Catalunya d'energia nuclear.

A l'hora de valorar aquests resultats cal tenir present:

- s'ha presuposat que l'absència d'una planificació territorial -en la hipòtesi de la no-planificació- no vol dir l'absència d'una planificació energètica; els criteris en l'evolució dels aspectes no estrictament territorials, relatius als consums dels diferents tipus d'energia, els seus costos, la prospectiva tecnològica associada, la normativa, els compromisos internacionals, les millores en els rendiments en els automòbils, l'habitatge o la indústria,..., són tots ells aspectes que evolucionaran de forma independent del model real d'ordenació del territori que es desplegui; és a dir, **s'ha donat per descomptat que aquests aspectes propis del sector energètic es comportaran de la mateixa manera en els dos escenaris que comparem, que nomès es diferenciaran entre ells per la diferent forma en que s'haurà ocupat el territori i ordenat les infraestructures a l'AMB, en l'any 2025.** Aquesta puntualització té l'interès de posar de manifest que s'ha determinat un estalvi nomès atribuïble a la planificació territorial per comparació a l'escenari de la no-planificació *ceteris paribus*, és a dir en igualtat de comportament de les demás variables o aspectes no territorials (sostenibilitat diferencial afegida per l'ordenació del territori).
- tot i això, i segons allò que igualment es desprèn del model emprat, l'any 2025 l'AMB estarà consumint de l'ordre d'un milió més de tep d'energia que en l'actualitat, amb un augment d'un 15,4% sobre el consum del 2000, equivalent a una taxa anual acumulativa del 0,57%. En aquella data però hi haurà 500.000 habitants més, més activitat, més habitatges,... i caldria doncs considerar l'estalvi relatiu en els termes corresponents.
- els resultats finals, es poden obtenir desagregats per comarques o per illes/espai obert, a través de les perequacions que contemplin les variables implicades a la respectiva escala

Resultats del model aplicat a l'AMB

Període	k=1 (P)	k=2 (P)	k=3 (P)	k=4 (P)	k=5 (P)	k=6 (P)	k=6 (T)
Costos (Meuro/any)	3.752,537	3.839,995	3.950,293	3.869,831	3.841,822	3.772,351	3.901,459

Variable (tep)	k=1 (P)	k=2 (P)	k=3 (P)	k=4 (P)	k=5 (P)	k=6 (P)	k=6 (T)
Biomassa	100.000	250.000	425.000	450.000	475.000	500.000	500.000
Hidroelèctrica	250.000	325.000	375.000	400.000	400.000	400.000	400.000
Eòlica	75.000	175.000	200.000	225.000	240.000	250.000	250.000
Solar Fotovolt.	2.000	4.000	6.000	8.000	9.000	10.000	10.000
Solar Tèrmica	14.038	28.304	42.651	44.805	46.218	42.579	40.456
Carbó	129.000	105.000	117.000	100.000	105.000	100.000	95.000
Gas Natural	1.235.178	1.317.437	1.341.812	1.408.488	1.449.364	1.500.071	1.509.039
Petroli	2.700.201	2.765.331	2.820.127	2.883.672	2.940.111	3.000.207	3.500.775
Nuclear	2.009.722	1.918.192	1.906.022	1.802.743	1.767.250	1.703.636	1.690.495
TOTAL	6.502.539	6.888.264	7.233.612	7.322.708	7.431.943	7.506.493	7.995.765

CAPÍTOL 6: CONCLUSIONS

Les **conclusions** es troben ordenades en blocs, els quals s'han de considerar interrelacionats conceptualment. Aquelles incloses al bloc 5) són les més específiques i responen a l'anàlisi de la sostenibilitat diferencial pel que fa al consum d'energia, que el projecte de Pla Territorial Metropolità de Barcelona (PTMB) introdueix en el procés d'urbanització de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) en l'horitzó de l'any 2025, aspecte que el doctorand ha escollit com aportació més elaborada de la seva tesi doctoral.

Tanmateix, els raonaments intermedis que la tesi efectua, plantejen diverses línies de recerca que poden ser desenvolupades en el marc més ampli de l'**avaluació de la sostenibilitat territorial i urbana, des d'una perspectiva sistèmica**. Per això, les conclusions que tenen un caràcter més general esdevenen en realitat propostes de recerca futura a partir d'un tronc metodològic comú, la definició del qual ha pretès esdevenir també una aportació fonamental de la tesi.

1)

1.1) La noció de sostenibilitat emergeix com un referent indefugible per a l'enginyeria del segle XXI. La seva eficàcia real sobre les persones, el territori i el medi ambient, requereix disposar d'instruments que permetin estudiar-ne els diferents aspectes amb precisió.

1.2) L'amidament de la sostenibilitat a través d'instruments formals i de models matemàtics concrets, constitueix un objectiu científic de primer ordre que mereix un esforç de recerca.

2)

2.1) L'ecologia territorial i urbana, emprant els formalismes propis de la teoria de sistemes, constitueix el marc conceptual general apropiat per a la elaboració d'instruments específics d'anàlisi de la sostenibilitat.

2.2) La Biologia, la Termodinàmica, la Química o la Neurociència són camps del coneixement que, integrats dins de l'ecologia territorial i urbana, aporten elements conceptuals parcials de gran transcendència a la sostenibilitat, entesa com un procés compost per un conjunt de processos evolutius i irreversibles, que s'optimitzen progressivament segons patrons autoorganitzatius.

2.3) El procés d'urbanització pot ser objecte d'anàlisi científica –més enllà de la simple metàfora-, en tant que procés evolutiu irreversible, on el potencial de desordre que porta aparellat l'increment inexorable de complexitat es pot veure compensat per un correlatiu increment de la informació organitzada i organitzadora.

3)

3.1) El *corpus* conceptual que configura allò que coneixem com medi ambient, resulta insuficient per extreure'n conclusions concretes sobre la noció de sostenibilitat, si està mancat del referent territorial.

3.2) La utilització del Producte Interior Brut (PIB: creixement econòmic) com indicador exclusiu del desenvolupament en un territori determinat, resulta insuficient en un context de sostenibilitat.

3.3) La possibilitat de mesurar els diferents aspectes o vectors del concepte de sostenibilitat (energia, aigua, recursos naturals, residus, qualitat atmosfèrica, biomassa, diversitat biològica, qualitat urbana, paisatge,...), permet la seva internalització en els processos de producció i urbanització; i també, determinar, de forma més ajustada, indicadors apropiats de qualitat de vida i de desenvolupament sostenible.

3.4) La idea de qualitat territorial o qualitat urbana només té sentit quan s'hi internalitzen tots els elements i paràmetres exigits pels criteris de sostenibilitat en el desenvolupament.

3.5) El territori en tant que receptacle o continent integral dels seus habitants i els grups socials, dels pobles i ciutats, de l'activitat econòmica, de les infraestructures, de la diversitat biològica, dels espais i recursos naturals i d'un conjunt variat d'altres valors ambientals, així com dels fluxes de matèria, energia i informació que hi reflecteixen les relacions creuades entre tots aquests elements, constitueix un referent sistèmic pertinent per a l'anàlisi objectiva del desenvolupament sostenible.

3.6) El conjunt de plans, projectes i productes que permeten determinar un tipus de desenvolupament sostenible, són l'objecte de l'enginyeria sostenible.

4)

4.1) La ciutat compacta acumula un alt nivell d'informació organitzada.

4.2) El model de ciutat mediterrània, tradicionalment compacta i presentant una elevada diversitat pel que fa a la barreja de diferents usos del sòl a les seves àrees centrals, facilita la presència de nivells adients de convivència i de seguretat ciutadana, alhora que permet la viabilitat funcional i financera d'un transport públic basat en el ferrocarril, per contraposició al model de ciutat anglosaxona, de caire essencialment dispers (en *sprawl*), virtualment dependent del vehicle privat per a un gran nombre de desplaçaments.

4.3) Una ciutat compacta que gaudeixi d'una ordenació urbanística interna adient, amb densitats altes però raonablement per sota dels nivells de congestió, permet una millor preservació de les

condicions naturals del conjunt del territori, per comparació amb un tipus d'urbanització difusa o dispersa.

4.4) La configuració de tipus capilar de les xarxes dels serveis tècnics en un territori urbanitzat de forma dispersa, suposa costos innecessàriament exagerats d'establiment, manteniment i explotació, així com una ocupació excessiva de sòl.

4.5) La recerca permanent d'una elevada concentració i diversitat d'activitats, compatible amb la diversitat associada a les qualitats del medi ambient, és un tret bàsic de l'enginyeria i la planificació territorial sostenibles.

4.6) L'objectiu de reduir les distàncies per mantenir el mateix número de contactes i d'intercanvis que facilita el model de ciutat compacta, permet l'assoliment d'una reducció substancial de l'energia consumida pels sistemes territorials i urbans.

4.7) És possible una millora significativa de l'eficiència energètica, mitjançant l'ordenació del territori.

4.8) La ciutat compacta és més eficient en la utilització de l'energia que la ciutat difusa

5)

5.1) Les propostes d'ordenació del projecte de Pla Territorial Metropolità de Barcelona (PTMB), permeten introduir un estalvi estructural en el consum d'energia, amb independència del derivat d'altres elements de racionalització de base no territorial (sectorial, tecnològica, socio-econòmica,...)

5.2) L'escenari voluntarista de planificació que comporten les propostes del PTMB per al seu any horitzò de 2025, per comparació amb l'escenari inercial o tendencial de la no-planificació, suposa un estalvi anual del consum energètic de 490.000 tep, equivalent a 129 milions d'euro.

5.3) En l'escenari final del PTMB, el consum anual total d'energia a l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), haurà arribat a 7.506.000 tep/any, a partir de les 6.502.000 tep/any actuals (+15,4%).

5.4) Els estalvis calculats en el consum d'energia, poden considerar-se prou significatius i constitueixen un aspecte concret de l'aportació del PTMB a la quantificació objectiva del desenvolupament sostenible de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

5.5) En l'escenari resultant del compliment del PTMB, la progressiva introducció de les energies renovables, amb uns costos unitaris més alts durant els primers anys, es traduirà en que els costos energètics totals, segons valors monetaris actuals, es vagin incrementant fins l'any 2010 (3.950 Meuro/any). A partir d'aquell moment, l'apropament de costos unitaris que es produirà entre les energies fòssils i les renovables, permetrà que els costos totals es vagin reduint progressivament fins assolir, l'any 2025, un muntant semblant als costos presents (3.770 Meuro/any).

5.6) Durant el període de vigència del PTMB, el consum d'energies renovables creixerà des de 441.000 tep, fins 1.202.000 tep. El creixement serà especialment ràpid fins al 2010 per suavitzar-se després. Biomassa i hidràulica tenen el major pes relatiu, seguides per l'energia eòlica, mentre es preveu que les tecnologies de l'energia solar (fotovoltàica i tèrmica), no podran garantir uns costos prou assequibles com per permetre'n una difusió massa gran.

5.7) En les condicions analitzades de la planificació, la participació de les energies convencionals o fòssils passarà del 93% al 84%, a base que aquestes hauran crescut un 4% mentre que les renovables ho hauran fet un 170%. En termes relatius, els derivats del petroli i el gas natural, hauran seguit creixent de forma moderada, mentre el carbó i l'energia nuclear aniran assolint un pes específic més petit.

6)

6.1) El concepte de capacitat de càrrega que l'Ecologia utilitza en relació als ecosistemes, adquireix un sentit integral quan es transposa als sistemes territorials en relació als diferents impactes derivats de l'activitat humana i les seves possibilitats de sostenibilitat.

6.2) La determinació de mesures d'avaluació precisa de la capacitat de càrrega d'un àmbit territorial, constitueix una línia de recerca relevant per facilitar la modelització, la formulació de polítiques i el seguiment del procés d'urbanització en aquest àmbit, sota criteris de sostenibilitat.

6.3) L'enginyeria sostenible ha de tendir a reemplaçar l'enginyeria convencional en el sentit d'orientar el desenvolupament de plans, projectes i productes en base als criteris de sostenibilitat objectivats mitjançant mesures d'avaluació de la capacitat de càrrega dels ecosistemes i dels àmbits territorials.

7)

7.1) En un territori determinat la consideració de l'existència de límits en els seus recursos, individualment o agregadament considerats, introdueix, en forma diferent segons siguin renovables o no renovables, una inflexió en la tendència inercial o espontània d'aprofitament.

7.2) Els processos logístics, caracteritzats per tres fases d'irrupció, allau i consolidació, representen adequadament l'evolució de nombrosos fenòmens naturals i socials altament no lineals subjectes a restriccions.

7.3) Un procés d'urbanització sotmès a condicionants de sostenibilitat, respon a un procés de desenvolupament de caire logístic.

8)

8.1) Un model general apropiat per a l'anàlisi objectiu del procés d'urbanització sota criteris de sostenibilitat, consisteix en la consideració del territori com sistema obert. L'aplicació dels formalismes de la teoria de sistemes als sistemes oberts -en particular als que fluctuen al voltant de l'estat estacionari-, permet l'endegament de nombroses línies de recerca per a l'establiment d'una interpretació integral del desenvolupament sostenible que prengui el territori com escenari de referència.

8.2) L'objectiu de màxima eficiència del procés d'urbanització en termes del model termodinàmic, consisteix en la minimització de la producció d'entropia, la qual cosa s'assoleix en l'estat estacionari quan es considera el territori com sistema obert.

8.3) Les àrees metropolitanes modernes, altament complexes i evolucionades, poden ser interpretades com sistemes territorials oberts en estat estacionari allunyats de l'equilibri termodinàmic, que per mantenir-se precisen aportacions contínues d'energia, quantificables segons models termodinàmics.

8.4) La progressivitat de la complexitat i l'organització del procés d'urbanització en un territori determinat, que es fa a costa d'una exportació d'entropia (desordre, contaminació, residus, reducció de recursos naturals) a l'entorn, són fenòmens igualment quantificables en base a models termodinàmics.

8.5) El principi d'autoorganització en l'evolució biològica termodinàmicament interpretada, es tradueix, en el procés d'urbanització, en les conseqüències de l'acció derivada de la llibertat dels agents: persones, institucions i corporacions (lliure interacció dels agents, moguts pels seus respectius interessos); el paper essencial de l'Estat és de garantir aquesta lliure concurrència, només condicionada pel principi d'interès general.

8.6) L'exportació d'entropia fora del sistema està correlacionada amb els processos d'autoorganització interior, quedant tot englobat en el concepte de "sistemes dissipatius".

9)

9.1) L'ordenació del territori pot valdre's avantatjosament de models orgànics propis de la Biologia i l'Ecologia i prendre en consideració les nocions rellevants d'autoorganització i metabolisme a l'hora d'analitzar la seva estructura i funcionament

9.2) La idea d'una planificació territorial convencional, de caire determinista, en el sentit de contenir unes hipòtesis, uns terminis i uns programes d'actuació excessivament rígids, no resulta ja avui viable ni útil per a un correcte endegament del procés d'urbanització, en un context de sostenibilitat.

9.3) La constatació de la presència d'una complexitat creixent en els sistemes territorials i urbans, i la importància i significació cada cop més acusada de fenòmens aleatoris, fa que el procés d'urbanització hagi de tendir a interpretar-se com un procés dinàmic autònom que només pot ser corregit mitjançant mesures de segon ordre actuant sobre determinats paràmetres significatius oportunament sel·leccionats

9.4) L'ordenació del territori en tant que procés d'optimització en la utilització del sòl per les persones i les activitats, permet posar en joc la coordinació de les diferents visions sectorials que incideixen en el procés d'urbanització (habitatge, activitats industrials, comerç, lleure, sanitat, xarxes d'abastament, infraestructures del transport,...) que no poden ser planificades de forma independent.

9.5) Una visió moderna del procés d'urbanització comporta que l'ordenació del territori adquireixi un caràcter dialèctic, a la recerca, en cada moment, d'una combinació dels instruments convencionals de zonificació amb els de creixement i estructuració de les xarxes.

10)

10.1) El conjunt d'instruments formals que configuren l'anomenada Ciència del Caos ofereix possibilitats de contribuir a una anàlisi sistemàtica i global del procés d'urbanització. Se centren en els mecanismes que mouen als actors en les seves interrelacions i que regeixen els canvis introduïts per l'emergència de singularitats o l'aparició d'innovacions i l'existència de bifurcacions en la seva evolució.

10.2) L'evolució del procés d'urbanització en els sistemes territorials i urbans complexos, adquireix un marcat caràcter autònom, la qual cosa condiona fortament les possibilitats i formes de incidir en el seu futur i posa en qüestió les fòrmules convencionals de planificació i de presa de decisions al respecte.

10.3) Els mecanismes més subtils, encara poc coneguts, que regeixen el procés d'urbanització, a l'igual que succeeix amb les interpretacions més recents de l'evolució biològica, estan relacionats amb el paper que hi juga la informació

10.4) En els estadis avançats d'un procés d'urbanització, subjectes a l'increment irreversible de la seva complexitat, la planificació del territori ha de consistir, en definitiva, en projectar-hi informació organitzada –coneixement- i fomentar-hi la configuració d'un nombre elevat de circuits recurrents reguladors. Això, li permetrà esdevenir adaptable als canvis i progressivament més estable davant les fluctuacions del seu entorn.

10.5) L'objectiu de sostenibilitat quan considerem el desenvolupament d'un sistema territorial determinat, posa en joc els fluxes de matèria, energia i informació i passa per minimitzar l'energia consumida pel sistema per mantenir la biomassa, la seva estructura i l'ordre i fer-lo funcionar, amb la contribució d'una elevada diversitat, una eficient estructura territorial i urbana i la presència de nombrosos artefactes culturals.

10.6) Com un cas concret d'aplicació de models dinàmics als fenòmens i sistemes socials altament evolucionats (que es troben lluny d'un equilibri que equival a homogeneïtat, inactivitat, decadència,...) es pot afirmar que els sistemes territorials complexos presenten un fort acoblament amb l'entorn. L'intercanvi que es produeix de matèria, energia i informació, permet explicar els trets fonamentals de la seva estructura i funcionament.

10.7) Un aprofundiment en l'anàlisi de l'acoblament entre el procés entròpic i el procés d'articulació de la informació –del coneixement- en l'evolució dels ecosistemes biològics i socials, pot aportar noves explicacions de com s'esdevenen de forma notablement autònoma les millores organitzatives en el territori.

10.8) La capacitat d'adaptació i la capacitat d'estructuració del coneixement del que gaudeixen els sistemes dinàmics no lineals, permet pensar que els sistemes territorials i els processos d'urbanització allunyats de l'equilibri o altament complexos, subjectes a regles democràtiques d'organització i govern, tendiran sempre a complir els criteris de desenvolupament sostenible.

11)

11.1) L'auge de les telecomunicacions i la telemàtica no es traduirà en una reducció de la mobilitat total de les persones ni en la reducció del consum energètic consegüent amb aquest concepte.

11.2) La composició de la mobilitat total tendeix a canviar en el sentit de disminuir el pes de la mobilitat obligada i d'incrementar-se el nombre i la varietat dels desplaçaments més aleatoris o

imprevisibles, la qual cosa permet pensar en repartiments més homogenis i autoajustats dels tràfics sobre els eixos o canals del transport (anivellació de “puntes”).

11.3) Les millores en la capacitat i l'augment en els nivells d'utilització de les xarxes ferroviàries al servei d'un territori determinat, no van acompanyades d'una disminució dels fluxes del tràfic privat de persones i mercaderies per les seves xarxes viàries. L'increment de competitivitat socioeconòmica que indueixen en aquest territori afavoreix l'emergència de fluxes addicionals.

11.4) L'estalvi energètic en el transport -i la reducció de la contaminació atmosfèrica conseqüent-, provindrà principalment –i més que d'una contenció de la mobilitat física o material- de la utilització de combustibles menys contaminants i la millora de l'eficiència energètica en els motors de combustió, així com del disseny de sistemes de transport públic més eficients i de qualitat

12)

12.1) El sistema jurídic requereix una adequació, en el sentit d'assolir una equiparació entre els dos pols dialèctics: els drets de l'home i els drets de la natura. Al subjecte generador de riscos a través de plans, projectes i productes, li correspon la càrrega de la prova que aquests riscos són assumibles pel medi natural.

12.2) Apart del desplegament de la normativa apropiada, l'Administració ha de concentrar-se en dos aspectes principals: a) l'establiment d'una ordenació territorial que afavoreixi un ús eficient dels recursos naturals i de les energies no renovables, b) l'adopció d'un paper actiu i exemplar en el desenvolupament de les noves tecnologies amb l'adopció de mesures experimentals o pilot i l'adaptació dels parcs mòbils del transport públic, la neteja viària o la recollida d'escombraries.

12.3) En la prestació de serveis i l'aprofitament de les infraestructures, el nou context tecnològic permet anar-se acostant a un seguiment més ajustat de la utilització real per part de l'usuari, possibilitant una imputació de costos que ha de permetre l'establiment, per part de l'Administració, de polítiques fiscals i tarifàries, cada vegada més transparents o objectivades.

13)

13.1) La transició de l'enginyeria convencional vers l'enginyeria sostenible coincideix amb un progressiu decantament de l'accent del primer al segon component en els següents parells antinòmics: permanència /canvi, arbre /matriu, ordre /caos, matèria /energia, estàtic /dinàmic, àmbit o zona /xarxa, simetria /assimetria, equilibri /desequilibri, reversible /irreversible, element /interacció, partícula /fluxe, dependència /correlació, estabilitat /inestabilitat, llei /autoregulació, independència /interdependència, estructura /conjuntura, disseny /funcionalitat, dictat /autoorganització, jerarquia /consens o compromís, què /com, pensar /fer, ésser /esdevenir,...

CAPÍTOL 7: BIBLIOGRAFIA

- Alavedra, Pere et al. (1997):** La construcción sostenible. El estado de la cuestión. A la revista: Informes de la construcción, del Instituto Eduardo Torroja. Madrid.
- Alberti, M. (1996):** Measuring urban sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, v16 n 4-6, Jul-Nov 1996, p. 381-424.
- Alberti, M. i Suskind, L. (1996):** Managing urban sustainability: an introduction to this special issue. *Environmental Impact Assessment Review*, v16 n 4-6, Jul-Nov 1996, p. 213-221.
- Alió, M.A. (1995):** El discurso ambiental en la gestión urbana: del urbanismo ecológico a las ecoauditorías municipales. *Revista de Geografía*, vol. XXIX, nº1, enero-junio 1995, pp.21-35.
- Antoñanzas, J.L. (1997):** Energía y medio ambiente en el siglo XXI. *VI Fòrum Energètic. Energia per a un desenvolupament sostenible. Barcelona*, 26,27 i 28 Febrer 1997.
- Arbones, E.A. (1989):** Optimización industrial II. Programación de recursos. Ed. Marcombo cop., Barcelona.
- Autoritat del Transport Metropolità (1997):** La mobilitat quotidiana a la regió metropolitana de Barcelona. *Estudi dels desplaçaments setmanals. Juny 1997.*
- Barceló, M. (1995):** Les tecnologies de la informació i la sostenibilitat. *SOSTENIBLE? Tecnologia, desenvolupament sostenible i desequilibris. Terrassa, 1995.*
- Bernis, J. (1998):** Infraestructures de l'Energia i Planificació territorial a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. *2s Jornades Tècniques sobre Energia. Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya. Barcelona, novembre 1998.*
- Bose, R.K. i Anandalingam, G. (1996):** Sustainable urban energy-environment management with multiple objectives. *Energy*, Vol 21, nº 4, pp.305-318 Ed. Pergamon.
- Briggs, J. i Peat, F.D. (1990):** ESPEJO Y REFLEJO: Del caos al orden. Guía ilustrada de la teoría del Caos y la ciencia de la totalidad. *Editorial Gedisa. Barcelona, 1990.*
- Cádiz, J.C. (1993):** La energía como elemento de planificación del transporte. *Estudios de transportes y comunicaciones nº58. Enero a Marzo de 1993. MOPTMA.*
- Calleja, T. (1993):** Hacia una estrategia energética de base universal. *Política exterior pp.94-104.*
- Carpenter, Stanley (1995):** Desenvolupament i "sostenibilitat forta". *SOSTENIBLE? Tecnologia, desenvolupament sostenible i desequilibris. Editorial Icària. p. 49-60. Terrassa, 1995.*
- CIB (International Council for Building Research Studies and Documentation) (1998):** Actes del "CIB World Building Congress 1998". 7-12 juny. *Gavle, Suècia.*
- CME (Consejo Mundial de la Energía) (1993):** Energía para el mundo del mañana. Realidades, opciones, objetivos. *Comité Español del CME. Ed. Tabapress. Madrid 1993.*
- CMMA (Comisión Mundial del Medio Ambiente de las Naciones Unidas) (1992):** Nuestro Futuro Común. *Editorial Alianza. Madrid.*
- CNUMAD (1992):** AGENDA 21: l'aliança global per al medi ambient i el desenvolupament. *Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Barcelona 1995.*
- Constanza, R. i Patten, B. (1995):** Defining and Predicting Sustainability. *Ecology Economy 15, pp 193-196.*

- Cortina, J. (1995):** La planificación energética en España. *Economía Industrial* nº302, pp 45-70. Febrer 1995.
- Daly, H. (1991):** Criterios operativos para el desarrollo sostenible. *Debats* 1991, (35-36): 38-41, 7 ref.
- Daly, H. (1992):** Crecimiento sostenible : Un teorema de la imposibilidad. *Documentación social* 1992 (89): 33-40, 7 ref.
- Declaració de Rio (1992):** Conferència de les Nacions Unides sobre medi ambient i desenvolupament. *Rio de Janeiro del 3-14 de Juny de 1992*.
- DG XVII (1995):** Energía para el futuro: fuentes de energía renovables. *Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios. Comissió de la Unió Europea*.
- Diver, R. et al. (1993):** Solar-Thermal electric technology. Renewable energy, sources for fuels and electricity. *Johansson, Kelly, Reddy and Williams (ed), p.213-296. Earthscan Publications Ltd. London*.
- DOE (1991):** La evolución de las tecnologías. *Departamento de Energía de los EUA*.
- Doñate, I. (1995):** La normativa sobre la energía. *Revista Medi Ambient, Tecnologia i Cultura. Generalitat de Catalunya*.
- Douglas i Moreira (1993):** Hidropower and its constraints. Renewable energy, sources for fuels and electricity. *Johansson, Kelly, Reddy and Williams (ed), p.73-120. Earthscan Publications Ltd. London*.
- Dupuy, G. (1997):** L'urbanisme de les xarxes. *Oikos Tau*.
- Dupuy, G. (1987):** Systèmes, réseaux et territoires. *Presses de l'école nationale de ponts et chaussées*.
- Elías, X. (1997):** Els residus com a font d'energia. *Seminari d'introducció al Medi Ambient. UPC- Departament de Medi Ambient. Desembre de 1997, Barcelona*.
- Fargas, J.M. i Papazian (1992):** Modelació de fenòmens caòtics a escala urbana, fase 1: bases del model de simulació d'ús del sòl. *Barcelona, 1992*.
- Faucheux, Sylvie et al.(editors)(1996):** Models of Sustainable Development. *Edward Elgar Publishing. Cheltenham, UK*.
- Fleissner, P. i Hofkirchner, W. (1995):** Entropy and its implications for sustainability. <http://igw.tuwien.ac.at/igw/Personen/Fleissner/papers/Entropy/Entropy.html> (24K)
- Folch, R.(1998):** Balanç de recursos i problemes ambientals a l'Àrea de Barcelona. *Barcelona Regional. CD-ROM Versió beta / març 1998*.
- Folch, R.; Cleveland, C.; Martí, F. (1997):** Sostenibilitat. *Revista Medi Ambient, nº 17, abril. Barcelona*.
- Franco, N. (1995):** Auditorías ambientales municipales: Eines de gestió locals per assolir ciutats sostenibles i saludables. *Congreso Internacional "Tecnología, Desarrollo Sostenible y Desequilibrios" Terrassa (Barcelona) 14-16 de Septiembre de 1995*

- García, J. (1995):** Els sistemes estacionaris com a models de sostenibilitat per a la seva minimització de producció entròpica. *Congreso Internacional "Tecnología, Desarrollo Sostenible y Desequilibrios" Terrassa (Barcelona) 14-16 de Septiembre de 1995*
- Georgescu-Roegen, Nicolas (1971):** The Entropy Law and the Economics Process. *Harvard University Press. Cambridge, MA.*
- Gleick, J. (1988) :** CAOS : la creación de una ciencia *Ed. Seix Barral. Barcelona 1988*
- Graham, John D. (1997):** The Greening of the Industry. *Harvard University Press. London.*
- Hardin, G. (1968):** The tragedy of the commons. *Revista Science, vol. 162*
- Hartley, P.(1993):** Sustainable engineering: Resource load carrying capacity and K-phase Technology . *FOCUS, vol 4, nº2*
- Hayles, N.K., (1993):** La evolución del Caos. El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas. *Editorial Gedisa.*
- Hillier i Lieberman (1993):** Introducción a la investigación de operaciones. *Ed. Mc Graw Hill , Mexico D.F.*
- ICAEN (1997):** L'energia solar fotovoltaica: present i futur. *Eficiència Energètica, nº 140 Gener-Març 1997 p. 3-4*
- ICAEN (1998):** Arquitectura i Energia: Ús eficient de l'Energia en el disseny i la construcció d'habitatges. *2s Jornades Tècniques sobre Energia. Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya. Barcelona, novembre 1998.*
- Jimenez, L.M. (1989) :** Medio Ambiente y Desarrollo Alternativo. *Editorial Iepala*
- Jimenez, L.M. (1996):** Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica. Integración medio ambiente- desarrollo y economía-ecología. *Madrid, 1996. Colección Síntesis económica. Serie Actualidad. Editorial Síntesis.*
- Jou, D. i Llebot, J.E. (1989):** Introducción a la termodinámica de procesos biológicos. *Editorial Labor. Barcelona.*
- Jouvenel, H. et al. (1993):** Catalunya a l'horitzó de l'any 2010. *Institut Català de la Mediterrània. Barcelona.*
- Kelly, H. (1993):** Introduction to photovoltaic technology. RENEWABLE ENERGY, Sources for fuels and Electricity. *Johansson, Kelly, Reddy and Williams (ed). Earthscan Publications Ltd, London; p.297-336*
- Kordej-de Villa, Zeljka (1997):** Framework for Sustainable Development of Human Settlements. *Building and the Environment, Second International Conference. París.*
- Laponche, Bernard (1997):** Inventing a Model for Sustainable Development. *Ecodecision, autoum. Montreal.*
- Mannermaa, M. (1993) :** Tolerance and Sustainability via Value Chaos? Alternative Futures Perspectives on Coherence and Chaos. *XIII World Conference of the World Studies Federation. Turku, Finland.*
- Meadows, Donella H. et al. (1994, 3ªedició):** Más allá de los límites de crecimiento. *Ediciones El País/Aguilar. Madrid.*

- Medina, M. (1995):** Sostingut ? Sostenible ? Compatible!. Bases per a un desenvolupament compatible de ciència, tecnologia i cultura. *SOSTENIBLE? Tecnologia, desenvolupament sostenible i desequilibris*. Editorial Icària. p. 92-109. Terrassa.
- Mitjà, A. (1995):** Marc energètic actual. Situació a Catalunya. *Conferència inaugural de les Jornades d'energia. Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya*. Barcelona.
- Mitjà, A. et al.(1998):** Evolució tecnològica i organitzativa en 10 anys d'electrificació rural fotovoltaica a Catalunya. *2s Jornades Tècniques sobre Energia. Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya*. Barcelona, novembre 1998.
- Naredo, J.M. (1998):** Sobre el Origen, el Uso y el Contenido del Término Sostenible. *Internet: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a004.html>*
- Naredo, J.M.(1994):** El funcionamiento de las ciudades y su incidencia en el territorio. *Ciudad y territorio,II* (100-101). *Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente* p.233-249.
- Naredo, J.M.(1995a):** Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a004.html* (42K)
- Naredo, J.M.(1995b):** Sobre la insostenibilidad de las actuales conurbaciones y el modo de paliarla. *http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a007.html* (90K)
- Naredo J.M. i Rueda S. (1995):** La "ciudad sostenible": Resumen y conclusiones. *http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a010.html* (35K)
- Nel·lo, O. (1994):** Dinàmiques Territorials i Mobilitat Urbana a la Regió Metropolitana de Barcelona; Mobilitat urbana i modes de transport; *Ed: Institut d'Estudis Metropolitans de Barcelona*.
- Nicolis, G. i Prigogine, I. (1986):** La estructura de lo complejo. *Alianza editorial*. Madrid, 1994.
- Ortega i Rodríguez (1994):** Manual de Gestión del Medio Ambiente. *Editorial MAPFRE*. Madrid, 1994
- Pallisé, J (1997):** Nous models de planificació energètica i el paper de les energies renovables: problemes actuals i perspectives de futur. *Seminari de introducció al Medi Ambient*. UPC- Departament de Medi Ambient. Barcelona, desembre de 1997.
- Paniagua i Tarancón (1993):** Problemas de la evaluación del impacto ambiental en relación al planeamiento territorial y urbanístico. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía, t.6, 1993, págs. 11-40*.
- Pérez, M. (1998, 10 de febrero):** *Curso de Termodinámica Irreversible*.Internet: <http://www.geocities.com.capecanaverall/hangar/2976/termirre/html>
- Prats, F. (1995):** Sostenibilidad y políticas urbanas y locales: el caso de las ciudades españolas. *http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/Prats.html* (102K).
- PTMB (Proposta - 1998):** Projecte de Pla Territorial Metropolità de Barcelona. *Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Comissió d'Ordenació Territorial Metropolitana. Equip Redactor*.
- PTMB (1998):** El sistema general de serveis tècnics. *Monografia. Equip redactor del Pla Territorial Metropolità de Barcelona*.

- PTMB (1993b):** POLEMÀTICA: Recomanacions per al planejament territorial referents a seguretat. *Monografia. Equip redactor del Pla Territorial Metropolità de Barcelona.*
- Racionero, LI. (1983):** Del paro al ocio. *Anagrama. Barcelona*
- Recio, A. et al, (1995):** Ecologia i territori a Catalunya. Una crítica al Pla Territorial General de Catalunya (PTGC). *Servei de publicacions de la UAB. Bellaterra 1996.*
- Rees,W. i Wackernagel,M., (1996):** Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why are a key to sustainability. *Assessment Review v16 n 4-6 Jul-Nov 1996 p. 223-248*
- Rifkin, J. i Howard, T., (1990):** Entropía, hacia el mundo invernadero. *Editorial Urano. Barcelona 1990.*
- Ripa,I. i Verdú, V. (1995):** Hacer posible el desarrollo sostenible. La evaluación de los efectos sobre el medio ambiente de las políticas, planes y programas. *Congreso Internacional Tecnología, Desarrollo Sostenible y Desequilibrios. Terrassa 14-16 de setembre.*
- Roca, J. dir, (1997):** La distribución espacial de la ocupación en Catalunya 1991-1996. *Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.*
- Rosen, M.A. (1996):** Energy efficiency and sustainable development. *IEE Technology and Society Magazine, Winter 1996/1997.*
- Rodriguez, F. (1998):** Estudio de la gestión del transporte en el ámbito de la región metropolitana de Barcelona bajo el prisma de la sostenibilidad. *Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa.*
- Rodriguez, T. (1991):** Las grandes ciudades: debates y propuestas. *Ed: Colegio de economistas de Madrid. Madrid 1991.*
- Ruano, M. (1995):** La Ciudad Relacional: Un modelo de eco-urbanismo para una ciudad sostenible. *Congreso Internacional Tecnología, Desarrollo Sostenible y Desequilibrios. Terrassa, setembre de 1995.*
- Rueda, S. (1994):** El ecosistema urbano y los mecanismos reguladores de las variables autoregenerativas. *Ciudad y territorio,II (100-101). Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente p.251-263.*
- Rueda, S. (1995a):** Ecología Urbana. Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents. *Editorial Beta. Barcelona.*
- Rueda, S. (1995b):** La ciudad compacta y diversa frente a la conurbación difusa. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a009.html> (64K).
- Rueda, S. (1995c):** Metabolismo y complejidad del sistema urbano a la luz de la ecología. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a008.html> (59K)
- Serrano, F. (1995):** Energías renovables, industria y medio ambiente. *Economía Industrial, Mayo-Junio 1994*
- Serratosa, Albert (1979):** Objetivos y metodología de un plan metropolitano: la revisión del Plan Comarcal (1953) de Barcelona. *Oikos-Tau.*

- Smith, R. (1993):** Wind energy: Technology and economics. RENEWABLE ENERGY, Sources for fuels and Electricity. *Johansson, Kelly, Reddy and Williams (ed). Earthscan Publications Ltd, London; p.157-212.*
- Snow, C. P. (1959):** The Two Cultures and the Scientific Revolution. *Cambridge University Press. New York*
- Subirà, Antoni (1994):** La contribució de la política energètica del departament d'indústria i energia a la millora del sistema energètic. *V Fòrum Energètic, novembre de 1994. Barcelona.*
- Tamames, Ramon (1977):** Ecología y Desarrollo. La polémica sobre los límites del crecimiento. *Alianza Universidad. Madrid.*
- Tamames, Ramon (1995):** Ecología y Desarrollo Sostenible. *Alianza Editorial. Madrid.*
- UE (1992):** CAP A UN DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE: programa de la Comunitat Europea sobre política i acció en relació al medi ambient i al desenvolupament sostenible: una proposta de la Comissió de les Comunitats Europees. *Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Març del 1992. Barcelona.*
- UE (1995):** Proyecto ciudades sostenibles. *Grupo de Expertos del Medio Ambiente Urbano. Dirección General XI.*
- Von Weizsäcker, E.U. (1995):** Factor 4, duplicar el bienestar - Usar la meitat dels recursos naturals. *SOSTENIBLE? Tecnologia, desenvolupament sostenible i desequilibris. Editorial Icària. p. 49-60. Terrassa.*