

**Universitat Politècnica de Catalunya**

Institut de Recerca en Ciències i Tecnologies de la Sostenibilitat

Programa de doctorat en Sostenibilitat, Tecnologia i Humanisme

Tesis doctoral

**INTEGRACIÓ D'EINES I MÈTODES DE LA MESURA DE LA SOSTENIBILITAT  
D'UN TERRITORI EN UN SISTEMA D'INFORMACIÓ**

**Jordi Bofill i Abelló**

Directors

**Cristina Barrado Muxí**

**José Juan de Felipe Blanch**

2012



## AGRAÏMENTS

A tu, Isabel, als nostres fills Alba i Dídac i a vosaltres amics i amigues, què per ser-ho haureu de suportar que no us mencioni un a un ;-). Espero poder retornar-vos les hores que he estat absent.

Perquè una experiència pugui esdevenir conscient cal que sigui comprensible en termes de les categories en que està organitzat el pensament conscient. Només puc ésser conscient d'un fet, interior o exterior al meu jo, si el puc relacionar amb el sistema de categories amb què percebo. Algunes d'aquestes categories, com el temps i l'espai, poden ésser universals i constituir categories de percepció comunes a tots els homes. D'altres, com la causalitat, poden ésser una categoria vàlida per a moltes, però no per a totes les formes de percepció conscient. D'altres categories són encara menys generals i difereixen de cultura a cultura. Per exemple, en una cultura preindustrial els homes poden no percebre certes coses en termes de llur valor comercial; en canvi, les perceben d'aquesta manera en un sistema industrial. En tot cas, l'experiència només pot esdevenir conscient si pot ésser percebuda, relacionada i ordenada en termes d'un sistema conceptual i les seves categories. Aquest sistema és un resultat de l'evolució social. Cada societat, per la seva pròpia pràctica vital i pel mode de relació, de sentiment i de percepció, crea un sistema o unes categories que determinen les formes de consciència. Aquest sistema opera, per dir-ho així, com un filtre socialment condicionat: l'experiència no pot esdevenir conscient si no passa a través d'aquest filtre. [...]

En general, es pot dir que una experiència ben poques vegades esdevé conscient si el llenguatge no té un mot per a expressar-la.

Erich Fromm, *Marx i Freud*, 1967



**Breu resum** Es realitza una recerca aplicada en els camps de la mesura de la sostenibilitat d'un territori, i dels sistemes d'informació, estudiats com un sistema complex. D'una banda, s'analitzen les eines i els mètodes aplicats en els estudis de sostenibilitat d'un territori (variables, indicadors, models conceptuals, etc.) i, d'altre banda, els conceptes i les eines informàtiques actuals. La tesi amplia els conceptes de variables i valors, i estableix mètodes per integrar la informació estructural d'un territori, així com per resoldre el càlcul de valors de variables derivades, mitjançant una sintaxis que permet descriure i executar fórmules i programes de càlcul. Es desenvolupa un disseny de la base d'informació, amb els tipus d'entitats que intervenen (territori, models conceptuals, variables, valors i fonts de dades) i alguns dels processos principals, enfocada a grups multidisciplinaris de recerca. Es presenten els prototips desenvolupats que s'han aplicat a casos pràctics, utilitzant software lliure.

**Paraules clau.** sostenibilitat, territori, models conceptuals, multidisciplinari, càlcul indicadors, sistema informació, software lliure.

## **Organització de la tesi**

La tesi consta de sis capítols.

En el capítol 1 s'exposa el procés de recerca (la hipòtesi de treball, la metodologia i els objectius), les principals aportacions de la tesi i les investigacions prèvies de sistemes similars.

Els capítols 2, 3 i 4 formen el nucli de la tesi. El capítol 2 exposa els fonaments teòrics i pràctics en què es basa la tesi; en el capítol 3 es presenta un desenvolupament teòric i un aprofundiment d'alguns temes que fa de suport teòric al desenvolupament del sistema d'informació del capítol 4.

En el capítol 5 s'exposa el prototip de l'aplicació i implementacions pràctiques.

Les conclusions del treball de recerca es troben en el capítol 6, el darrer de la tesi, juntament amb les propostes de continuació de la recerca.

En els annexos es recull la informació complementària sobre determinats temes.

El 4 de gener de 2012 s'ha comprovat el funcionament dels enllaços d'internet citats en la tesi.



# Sumari

<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>1</b>
1.1	Motivació . . . . .	1
1.2	Procés de recerca . . . . .	1
1.3	Principals aportacions . . . . .	4
1.4	Investigacions prèvies . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Fonaments teòrics i pràctics</b>	<b>13</b>
2.1	Introducció . . . . .	13
2.2	Informació, sistemes i sistemes d'informació . . . . .	14
2.2.1	Dades, informació i coneixement . . . . .	14
2.2.2	Flux de les dades . . . . .	16
2.2.3	Organitzacions. Procés organitzatiu . . . . .	18
2.2.4	El món percebut . . . . .	22
2.3	Sostenibilitat . . . . .	23
2.3.1	Introducció: àmbit de recerca en sostenibilitat . . . . .	24
2.3.2	Complexitat . . . . .	25
2.3.3	Sistemes, sistèmica i complexitat . . . . .	27
2.3.4	Escales temporals i espacials i nivells d'organització . . . . .	29
2.3.5	Modelització . . . . .	29
2.3.6	Recerca interdisciplinària . . . . .	30
2.4	El software en el context de la sostenibilitat . . . . .	31
2.4.1	Software lliure . . . . .	31
2.4.2	Software lliure i sostenibilitat . . . . .	32
2.4.3	Recerca científica i desenvolupament de software . . . . .	33
2.5	Eines de mesura de la sostenibilitat . . . . .	34
2.5.1	Mesura . . . . .	34
2.5.2	Eines de mesura i coneixement . . . . .	36
2.6	Models conceptuals . . . . .	40
2.7	Organitzacions per a la Sostenibilitat . . . . .	49
2.7.1	Mecànica de realització dels estudis de sostenibilitat . . . . .	51

<b>3</b>	<b>Desenvolupament teòric</b>	<b>55</b>
3.1	Classificació d'indicadors . . . . .	55
3.2	Principis i criteris de sostenibilitat. Variables dependents del model conceptual . . . . .	57
3.2.1	Definicions de tipus de variables . . . . .	59
3.2.2	Definicions de tipus de valors. Valors agregats . . . . .	62
3.2.3	Característiques de les variables i dels valors . . . . .	63
3.3	Fonts de dades . . . . .	64
3.3.1	Fonts de dades a internet . . . . .	64
3.3.2	Altres sistemes de divulgació d'informació a nivell de països . . . . .	66
3.3.3	Mètodes existents de publicació de dades dels projectes de recerca. . . . .	66
3.3.4	Sèries temporals de sostenibilitat . . . . .	68
3.4	Estructura organitzativa d'un territori. Característiques. . . . .	69
3.5	Pensament sistèmic i sistema d'informació . . . . .	73
<b>4</b>	<b>Desenvolupament del sistema d'informació <i>bofree</i></b>	<b>77</b>
4.1	Constreyniments generals . . . . .	77
4.2	Base d'informació . . . . .	79
4.2.1	Territori . . . . .	80
4.2.2	Models conceptuals . . . . .	87
4.2.3	Variable . . . . .	88
4.2.4	Valors . . . . .	94
4.2.5	Font de Dades . . . . .	101
4.2.6	Comparativa entre els models ODM i <i>bofree</i> . . . . .	102
4.3	Processos del sistema d'informació . . . . .	102
4.3.1	Selecció de dades . . . . .	103
4.3.2	Visualització de dades . . . . .	105
4.3.3	Intercanvi de valors amb aplicacions externes . . . . .	109
4.3.4	Processos d'actualització de valors. Administració del sistema. . . . .	109
4.4	Mètode de càlcul de valors de variables derivades . . . . .	112
4.4.1	Expressió de càlcul . . . . .	113
4.4.2	Operació de Càlcul . . . . .	114
4.4.3	Variables Operació de Càlcul . . . . .	116
4.4.4	Càlcul recursiu . . . . .	121



<b>5</b>	<b>Aplicació pràctica</b>	<b>127</b>
5.1	Desenvolupament . . . . .	127
5.2	Esquema URL . . . . .	128
5.3	Implementacions i estudi de models . . . . .	131
5.3.1	Implementacions . . . . .	131
5.3.2	Estudi de models . . . . .	135
5.4	Software de desenvolupament, base i complementari . . . . .	149
<b>6</b>	<b>Conclusions</b>	<b>155</b>
6.1	Continuació de la recerca . . . . .	157
<b>7</b>	<b>Referències</b>	<b>159</b>
<b>A</b>	<b>Recull de definicions</b>	<b>165</b>
<b>B</b>	<b>Ampliació de fonaments teòrics i pràctics</b>	<b>166</b>
B.1	Organitzacions per a la sostenibilitat . . . . .	166
B.2	Proces de desenvolupament de software . . . . .	169
B.3	Sistemes d'informació geogràfica . . . . .	171
B.3.1	Relacions entre dues geometries . . . . .	172
B.3.2	Mètodes d'Anàlisi Espacial. Operacions entre geometries . . . . .	174
B.3.3	Reducció del nombre de punts dels multipolígons dels mapes temàtics . . . . .	174
B.4	Web Semàntica. RDF . . . . .	176
B.4.1	Conceptes bàsics . . . . .	178
B.5	Definicions per a modelització d'aplicacions informàtiques. . . . .	179
<b>C</b>	<b>Programes i funcions</b>	<b>182</b>
C.1	Paraules clau del llenguatge base. Noms territorials genèrics. Gestió multiidioma . . . . .	182
C.1.1	Internacionalització. Multiidioma . . . . .	182
C.1.2	Paraules clau del llenguatge base . . . . .	182
C.1.3	Transformacions entre noms territorials i noms territorials genèrics . . . . .	183
C.2	Operacions principals . . . . .	186
C.2.1	getValor . . . . .	186
C.2.2	getAgregat . . . . .	188
C.2.3	valorNumAgregat . . . . .	189
C.2.4	calValor . . . . .	191
C.3	Suport . . . . .	191

<b>D</b>	<b>FP7 Projecte SMILE</b>	<b>194</b>
D.1	ASA . . . . .	195
D.2	Chained two-factor decomposition . . . . .	196
D.3	Self-evaluation of the ASA approach . . . . .	196

## Índex de figures

1	<i>Dashboard</i> per a la Sostenibilitat . . . . .	5
2	Model de dades de l'ODM de CUAHSI <i>Hydrologic Information System</i> . Els camps que són claus primàries de cada taula s'indiquen amb l'etiqueta {PK}. Les claus externes, amb l'etiqueta {FK}. Les línies entre taules mostren relacions: nom de la relació, la cardinalitat i la direccionalitat de la relació. Font: Horsburgh i col. (2008). La darrera versió es pot obtenir de la URL <a href="http://his.cuahsi.org/images/ODM1_1SchemaDiagram_md.jpg">http://his.cuahsi.org/images/ODM1_1SchemaDiagram_md.jpg</a> . . . . .	7
3	SEAMLESS. Escenari de models, indicadors i nivells territorials implicats segons determinades propostes polítiques. . . . .	8
4	Models utilitzats per SEAMLESS-IF, situats en una matriu nivell territorial/dimensió de sostenibilitat. Les fletxes entre models indiquen una dependència. . . . .	9
5	Ontologia de granges, terreny i clima definida per a SEAMLESS-IF. . . . .	9
6	Cicle d'aprenentatge en què teoria i pràctica es creen l'una a l'altra. . . . .	13
7	Resultats de cercar les paraules <i>data</i> (a i b) i <i>information</i> (c) al Visual Thesaurus. . . . .	15
8	Procés de conversió entre dades, <i>capta</i> , informació i coneixement. Figura adaptada de Checkland i Holwell (1998). . . . .	16
9	Diagrama de flux de dades i metadades. Elaboració pròpia. . . . .	16
10	Model simple. . . . .	18
11	Models organitzatius des del punt de vista dels SI. Figures adaptades de Checkland i Holwell (1998). . . . .	19
12	Model dels processos per als significats de l'organització. Font: Checkland i Holwell (1998). . . . .	21
13	Percepció del món físic. . . . .	22
14	Canvis d'escala espacials i temporals en canviar de nivell organitzacional. Font: Ewert i col. (2006). . . . .	28
15	Piràmide de dades de Hammond. A la base hi ha les dades primàries, a partir de les quals s'obtenen les dades analitzades, els indicadors i els índexs. Font: Hammond i col. (1995). . . . .	37
16	A l'esquerra, piràmide de dades adaptada de Hammond i col. (1995), on hem anomenat "variables" la capa "dades analitzades". A la dreta, en vertical, el procés de conversió de dades en coneixement de Checkland i Holwell (1998) corresponen a la figura 8 a la pàgina 16. . . . .	37
17	El triangle de Hammond de l'esquerra es pot transformar en el triangle invertit de la dreta, a causa de l'abús en la generació d'índexs i d'indicadors a partir d'un nombre limitat de dades primàries. Font: Winograd i Farrow (2004). . . . .	40
18	Podem visualitzar els models conceptuals com a diferents piràmides de dades de Hammond i col. (1995), amb unes dades base comunes, amb els pics que se separen en funció dels criteris i objectius. A la dreta, en vertical, procés de conversió de dades en coneixement de Checkland i Holwell (1998) corresponen a la figura 8 a la pàgina 16. . . . .	41
19	Model P-S-R. Font: OCDE (1993). . . . .	42

20	Model DPSIR . . . . .	43
21	Esquema DPSIR genèric per a l'eutrofització antropogènica sueca de l'agricultura en el mar Bàltic. Font: Ness, Anderberg, i Olsson (2010). . . . .	44
22	DPSIR dels canvis en l'ús de terres agrícoles a la conca del riu Lamone al nord d'Itàlia. Font: Benini i col. (2010). . . . .	44
24	Model conceptual del Grup Balaton Bossel (1999). . . . .	46
23	Triangle de Daly. . . . .	46
25	Model conceptual de Gallopín (ESALC). . . . .	47
26	Model Monet. Font: Altwegg, Roth, i Scheller (2004) . . . . .	48
27	Model del CST. Font: Antequera (2009). . . . .	50
28	Indicadors compartits per dos models conceptuals (indicadors 4 i 5) i un indicador utilitzat en dues àrees diferents d'un mateix model (indicador 6). . . . .	56
29	Interacció entre els principis de sostenibilitat i les variables. Elaborat a partir d'Antequera (2005) i Antequera (2009, en línia). . . . .	57
30	Influència dels criteris de sostenibilitat en la definició dels indicadors. . . . .	60
31	Piràmide de variables per a estudis de sostenibilitat. . . . .	61
32	Altres sistemes de divulgació d'informació. . . . .	67
33	Mesures característiques dels valors d'una sèrie temporal. . . . .	68
34	Graf dels països del món en què s'ha utilitzat l'estructura organitzativa de les Nacions Unides. Al cercle exterior hi ha els països enllaçats amb les subregions (p.e. Amèrica de Sud, Àfrica central, etc.), les quals alhora esta enllaçades amb la seva regió o continent. El punt central representa la Terra. . . . .	70
35	Graf de la divisió territorial de la comunitat autònoma de Catalunya. El punt central representa Catalunya; els punts del cercla més proper al central, les quatre províncies; l'anell següent, les 41 comarques, i, finalment, els punts del cercle exterior, els 946 municipis. . . . .	70
36	Divisions administratives de la República Federal d'Alemanya (autor: David Liuzzo per a wikipedia.com) . . . . .	72
37	Ubicació del sistema d'informació <i>bofree</i> en el diagrama de processos i flux de dades del cicle de dades. . . . .	77
38	Esquema de classes UML de l'estructura d'informació d'un full utilitzat en un estudi. . . . .	78
39	Diagrama de paquets d'un SI, utilitzant el model Bossel en el territori de Catalunya. . . . .	78
40	Diagrama de paquets d'un SI en què s'utilitzen diversos models conceptuals en diferents territoris. . . . .	79
41	Esquema base del sistema d'informació, amb els tres paquets, les principals entitats i les relacions. No s'hi mostren els atributs ni les operacions, ni les entitats que són del tipus enumeració o subclasses geomètriques. . . . .	80

42	Esquema complet de la base d'informació. . . . .	81
43	Exemples d'organitzacions i divisions territorials, amb unes possibles definicions d'identificadors interns: (a) Món (b) Espanya i (c) Catalunya. . . . .	82
44	Estructura organitzativa de la divisió del planeta de la figura 43a, en que s'ha utilitzat una nomenclatura genèrica i s'ha assignat un pes per al càlcul de valors agregats. . . . .	83
45	Graf RDF territori de l'estructura territorial de Catalunya segons l'estructura organitzativa de la figura 43c. Les el·lipses són recursos, els quadrats són literals i les fletxes són propietats. . . . .	86
46	Esquema <i>Model</i> , <i>AreaConceptual</i> i <i>Variable</i> . . . . .	87
47	Esquema de classes UML del paquet Model. . . . .	89
48	Esquema UML de la classe Variable del paquet Dades. . . . .	89
49	Relació recursiva <i>calValor</i> , entre variables i variables derivades. . . . .	92
50	Els tipus d'entitats corresponents a valors, situats a les piràmides de variables: Valors Base, Valors Derivats Independents, Valors Derivats, Valors Agregats Independents i Valors Agregats. A l'esquerra, valors corresponents al territori base i a la dreta, els valors agregats de la resta de subdivisions territorials. . . . .	94
51	Associacions entre les classes <i>ValorBase</i> , <i>Variable</i> , <i>Territori</i> i <i>Font</i> . . . . .	95
52	Associacions entre les classes <i>ValorBase</i> , <i>Variable</i> , <i>Territori</i> i <i>Font</i> , amb <i>GeoBase</i> com a subclasse de <i>ValorBase</i> . . . . .	97
53	Esquema de relacions entre els tipus <i>Variable</i> , <i>CriteriSostenibilitat</i> , <i>ValorDerivat</i> , <i>GeoDerivat</i> i <i>Territori</i> . . . . .	97
54	Generalització de l'esquema, en què el territori pot ser qualsevol territori diferent del territori base (00). . . . .	99
55	Tipus d'entitat <i>ValorAgregatIndep</i> i <i>ValorDerivatIndep</i> calculats en temps real i corresponents als valors de variables independents del model conceptual. . . . .	99
56	Funcionament esquemàtic de l'aplicació. . . . .	102
57	Selecció de variables. Es mostren les variables derivades i les variables base per a les quals hi ha valors base. . . . .	104
58	Consulta de les dades de Sudàfrica. Cada pestanya correspon a una àrea del model conceptual triat. En primer terme es mostren la informació geogràfica de les variables gràfiques (en el cas de la figura, la frontera i l'EEZ). . . . .	105
59	Visualització dels gràfics de sèries temporals i gràfics circulars, agrupats per territoris. . . . .	106
60	Mapa temàtic de les zones exclusives de pesca (EEZ) d'alguns països d'Amèrica Central, segons els quartils de la densitat de població. . . . .	107
61	Mapa temàtic dels residus dels municipis de la província de Girona, segons quartils. El mapa de fons és de Google Satellite. . . . .	108
62	A l'esquerra llista de classes dels sistemes d'informació. A la dreta, modificació de les dades d'una variable. . . . .	110

63	Procès d'administració de valors mitjançant fulls de càlcul. . . . .	111
64	Fulls de càlcul generats pel sistema per altes masives i per descarregar dades. . . . .	111
65	Identificació dels valors independents del model. . . . .	117
66	Donada una Variable derivada, un territori i un any, camins possibles per obtenir els valors de les VOC. En vermell, blau i taronja els camins per obtenir valors de referència, valors agregats i valors del territori base, respectivament. . . . .	120
67	Variables que intervenen en el càlcul de la capacitat de càrrega d'un territori. . . . .	123
68	Esquema en arbre de l'organització en URL del prototip desenvolupat. . . . .	129
69	Quartils de l'Índex d'atur de la dona als municipis de l'Empordà l'any 2006. . . . .	133
70	Quartils del percentatge de població immigrada a l'Empordà el 2006. . . . .	134
71	Visualització d'una selecció de dades mitjançant el GPDE. . . . .	135
72	Índex de dany degut a la densitat de població ( <i>d</i> ). . . . .	137
73	Graf del procés de càlcul de la població logística de Verhulst. . . . .	140
74	Graf complet del procés de càlcul de la població logística de Verhulst. . . . .	141
75	Sèries temporals per Espanya de la població real, evolució de la població segons Verhulst i la capacitat de càrrega segons els models A, B i C. . . . .	142
76	Model conceptual A: capacitat de càrrega, població i estimació de població Verhulst per alguns països del món. . . . .	143
77	Model conceptual B: capacitat de càrrega, població i estimació de població Verhulst per alguns països del món. . . . .	144
78	Model conceptual C: capacitat de càrrega, població i estimació de població Verhulst per alguns països del món. . . . .	145
79	Graf de càlcul complet de l'equació <i>CO2/TPES</i> . . . . .	147
80	Graf de càlcul simple de l'equació <i>GDP/POP</i> . . . . .	148
81	Funcionament d'un model MVC. . . . .	151
82	Model en V del procés desenvolupament de software. Font: (Osborne i col., 2005). . . . .	169
83	Les dues dimensions del prototipatge: el prototipatge manté les característiques però elimina la profunditat de les funcionalitats, i el prototipatge vertical proporciona totes les funcionalitats per a unes poques característiques. (Nielsen, 1993) . . . . .	170
84	Estructura dels tipus de geometries definits per l'OGC. Font: Ryden(Editor) (2005). . . . .	172
85	Exemples de dades geomètriques de característiques simples ( <i>Simple Features</i> ). Font: JTS Topology Suite (2003, en línia). . . . .	173
86	Operacions entre geometries. Font: <i>JTS Topology Suite</i> (2003) . . . . .	175
87	Capes de la web semàntica . . . . .	177
88	Enllaços RDF entre les dades de fonts de dades diferents . . . . .	177

89	Comprovació de la cardinalitat. Elaboració a partir de Olivé (2007). . . . .	181
90	Esquema del procés d'obtenció del valor d'una variable, realitzat per l'operació <i>Variable::getValor</i> . . . . .	187
91	Esquema del procés de l'operació <i>calValor</i> d'una <i>Variable</i> . . . . .	192

## Índex de taules

1	Vista parcial de la taula <i>Observations Data Model Attributes Associated with an Observation</i> . Font: Horsburgh i col. (2008) . . . . .	6
2	Algunes revistes situades en el primer o segon quartils de la JCR o de SCORPUS. . . . .	26
3	Característiques diferenciadores dels models desenvolupats per la recerca científica i per l'anàlisi i l'estudi de polítiques. Font: Oxley i col. (2004). . . . .	29
4	Mètodes d'alguns índexs de DS en relació amb l'escala, la normalització, el pes i l'agregació. Font: Böhringer i Jochem (2006), vista parcial. . . . .	36
5	Eixos d'avaluació de la qualitat d'un indicador. Font: Barjak (2003). . . . .	39
6	Exemple de test d'avaluació d'un indicador. Amplada de banda disponible entre centres de recerca. . . . .	39
7	Indicadors pr al model DSPiR dels impactes de les forces socioeconòmiques sobre l'ecosistema marí del mar Negre. Font: Langmead i col. (2009). . . . .	45
8	Subsistemes i tipus d'indicadors del model conceptual de Bossel. . . . .	47
9	Model conceptual de Gallopín. Indicadors de l'Informe de sostenibilitat de Catalunya 2006 (Felipe i col., 2008). . . . .	48
10	Vista parcial de triplets (subjecte, predicat, objecte) de l'estructura territorial de Catalunya. . . . .	86
11	Atributs del paquet Model. . . . .	90
12	Atributs de la classe Variable. . . . .	91
13	Classes tipus <i>Enumeració</i> de <i>bofree</i> . . . . .	92
14	Possibles accions que l'investigador pot escollir per al càlcul de valors de variables derivades o per a l'agregació de valors. Els valors de variables derivades independents es desen a <i>ValorBase</i> ; els valors de les variables dependents a <i>ValorDerivat</i> , i els valors agregats, a <i>ValorAgregat</i> . . . . .	98
15	Atributs de les classes <i>ValorBase</i> , <i>ValorAgregat</i> i <i>ValorDerivat</i> i de les subclasses geomètriques. . . . .	100
16	Atributs de la classe Font. . . . .	101
17	Valors retornats pel sistema d'informació, per a un territori i variables determinats, segons la prioritat de les fonts de dades. . . . .	101
18	Valors en funció del territori i del tipus de variable. . . . .	116

19	Valors de referència utilitzats pels model conceptuals A, B i C . . . . .	138
20	Índex TIOBE maig del 2011. Indicador de la popularitat dels llenguatges de programació. . .	150
21	Principals paraules clau que utilitza el sistema en la seva nomenclatura interna i una possible traducció. . . . .	183
22	Traducció entre la nomenclatura genèrica del sistema i la nomenclatura real del territori en diversos idiomes per a les organitzacions del món i de Catalunya (figura 43). . . . .	186

## Llista d'algorismes

1	Sintaxis d'una expressió de càlcul d'una variable de càlcul. . . . .	114
2	Percentatge de dones respecte la població total. . . . .	114
3	Sintaxi de una OC d'un programa. . . . .	114
4	Sintaxi de la OC d'una geometria. . . . .	115
5	Sintaxis per identificar valors ( [] s'indiquen opcions). En 'EC s'escriuen en una sola línia separats per una barra vertical ( ). . . . .	116
6	Percentatge de població femenina de Girona l'any 2005 segons la font de dades Idescat. . . .	117
7	Percentatge de la població de dones respecte la població de dones de la província de Girona. . .	118
8	Exemple d'EC amb dades geomètriques. . . . .	118
9	Sintaxis per a identificar un valor de referència d'un criteri de sostenibilitat. . . . .	118
10	Semàfor indicador de $CO_2$ amb valors de referència que depenen de l'àrea conceptual. . . .	119
11	EC de la variació anual de la població de dones. . . . .	122
12	Variació lineal de la variable producció, en funció de l'increment anual i dels anys transcorreguts des de l'any base del model conceptual actiu. . . . .	122
13	Taxes en funció del territori i situació regional. . . . .	122
14	Capacitat de càrrega d'un territori. . . . .	122
15	Índex atur de la dona. . . . .	133
16	Variació anual de població en %, base 1990 . . . . .	133
17	Expressió de càlcul corresponen a l'equació de la població logística 1. . . . .	139
18	Expressió de càlcul de la capacitat de càrrega segons l'equació 3. . . . .	139
19	expressió de càlcul del dany ecològic segons l'equació 4 . . . . .	139
20	Variable POP en el sistema <i>bofree</i> , corresponent a l'equació $X_4$ de 9 a la pàgina 196. . . . .	148
21	Variable <i>Ra</i> de l'algorisme 20 a la pàgina 148, amb lambda 0,5. . . . .	148



## Glossari

- CDI Índex de desenvolupament de les Ciutats  
<http://ww2.unhabitat.org/istanbul+5/116.pdf>
- CDS Comissió sobre el Desenvolupament Sostenible de les Nacions Unides.  
<http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd.htm>
- CUS Càtedra UNESCO de Sostenibilitat del Universitat Politècnica de Catalunya
- DS Desenvolupament Sostenible
- DSPL Dataset Publishing Language
- EC Equació de càlcul de les variables derivades
- EEA European Environment Agency. Agència Europea de Medi Ambient
- GPDE Google Public Data Explorer
- Graf Representació abstracta d'un conjunt d'objectes on alguns parells dels objectes estan connectats per enllaços
- HDI Índex de Desenvolupament Humà  
<http://hdr.undp.org/en/statistics/indices/hdi/>
- IDESCAT Institut Català d'Estadística, <http://www.idescat.cat>
- INE Instituto Nacional de Estadística
- JCR Journal Citation Reports
- LPI Índex del planeta viu  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Living\\_Planet\\_Index](http://en.wikipedia.org/wiki/Living_Planet_Index)
- MVC patró de desenvolupament Model-Vista-Controlado
- NU Nacions Unides  
<http://www.un.org/>
- OC Operació de Càlcul de les variables derivades
- OCDE Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament
- OGC Open Geospatial Consortium.  
[www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)
- OWL Web Ontology Language
- RDF Resource Description Framework  
<http://www.w3.org/2001/sw/>
- SI Sistema d'Informació

- SIG Sistema d'Informació Geogràfic
- SQL Structured Query Language o Llenguatge d'interrogació estructurat
- SRID Spatial Reference System Identifier, valor que identifica una definició d'un sistema de coordenades espacial.
- TIC Tecnologies de la Informació i de la Comunicació
- UML Unified Modeling Language (Llenguatge de Modelat Unificat) és un llenguatge per especificar, dissenyar, construir i documentar sistemes.
- UPC Universitat Politècnica de Catalunya
- URL Uniform Resource Locator, adreça única que identifica una pàgina web
- VOC Variables de l'Operació de Càlcul
- W3C World Wide Web Consortium

# 1 Introducció

## 1.1 Motivació

Aquesta recerca neix del fet d'haver participat en alguns estudis de sostenibilitat i constatar que es disposen d'eines per fer càlculs i estudis, però no per compartir dades i processos. Durant el procés d'elaboració dels estudis s'utilitzen fulls de càlcul en què es guarden els valors dels indicadors que es calculen o s'obtenen de fonts externes. Aquests diferents fulls són responsabilitat d'una o diverses persones i es distribueixen en funció de l'àmbit de treball (economia, medi ambient, etc.). Posteriorment aquests fulls s'agrupen per elaborar l'informe final. Personalment em va provocar una certa inquietud trobar que, dues o tres setmanes després d'haver introduït unes dades en el meu full, no recordava d'on venien: les havia calculat jo amb algun altre full o les havia descarregat d'algun lloc. El que era pitjor és que no recordava com havia fet el càlcul. Això m'obligava a repetir la cerca i/o el càlcul. Els fulls de càlcul no són fàcils de mantenir i compartir.

Com tots sabem, la sostenibilitat és un objectiu, i un estudi no serveix de gaire si no es pot comparar amb estudis anteriors. Això vol dir que l'any següent o l'altre s'haurà de repetir l'estudi per mostrar els canvis que s'hi han produït. Això em va preocupar encara més: si ja hi havia dificultats per registrar l'origen de cada dada i el procés de càlcul, després d'un any hauria de tornar a començar i em trobaria amb molts problemes per quadrar tota la informació. En aquest punt em vaig plantejar si era possible crear un sistema d'informació per equips de recerca multidisciplinaris per dur a terme estudis de sostenibilitat.

## 1.2 Procés de recerca

### Hipòtesi de treball

Les preguntes que s'han plantejat i que són la base del treball de recerca i la font que alimenta els objectius, són:

1. És possible definir un model de dades per dur a terme estudis de sostenibilitat, aplicable a territoris amb diferents tipologies organitzatives, desconegudes inicialment?
2. Les dades poden evolucionar incorporant noves necessitats i tècniques, re-afectables per a estudis de seguiment posteriors?
3. Pot aquest sistema incorporar les visions de col·lectius d'investigadors d'àmbits de recerca diferents i, possiblement, amb interessos contraposats?

No es planteja una hipòtesi de treball, ja que els sistemes i les tecnologies de la informació no formen part de les "regularitats físiques de l'univers, que poden ser explorades sense ambigüitats mitjançant proves d'hipòtesi" (Checkland i Holwell (1998)).

En el camp de les ciències naturals la recerca es basa en la corroboració d'hipòtesis, en què es busca demostrar l'existència d'unes lleis naturals invariables. Aquestes lleis naturals ja existien abans de la recerca i la recerca el que fa és donar llum a aquestes lleis naturals, i mètodes per corroborar-les. Quan s'inicia una recerca en aquests àmbits, una de les qüestions inicials és formular una hipòtesi de treball verificable.

En el camp de les ciències socials, és a dir, allà on intervenen els éssers humans i les seves organitzacions, poden existir lleis “naturals” per descobrir, però el mateix descobriment d’una d’aquestes lleis “naturals” modifica l’entorn social en què es produïa, per la qual cosa aquesta llei deixa de tenir validesa, si més no, en alguns aspectes determinats o a partir d’un moment determinat. En les ciències naturals el fet de descobrir una llei o teoria no modifica el sistema. No és així en el camp dels sistemes d’informació. Plantejar un sistema d’informació és un acte social que implica la participació, d’una o altra forma, d’agents socials que han de definir i categoritzar processos i dades. Cadascuna de les persones que hi intervenen interpretaran i avaluaran de manera diversa aquests processos i dades, cosa que portarà a la conceptualització de sistemes diferents.

## Metodologia i objectius

La taula següent presenta el resum del marc de coneixement, les metodologies, les àrees d’interès i els objectius:

Marc de coneixement (F)	Desenvolupament sostenible com a ciència postnormal. Complexitat. Dades, metadades i ontologia. Sistemes d’informació.
Metodologia (M)	Estat actual de cada àrea. Ciència postnormal. El pensament sistèmic en el desenvolupament d’un sistema d’informació. Desenvolupament de prototips.
Àrea d’interès (A)	Principis i processos aplicables en la mesura i avaluació de la sostenibilitat. Dades obertes, web semàntica. Software lliure. Eines software utilitzades. Càlcul de variables, indicadors i índexs. Organització territorial.
Objectius (O)	Definicions dels conceptes variables i valors en l’àrea de la sostenibilitat. Mètode de càlcul i agregació de variables. Definició d’una estructura de dades integrada. Integració dels models conceptuals. Validació de la proposta metodològica mitjançant prototips.

El projecte de tesi es titula “Proposta metodològica d’integració d’informació pública i eines informàtiques lliures per a la mesura i la posterior avaluació de la sostenibilitat d’un territori”. En el projecte, el marc de coneixement està format per la concepció del desenvolupament sostenible com un fenomen complex, amb diferents visualitzacions i emmarcat en l’àrea acadèmica i transdisciplinària, i per la representació de la sostenibilitat en l’entorn virtual dels sistemes d’informació.

La base metodològica de recerca en el projecte és l’anàlisi de l’estat de cada àrea de coneixement, l’enfocament a processos i l’enfocament sistèmic. Es proposen dues fases, la de recerca, en què es fa l’estudi, la definició i el disseny, i la de validació, que consisteix en el desenvolupament d’eines software de gestió i en la selecció i aplicació a un cas d’estudi.

Les àrees d’interès inicials del projecte són:

- Els principis i processos aplicables en la mesura i avaluació de la sostenibilitat.
- Models conceptuals per a l'anàlisi de la sostenibilitat
- Dades obertes i el web semàntic.
- Software lliure.
- Eines de software utilitzades.

I els objectius específics són (O):

- Identificació i anàlisi dels processos.
- Definició d'una estructura de dades integrada.
- Integració dels models conceptuals en l'estructura de dades.
- Desenvolupament de mètodes per crear interfícies entre les dades de sostenibilitat i les eines informàtiques.
- Validació de la proposta metodològica mitjançant un cas d'estudi.

L'acció de recerca que es fa a partir del projecte de tesi va comportar:

- Incorporar aspectes de la metodologia d'investigació de la ciència post-normal, és a dir, quan “els factors són incerts, hi ha valors en disputa, els riscos són alts i les decisions són urgents” Funtowicz i Ravetz (1993). Això vol dir que existeixen incerteses tant en els productes com en els processos implicats, i que s'ha d'acollir la diversitat. S'ha invertit el domini tradicional dels “fets durs” (*hard facts*) sobre els “valors suaus” (*soft values*), i que la visió única del món basada en un visió particular de la ciència perd hegemonia.
- Incorporar el pensament sistèmic al desenvolupament del sistema d'informació.
  - En l'àmbit metodològic, com que el sistema d'informació ha de representar un sistema complex, cal procurar conceptualitzar el sistema d'informació com un sistema complex.
  - Davant d'una problemàtica concreta, cal adoptar la resposta que permeti acollir la màxima diversitat, que imposi el menor nombre de constryiments possible al sistema.
  - Tenir present que els experts són els usuaris, no el sistema.
  - Traslladar, sempre que sigui possible, les decisions als actors que hi participen (és a dir, als usuaris).
- Conjuminar teoria i pràctica mitjançant el desenvolupament de prototips. S'adopta una visió global del sistema (dur a terme un “zoom out” del sistema) alhora que es verifica que les solucions són factibles (“zoom in” al sistema).

El marc d'idees no varia (F), però sí la metodologia (M), que incorpora la visió de la ciència post-normal, el pensament sistèmic i el desenvolupament de prototips. Pel que fa a les àrees d'interès (A), incorpora:

- El càlcul de variables, indicadors i índexs.
- Les organitzacions territorials.

Els objectius de la recerca s'amplien:

- Aplicació de mètodes de càlcul i agregació de variables.
- Definicions dels conceptes variables i valors en l'àrea de la sostenibilitat.

I hi ha objectius que perden prioritat durant el procés de recerca:

- Identificació i anàlisi de processos.
- Desenvolupament de mètodes per crear interfícies entre les dades de sostenibilitat i les eines informàtiques.

Aquests objectius queden com a àrees per a treballs futurs.

### 1.3 Principals aportacions

En una àrea de coneixement emergent com és la sostenibilitat, en què hi ha visions, interessos, entorns físics i objectius diferents i de vegades contraposats, aquesta tesi mostra un sistema d'informació que els pot integrar.

La tesi estudia el territori, les dades i els models conceptuals, mostra les relacions existents i proposa mètodes que permet treballar-hi alhora. S'aporten mètodes per definir i integrar el territori amb les seves organitzacions, límits, escales, etc., tot integrant aspectes dels sistemes d'informació geogràfica. La flexibilitat en les definicions de les divisions territorials permet aplicar el sistema a una gran varietat d'estructures organitzatives.

Quant a les dades, difícilment hi haurà un consens general i inamovible sobre quines són les més adients, i s'aporta un mètode que permet definir i calcular qualsevol tipus d'indicador, índex o variable, ja siguin numèrics, textuais o geomètrics. Es defineixen els diferents conceptes de variables i de valors i s'estudia la relació d'aquests amb els valors dels models conceptuals (valors de referència, llinars...) i l'agregació de valors segons els nivells territorials.<sup>1</sup>

La tesi mostra com es poden utilitzar concurrentment marcs conceptuals diferents, fins i tot quan els objectius són diferents. Encara que es consensuin algunes dades bàsiques i alguns processos de càlcul, els membres del grup tindran llibertat per utilitzar dades i processos de càlcul específics propis. A través dels criteris de sostenibilitat s'aporta la possibilitat d'introduir judicis de valor, ponderacions o valors de referència que poden provocar un biaix en els càlculs i en els valors dels indicadors. Lluny de ser un inconvenient, és una important aportació perquè fa visible aquest biaix de forma natural entre les diferents concepcions que tenen els membres d'un grup de recerca interdisciplinari. Això permet, per exemple, comparar els diferents criteris i mètodes usats per cadascú, cosa que enriqueix el treball en grup i el resultat final.

Finalment, els prototips desenvolupats mostren que el sistema proposat és factible i que es pot desenvolupar utilitzant software lliure. Una aportació important de la tesi és el lliurament del software desenvolupat també com a software lliure, cosa que en facilita l'evolució futura.

---

<sup>1</sup>A la tesi utilitzem el terme *nivell* per referirnos als nivells d'una organització en un sistema organitzat jeràrquicament.

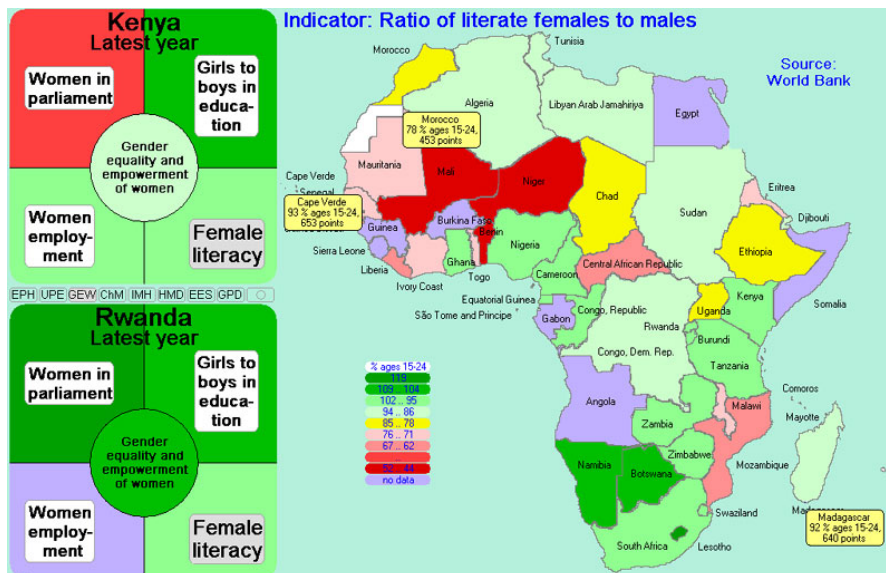


Figura 1: *Dashboard* per a la Sostenibilitat

## 1.4 Investigacions prèvies

L'any 2002 es va desenvolupar una eina específica per a l'anàlisi i la visualització de dades relacionades amb la sostenibilitat: el *Dashboard* per a la Sostenibilitat (CGSSD, 2002). Aquesta eina era una contribució a la Cimera Mundial del Desenvolupament Sostenible d'aquell any. L'objectiu era permetre visualitzar de forma interactiva diferents indicadors de sostenibilitat en un panell similar al d'un cotxe (figura 1). Permet visualitzar els indicadors definits per l'usuari i agrupar-los: l'usuari defineix cadascun dels indicadors (text, rang mínim, mitjà i màxim, etc.) i les formes d'agrupació dels diferents indicadors (territorial, temàtic...). El nivell territorial definit és el dels països del món.

El desenvolupament anterior es basava en la utilització de fulls de càlcul. Per fer estudis de qualsevol mena el full de càlcul és l'eina software de suport per excel·lència i també en el cas dels estudis de sostenibilitat. Tal com s'explica en l'apartat 2.7.1.2, el full de càlcul té les funcions d'eina matemàtica i gràfica, alhora que fa de base de dades. En tot cas, el full de càlcul serà habitualment una de les eines de sobretaula que utilitzarà l'investigador, si més no individualment.

En àmbits científics concrets s'han desenvolupat sistemes de recopilació de dades provinents de fonts diverses, amb l'objectiu d'utilitzar-les com a base per a estudis dins del mateix àmbit. Alguns d'aquests sistemes incorporen experiències que, en determinats aspectes, tenen similituds amb les que es plantegen a la tesi. Tot seguit presentem *CUAHSI Hydrologic Information System* (CUAHSI-HIS, 2011a, en línia) i *SEAMLESS* (SEAMLESS, 2009). El primer és un sistema d'informació hidrològic per als EUA i el segon, un marc informatitzat per avaluar l'impacte de les polítiques sobre la sostenibilitat dels sistemes agrícoles a la Unió Europea.

**CUAHSI Hydrologic Information System** CUAHSI són les inicials de *Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science*; aquest consorci està format per més de 100 universitats dels Estats Units d'Amèrica i té com a missió la recerca en la ciència de l'aigua, les seves propietats i distribució i la circulació terrestre, subterrània i atmosfèrica. Un dels programes de CUAHSI és crear un sistema d'informació hidrològic (HIS) (CUAHSI-HIS, 2011a, en línia).

Atribut	Definició
<i>Value</i>	Valor de l'observació.
<i>Accuracy</i>	La quantificació de l'exactitud de la mesura relacionada amb el valor.
<i>Date and Time</i>	Data i hora de l'observació.
<i>Variable Name</i>	Nom de la quantitat física, química o biològica que representa el valor.
<i>Location</i>	Localització de l'observació (p.e. longitud i latitud).
<i>Units</i>	Unitats (p.e., <i>m</i> o <i>m<sup>3</sup>/s</i> ) i tipus d'unitats (p.e., longitud o volum/temps) associats a la variable.
<i>Organization</i>	Organització proveïdora de la mesura.
<i>Source</i>	Informació sobre la font original de l'observació (p.e., instrument de mesura o base de dades de tercers).
<i>Value Category</i>	Indicador que mostra si el valor representa un valor mesurat, un valor calculat o és el resultat d'una simulació.

Taula 1: Vista parcial de la taula *Observations Data Model Attributes Associated with an Observation*. Font: Horsburgh i col. (2008)

L'HIS és un sistema per a l'intercanvi de dades hidrològiques via web format per bases de dades i servidors connectats a les aplicacions client a través de serveis web. Un dels components de l'HIS és un model de dades per guardar i recuperar observacions hidrològiques en una base de dades relacional, l' *Observation Data Model* (ODM), dissenyat per facilitar l'anàlisi integrada de grans *datasets* recollits per múltiples investigadors ((Horsburgh i col., 2008; CUAHSI-HIS, 2011b)).

Una observació és una dada hidrològica recollida en un punt determinat per un mesurador de cabal o una estació meteorològica. L'objectiu és definir un model genèric de dades d'observacions d'una àmplia gamma de disciplines relacionades amb els recursos hídrics (hidrologia, enginyeria ambiental, meteorologia, etc.) i incloure-hi una gamma de diferents variables (precipitacions, cabals, qualitat de l'aigua).

A la taula 1 s'ha reproduït una part dels atributs necessaris per interpretar i establir la procedència d'una observació, segons els comentaris rebuts d'una revisió d'una versió preliminar de l'ODM (Tarboton, 2005, en línia). Veiem que, a part del mateix valor (*Value*), es posen de manifest les característiques fonamentals del temps (*Data and Time*), l'espai (*Location*), la font de dades (*Source, Organization*) i el tipus de variable (*Variable Name, Units, Value Category*).

A la figura 2 es pot veure el model de dades lògic de l'ODM. A la part central hi ha la taula principal "Valors observats" (*Observation Values*). Aquesta taula s'enllaça, entre d'altres, amb les taules de "Variables", "Localització de punts de monitoratge" (*Monitoring Site Locations*), "Fonts de dades" (*Data sources*) i "Agrupacions de valors" (*Value Grouping*). L'ODM pot guardar quantitats derivades i les observacions de què es deriven a la mateixa taula "Valors Observats". La relació entre els valors originals (*raw*) i els derivats es manté a la taula "DerivatDe" (*DerivedFrom*).

Aquest sistema d'informació està enfocat a dades hidrològiques; manté una coherència important entre les observacions i els seus valors i les variables que les defineixen, i registra les fonts de dades, la ubicació de les observacions i els mètodes d'obtenció. El sistema no permet definir valors de referència, llinars, etc. El sistema permet marcar valors com a derivats d'altres valors, però no proposa mètodes per al registre d'equacions de càlcul i l'execució de càlculs valors de variables derivades. Quant al territori, proporciona la localització geogràfica de les ubicacions d'observacions, però sense establir organitzacions territorials, cosa que no facilita l'obtenció de valors agregats.



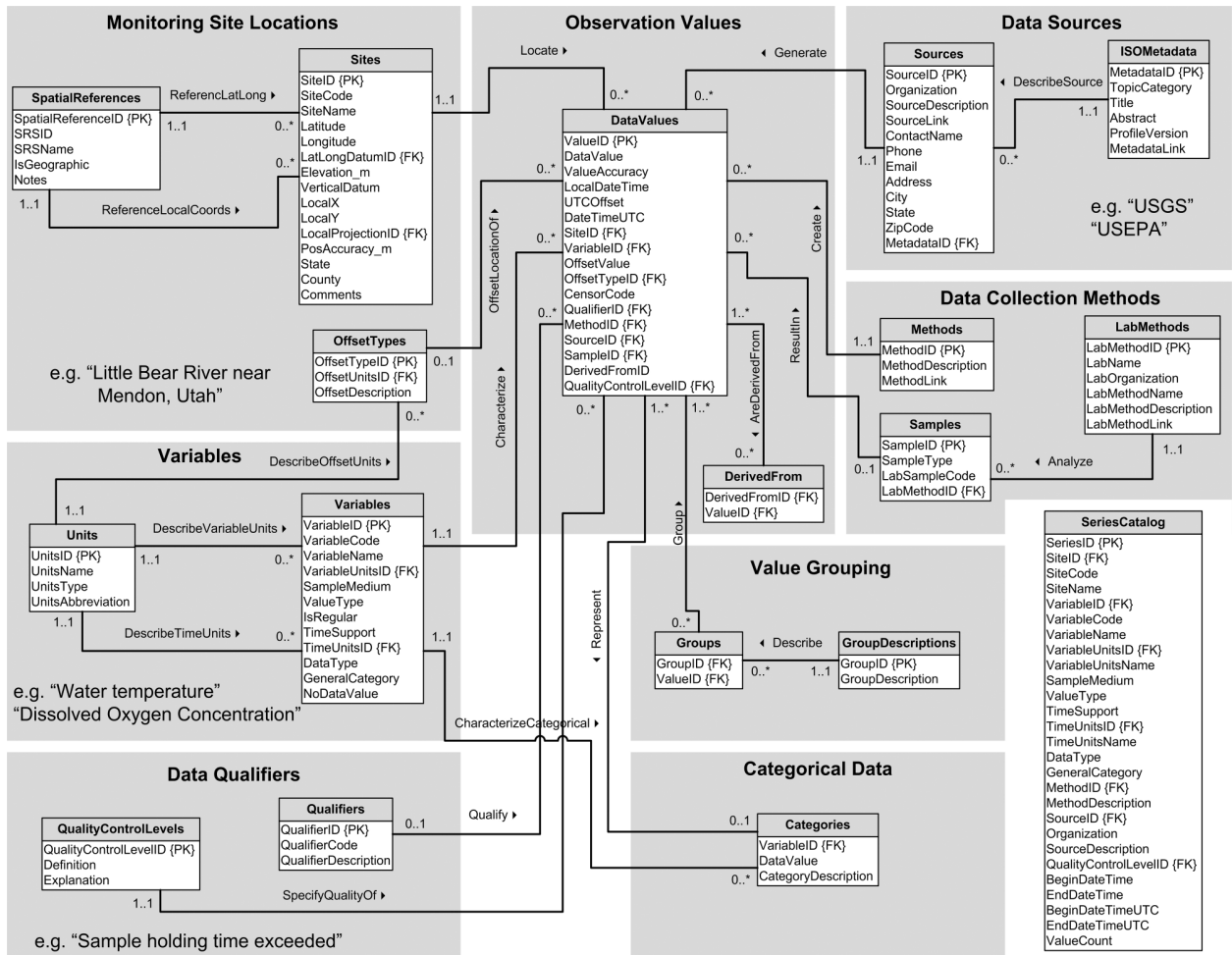


Figura 2: Model de dades de l'ODM de CUAHSI *Hydrologic Information System*. Els camps que són claus primàries de cada taula s'indiquen amb l'etiqueta {PK}. Les claus externes, amb l'etiqueta {FK}. Les línies entre taules mostren relacions: nom de la relació, la cardinalitat i la direccionalitat de la relació. Font: Horsburgh i col. (2008). La darrera versió es pot obtenir de la URL [http://his.cuahsi.org/images/ODM1\\_1SchemaDiagram\\_md.jpg](http://his.cuahsi.org/images/ODM1_1SchemaDiagram_md.jpg).

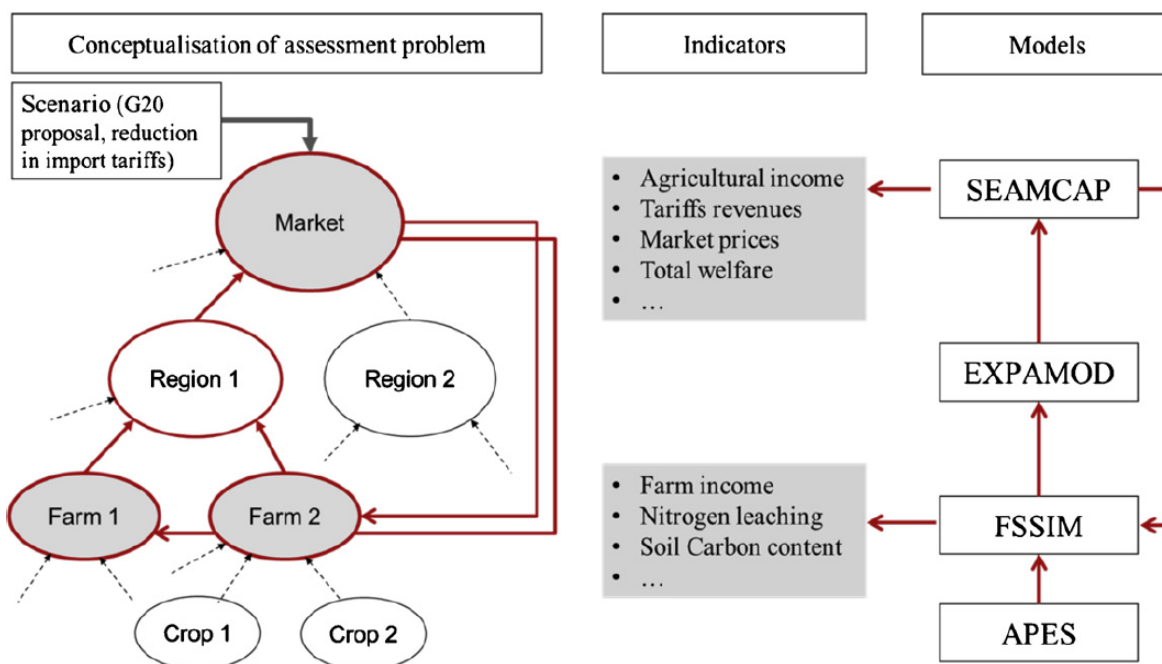


Figura 3: SEAMLESS. Escenari de models, indicadors i nivells territorials implicats segons determinades propostes polítiques.

**SEAMLESS** SEAMLESS (System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society, (SEAMLESS, 2009)) és un projecte del 6è programa marc per a la recerca de la Unió Europea. Té com a objectiu proporcionar un marc informatitzat per avaluar l'impacte de les polítiques sobre la sostenibilitat dels sistemes agrícoles a la Unió Europea a múltiples escales. L'objectiu és integrar dades de diferents fonts, de forma que es puguin utilitzar per a models diferents de l'àmbit de l'agricultura (Ittersum i col., 2005; Janssen i col., 2009).

El sistema fa una integració del territori a diferents nivells. Per cada cas d'estudi, es duu a terme una selecció dels nivells del territori que hi intervenen. Per exemple, en un escenari en què hi ha una proposta de retallada de preus del G20 (figura 3) en l'àmbit del mercat de la Unió Europea que produeix un efecte en les explotacions agrícoles i de les regions, especialment des d'un punt de vista econòmic, però també biofísic a causa dels canvis que tenen lloc en els conreus. Cada nivell té una sèrie d'indicadors i s'utilitzen models de simulació especialitzats diferents.

A SEAMLESS-IF els models i les dades estan desacoblats. Com a mitjà per a l'intercanvi de dades, s'utilitzen ontologies que defineixen semànticament les estructures de dades per a les aplicacions de modelització (vegeu l'annex B.4.1). Per definir el model ontològic s'utilitza OWL. El sistema encadena els models mitjançant fluxos de treball, de forma que les sortides d'un model són les entrades del següent. A la figura 3 es mostren els models utilitzats, situats en una matriu de nivell territorial i dimensió de sostenibilitat; les fletxes entre models indiquen dependències (Rizzoli i col., 2009). A la figura 5 es mostra l'esquema parcial de l'ontologia de granges, sòl i clima (Janssen i col., 2009).

Les dades de diverses fonts relacionades amb l'agricultura europea s'integren en un únic esquema relacional. El procés de definició de l'esquema de la base de dades és un procés iteratiu en què s'han de tenir en compte problemes conceptuals complexos relacionats amb la terminologia adoptada, l'escala de la informació i l'heterogeneïtat dels esquemes de les bases de dades originals.

La base de dades integrada s'executa en un servidor de base de dades PostgreSQL. Els models estan vinculats

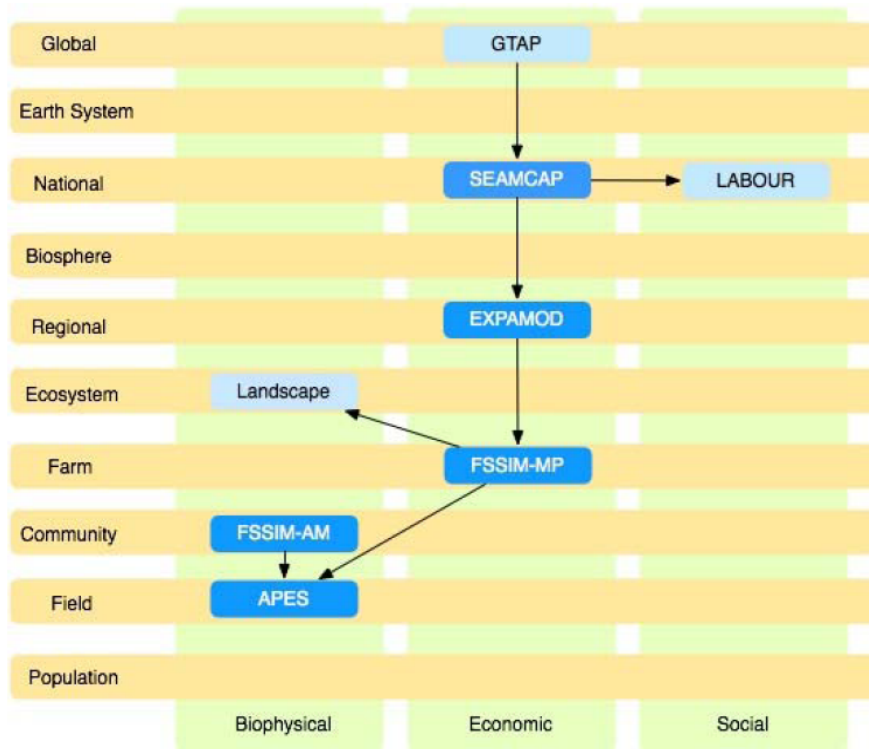


Figura 4: Models utilitzats per SEAMLESS-IF, situats en una matriu nivell territorial/dimensió de sostenibilitat. Les fletxes entre models indiquen una dependència.

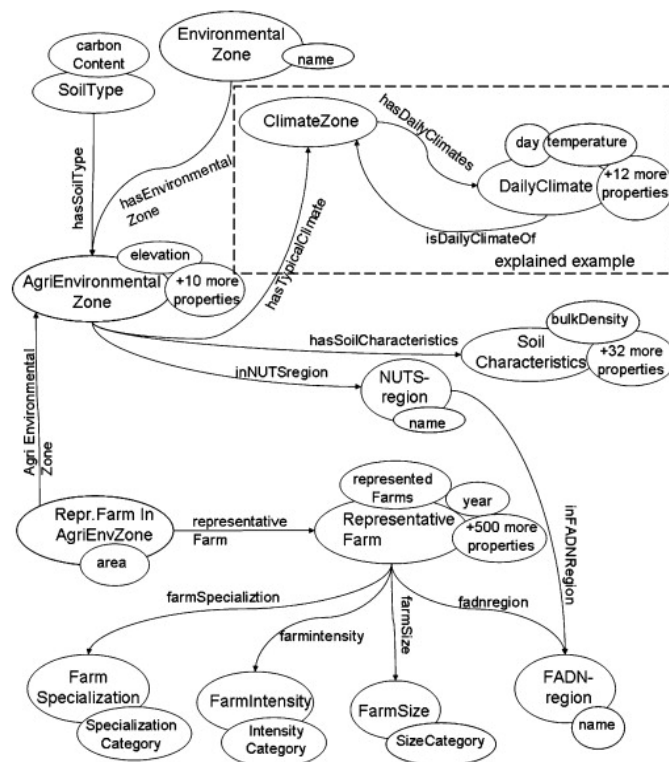


Figura 5: Ontologia de granges, terreny i clima definida per a SEAMLESS-IF.

a la base de dades a través d'una associació de les dades entre diferents models d'objectes relacionals (utilitzant Hibernate)<sup>2</sup>. La base de dades està vinculada a una base de dades espacial, postGIS, que proporciona informació geogràfica. La informació espacial també està disponible a través del web. La implementació i la gestió de dades es basa en software de codi obert.

El desenvolupament del projecte utilitza mètodes participatius en que intervenen uns 30 socis i uns 150 investigadors de disciplines diferents, així com un fòrum d'usuaris. Es desenvolupen prototips sobre els quals, de forma iterativa, es fan l'anàlisi de requeriments, les proves i les millores. En el disseny inicial participen tipus d'usuaris següents (Ittersum i col., 2005; Rizzoli i col., 2005):

Codificadors, que generen les estructures de dades, les classes en el domini.

Modeladors, que creen nous models i els mecanismes d'accés, que es guarden en la base de models.

Editors d'enllaços (*linkers*), que construeixen models de composició a partir dels models de la base de models.

Proveïdors, que entren en la base de coneixement informació sobre estructures de dades, formats, etc.

Executors (*runners*), que accedeixen a la base de models i a les dades per executar models i desar els resultats com a escenaris en la base d'experiments.

Jugadors (*players*), que utilitzen els experiments preparats pels executors, visualitzant-ne els resultats i explorant alternatives.

Tot seguit es presenta un extracte d'algunes de les hipòtesis de base (Ewert i col., 2006):

1. El sistema es construeix per ser utilitzat pels usuaris principals: direccions generals d'Agricultura, Medi Ambient i Economia i Finances de la UE, el JRC (Joint Research Center) i l'Agència Europea de Medi Ambient.
2. A diferència dels usuaris principals, els grups d'interès (*stakeholders*) no utilitzen SEAMLESS-IF, encara que poden participar en la simulació d'alguns models.
3. SEAMLESS-IF no s'ha dissenyat per definir/optimitzar polítiques, sinó per avaluar-les.
4. Les polítiques avaluades han de tenir una cobertura de l'àrea de la UE. Per avaluar un impacte més detallat de regions específiques, calen dades generalment no disponibles a escala de la UE, models més detallats i conjunts d'indicadors més grans.
5. L'objectiu dels models i de les bases de dades de SEAMLESS-IF és proporcionar informació a un "calculador d'indicadors", i proporcionar un conjunt d'indicadors per avaluar les polítiques.
6. Ateses la complexitat del sistema d'agricultura i les polítiques que es poden implantar, cada qüestió/problema requereix una descripció i un conjunt d'indicadors pròpis i, per tant, un projecte de modelització propi.

Aquest sistema d'informació integra les estructures territorials dels sistemes agrícoles a la Unió Europea, i no contempla estendre'l a altres sistemes productius, socials, ecològics... Està enfocat al flux del treball que cal realitzar per avaluar l'impacte de les polítiques, utilitzant en cada cas models diferents. No proposa una manera d'integrar els diferents models, pel que cal un projecte d'integració per cada cas.

---

<sup>2</sup><http://www.hibernate.org/>

## Resum

En aquest primer capítol hem presentat les circumstàncies que motiven aquesta recerca, és a dir, el fet de disposar d'eines per a realitzar càlculs i estudis de sostenibilitat, però no per a compartir dades i processos. S'han plantejat les preguntes en el treball de recerca (vegeu apartat 1.2) que es poden resumir en la següent: ¿és possible definir un model de dades, aplicable a territoris amb diferents tipologies organitzatives, on les dades evolucionen segons les necessitats i que permeti incorporar les visions de diferents col·lectius d'investigadors?

Els marcs de coneixement implicats són principalment tres: la sostenibilitat; les dades, metadades i ontologies, i els sistemes d'informació.

Els objectius de la recerca s'ajusten als punts que segueixen:

- Definició dels conceptes variables i valors en l'àrea de la sostenibilitat.
- Establiment d'un mètode de càlcul i d'agregació de variables.
- Definició d'una estructura de dades integrada.
- Integració dels models conceptuals en l'estructura de dades.
- Validació de la proposta metodològica mitjançant prototips.

Aquests objectius s'emmarquen en les àrees d'interès principals següents: mesura de la sostenibilitat, càlcul d'indicadors i índexs, organització territorial i software lliure. La metodologia emprada és la recopilació i anàlisi de l'estat actual de cada àrea, la visió com a ciència postnormal, el pensament sistèmic i el desenvolupament de prototips.

La tesi mostra les relacions existents entre el territori, les dades i els models conceptuals i, a més, proposa mètodes que els permeten treballar conjuntament. Es defineixen els conceptes de variables i de valors, i la relació d'aquests amb els valors dels models conceptuals (valors de referència, líndars...). S'aporten mètodes per:

- Definir i integrar gran varietat d'estructures organitzatives.
- Definir i calcular qualsevol tipus d'indicador, índex o variable.
- Utilitzar concurrentment marcs conceptuals amb distints criteris de sostenibilitat.

A nivell pràctic es desenvolupen prototips que utilitzen software lliure.

Es presenten les investigacions prèvies de sistemes similars al proposat: el *Dashboard* per a la Sostenibilitat, CUAHSI Hydrologic Information System i SEAMLESS.

El *Dashboard* per a la Sostenibilitat té com a àmbit territorial el món i permet visualitzar els indicadors definits per l'usuari, es basa principalment en la utilització de fulls de càlcul.

El CUAHSI Hydrologic Information System se cenyeix a dades hidrològiques; manté una coherència important entre les observacions i els seus valors, i les variables que les defineixen. A més, registra les fonts de dades, la ubicació de les observacions i els mètodes d'obtenció.

Finalment, el projecte europeu SEAMLESS té com a objectiu proporcionar un marc informatitzat per avaluar l'impacte de les polítiques sobre la sostenibilitat dels sistemes agrícoles a la Unió Europea a múltiples escales, tot integrant dades de diferents fonts, perquè es puguin utilitzar amb models diferents de l'àmbit de l'agricultura.

## 2 Fonaments teòrics i pràctics

En aquest capítol exposem les bases sobre les que se sustenta la tesi, tant les bases teòriques com les bases pràctiques, ja que totes estan imbricades, especialment en àmbits de coneixement emergents com són les TIC i la sostenibilitat. Es tracta d'explicar i aportar la concepció d'alguns conceptes fonamentals que utilitzem en la recerca. Aquests conceptes són necessaris per situar el nostre treball i són el punt de partida per al desenvolupament teòric del capítol 3 i el desenvolupament del sistema d'informació del capítol 4.

Després del primer apartat, que és una introducció general, en el segon apartat (2.2 Informació, sistemes i sistemes d'informació) abordem les qüestions relacionades amb la informació i els sistemes d'informació, ja que per un estudi de sostenibilitat es requereixen dades i informació: quina relació hi ha entre informació, dades i coneixement; quin és el procés de transformació de les dades en coneixement; o quins són els processos implicats des de l'obtenció de dades fins que es fan els estudis (2.2.1 Dades, informació i coneixement, i 2.2.2 Flux de les dades). Un sistema d'informació (SI) és una forma de visualitzar el món, és una representació virtual de la realitat (2.2.4 El món percebut); cal concretar què entenem per SI, quin és el rol d'un sistema d'informació dins d'una organització, etc. (2.2.3 Organitzacions. Procés organitzatiu).

Al tercer apartat (2.3 Sostenibilitat) presentem els aspectes relacionats amb el concepte *sostenibilitat*. Els àmbits de recerca en sostenibilitat, i la ubicació de la tesi dins d'aquests àmbits (2.3.1). L'estudi de la sostenibilitat d'un sistema és l'estudi d'un sistema complex: què és un sistema complex i quines característiques té (2.3.2), què és el pensament sistèmic (2.3.3). Escalles temporals i espacials segons els nivells d'organització d'un sistema (2.3.3). Models de representació de la realitat: models orientats a polítiques i models orientats a la recerca; són eines utilitzades habitualment per a la modelització de la sostenibilitat (2.3.3). La recerca interdisciplinària (2.3.3).

El quart apartat (2.5) presenta les qüestions relacionades amb la mesura de la sostenibilitat. Variables, indicadors i índexs (2.5.1), els sistemes d'indicadors i la seva problemàtica (2.5.2) i els models conceptuals utilitzats com a marc per a l'anàlisi de la sostenibilitat (4.2.2).

En el darrer apartat s'estudien les organitzacions relacionades amb la temàtica de la sostenibilitat i la mecànica i les eines utilitzades en la realització dels estudis (2.7).

### 2.1 Introducció

Les TIC i la sostenibilitat són dos àmbits del coneixement que tenen en comú que són molt recents; les bases fonamentals de les TIC tenen una ràpida evolució i les bases fonamentals de la sostenibilitat tenen una urgència d'evolució i introducció.

Plantejar una tesi en què els dos ingredients principals són els sistemes d'informació i la sostenibilitat implica treballar en un entorn *bleeding edge*, en què no hi ha un consens general quant a les solucions. En un entorn *bleeding edge*, un nou desenvolupament o una nova tendència poden fer evolucionar i modificar els camps d'acció en qualsevol moment.

Especialment en un camp dominat per la tecnologia com són els sistemes d'informació, a on els canvis tecnològics són ràpids, la teoria sempre es quedarà darrera de la pràctica (Checkland i Holwell (1998); figura 6).

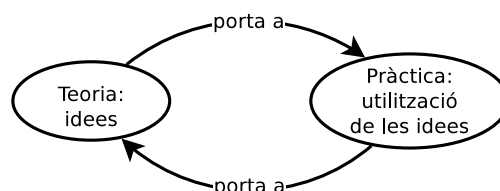


Figura 6: Cicle d'aprenentatge en què teoria i pràctica es creen l'una a l'altra.

En els apartats següents tractem els elements essencials necessaris per situar el marc teòric i pràctic en què es basa la tesi. Exposem de forma conjunta tant les qüestions teòriques com les pràctiques, ja que les primeres no es poden considerar com a antecessores de les segones, sinó que totes formen part del cercle d'aprenentatge i es realimenten entre si (figura 6).

No ens sembla ni convenient ni adient inundar aquest apartat amb pàgines i pàgines d'informació d'aquests elements, ja que no és l'objectiu de la tesi, però sí donar la informació suficient per què el lector se situï. Tal com expliquen Checkland i Holwell (1998), per crear un sistema útil, que serveixi, primerament cal conceptualitzar allò a què ha de servir, aquesta conceptualització dictaminarà el què serà necessari servir o donar suport. Per dissenyar un sistema de suport a l'estudi i l'anàlisi de la sostenibilitat, cal conceptualitzar el que entenem per sostenibilitat.

## 2.2 Informació, sistemes i sistemes d'informació

És important aclarir què és un sistema d'informació (SI). El títol d'aquest apartat coincideix amb el títol del llibre de Checkland i Holwell (1998), font principal de l'apartat.

### 2.2.1 Dades, informació i coneixement

Una de les primeres necessitats per conceptualitzar què s'entén per SI és aclarir el terme *informació*.

- Què entenem per *dades*?
- Quina diferència hi ha entre *dades* i *informació*?

Si introduïm les paraules *data* i *information* al *Visual Thesaurus* (Thinkmap i Inc, 2011, en línia), una eina que permet veure connexions entre mots, obtindrem els resultats de la figura 7. La cerca de *data* (figura 7a) dóna una única connexió o enllaç, que uneix informació i dades i que es descriu com a col·lecció de fets de què es poden treure conclusions. Per obtenir més informació s'ha expandit el nus anterior (figura 7b). Veiem que apareixen quatre enllaços nous. Els dos primers fan referència a dos termes que s'utilitzen sovint en el llenguatge TIC: *raw data*, que descriu com a dades no analitzades, i *metadata*, com a "*data about data*". El tercer enllaç és *accounting data* o dades financeres i, finalment, el quart enllaç el constitueixen diferents formes d'agrupar conjunts de dades (agregació, col·leccions, etc.). Si expandim el mot *information*, obtindrem l'esquema de la figura 7c. En aquest esquema es relaciona informació amb coneixement adquirit a través de l'estudi, l'experiència o la instrucció (cognició, intel·ligència...), amb entropia i informació selectiva, amb un missatge rebut i comprès i, finalment, amb la informació necessària per "acusar formalment algú".

Com a conclusió podem dir que el *Thesaurus* ens aporta informació quant a les relacions existents, amb unes definicions correctes, però són disperses i descontextualitzades. No donen una resposta concreta a les preguntes anteriors.

Checkland i Holwell (1998) estableix una seqüència per descriure el procés per convertir dades en coneixement, seqüència que s'inicia amb els *fets*. Hi ha una quantitat ingent de fets al món. Aquests fets són les nostres dades inicials. De tots aquests fets s'han d'escollir els que són d'interès i per seleccionar-los hem de fer algun tipus de procés mental. Enriquim aquestes dades relacionant-les amb altres coses i posant-les en un context que fa que adquireixin un significat o sentit. Finalment, aquestes dades poden formar part d'unes estructures més grans que, possiblement, perdurin en el temps.



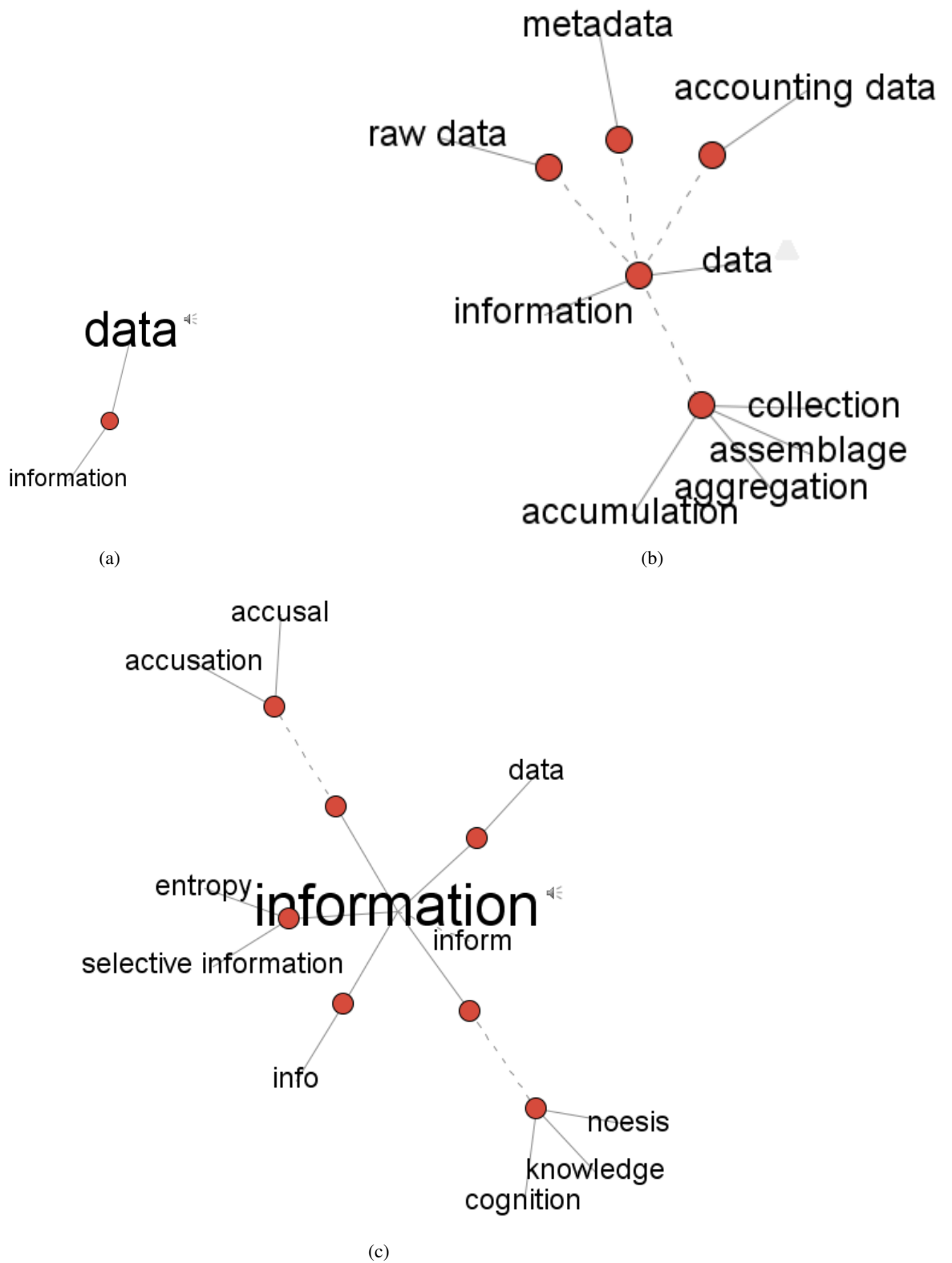
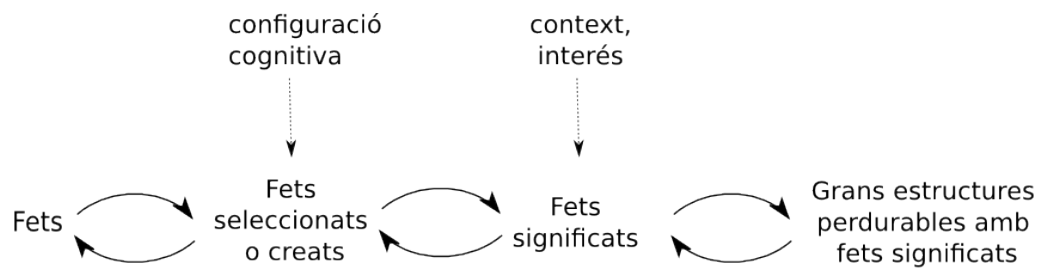


Figura 7: Resultats de cercar les paraules *data* (a i b) i *information* (c) al Visual Thesaurus.



Mots adequats:      DADES                      CAPTA                      INFORMACIÓ                      CONEIXEMENT

Figura 8: Procés de conversió entre dades, *capta*, informació i coneixement. Figura adaptada de Checkland i Holwell (1998).

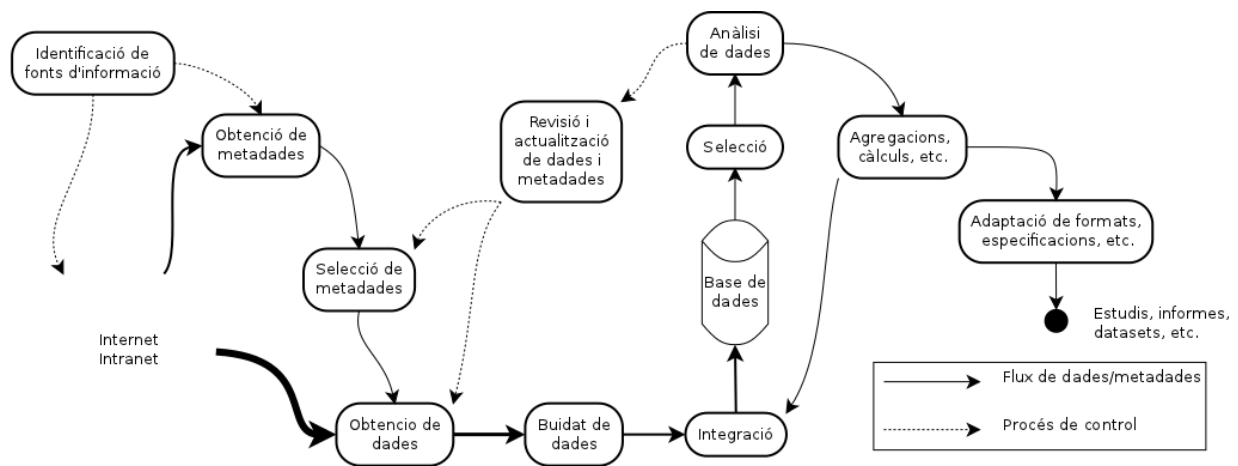


Figura 9: Diagrama de flux de dades i metadades. Elaboració pròpia.

A la figura 8 es pot veure el procés de transformació de fets en coneixement. Els fets, que Checkland anomena *dades*, es transformen en fets seleccionats o creats a partir d'una "configuració cognitiva" determinada. A aquest conjunt de dades seleccionades l'anomena *capta*. Aquest mot es forma a partir de *capere*, que en llatí vol dir "agafar", en contraposició de *data*, que és un derivat de *dare*, "donar". El *capta* es transforma en fets significats, són els fets que adquireixen un nou sentit en contextualitzar-los. Aquests fets amb significat els anomena *informació*. Finalment, la informació pot esdevenir *coneixement* si es pot incorporar a estructures més grans perdurables en el temps.

### 2.2.2 Flux de les dades

Cal un diàleg permanent amb les troballes. En l'actualitat existeix un consens quant al fet que hi ha una allau de dades; però necessitem tantes dades? Com diu Morin (1994), la virtut de la ciència, que l'impedeix naufragar en el deliri, és que noves dades arriben sense parar i la porten a canviar les visions i les idees anteriors. Com ens arriben aquestes dades? Què en fem?

La gran majoria de les dades ens arriben a través d'internet, ja sigui a partir d'un web, del correu electrònic o d'una descàrrega directa d'una base de dades. Els grups de recerca necessiten aquestes dades per les seves investigacions i per dur a terme estudis, informes, etc. A la figura 9 es presenta un diagrama de flux de dades i metadades i els processos implicats des del canal d'obtenció d'internet fins a la realització dels estudis o dels

informes o, senzillament, per a la confecció de *datasets* de recerca. Aquests processos es poden classificar en quatre grans grups. El primer comprèn els processos per a l'obtenció i homogeneïtzació de les dades. Aquests són els processos en què s'inverteix més temps i s'hi dediquen importants recursos. És el grup més crític de tots quatre, ja que la qualitat d'un estudi estarà condicionada per la qualitat de les dades inicials. El segon gran grup abraça els processos relacionats amb la utilització de les dades; utilitzar vol dir escollir quines dades s'han d'usar (el *capta* de Checkland) i com s'han de combinar, agregar o operar. Al tercer grup hi ha els processos de millora: són els processos de revisió i actualització de dades i metadades. Finalment, al quart grup hi ha els processos de presentació de resultats en forma d'estudis, informes, *datasets*, etc.

Els quatre grups de processos del cicle de dades estan formats pels subprocessos següents:

#### 1. Obtenció i integració de dades:

- Obtenció d'informació de les dades que poden ser d'interès per a la finalitat de l'estudi: variables, indicadors, àmbit geogràfic, etc. (obtenció de metadades).
- Identificació de proveïdors de dades públiques d'internet o privades accessibles mitjançant una intranet.
- Selecció de la informació necessària per al treball que es vol fer (estudi, *dataset*, etc.); per exemple, fonts de dades, distribució territorial, rangs temporals, unitats de mesura, etc. És una selecció de metadades.
- A partir de la selecció de metadades, descarrega de les dades: *datasets*, fulls de càlcul, taules, etc. Procediments d'obtenció de dades.
- Inici del procés de buidatge de les dades (en anglès, *data cleansing*): descoberta, correcció o eliminació de dades errònies.
- Per integrar les dades amb la resta de dades del sistema, execució dels procediments d'integració: codificació de dades i metadades, adaptació de formats, detecció de duplicats, etc.

#### 2. Utilització de les dades:

- Del conjunt de dades disponibles a la base de dades, selecció de les necessàries per a la feina que es vol dur a terme (selecció de dades.)
- Estudi de les dades seleccionades i anàlisi de la seva adequació a l'estudi; possiblement caldrà fer diverses seleccions de dades (anàlisi de dades).
- Agregació de les dades i càlculs per a l'estudi. És possible que aquest procediment comporti la introducció en la base de dades de noves dades procedents del treball dut a terme (agregacions, càlculs...).
- Abans de fer el treball, adaptació de les dades als formats i les especificacions de l'estudi (fulls de càlcul, taules, gràfics, etc.).

3. Revisió i actualització de dades i metadades. El procés d'anàlisi de les dades posarà en evidència la necessitat d'obtenir noves variables o d'actualitzar o completar els valors existents, ja sigui temporalment, agregant-hi nous anys, mesos, etc., o espacialment en noves distribucions territorials.

4. Presentació de resultats: realització d'estudis, informes, etc., o generació de nous *datasets* amb la finalitat de lliurar-los com a resultats.

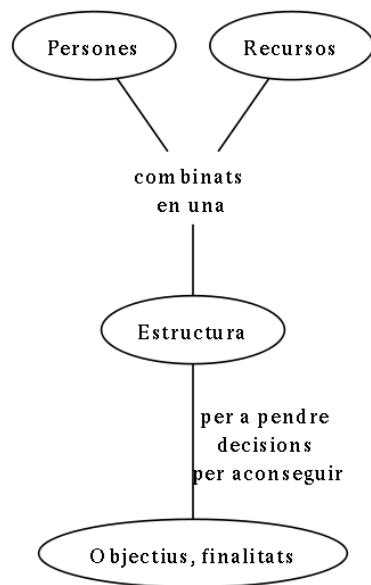


Figura 10: Model simple.

### 2.2.3 Organitzacions. Procés organitzatiu

Checkland destaca que el procés des de l'elaboració de les dades fins al coneixement és un procés humà que una màquina no pot fer. La major part dels processos humans tenen lloc en algun tipus d'organització, ja sigui una organització natural com pot ser una família o una organització formalment establerta com ara una empresa. De fet, hi ha tot un ventall d'organitzacions entre l'organització familiar i l'organització tipus empresa i existeixen macro-organitzacions com ara les Nacions Unides, el Banc Mundial, l'Església catòlica, etc.

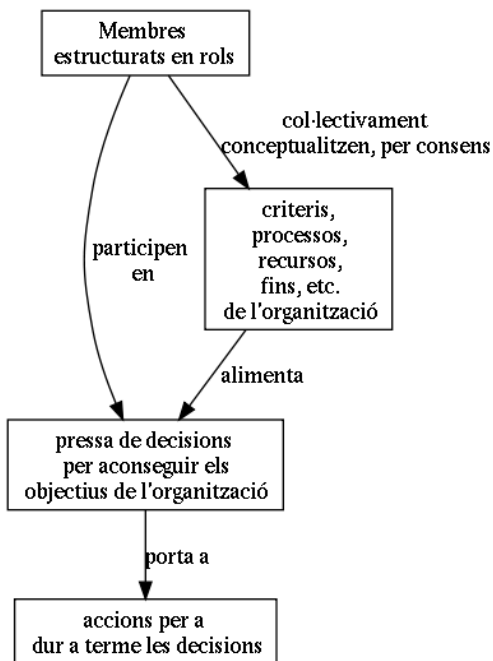
Dins d'una organització hi ha grups organitzats, molts ho són formalment, però existeixen grups sense una organització formal. Per exemple, en una empresa coexisteixen departaments, òrgans sindicals o grups d'amics. Les persones poden pertànyer alhora a diverses organitzacions, a vegades de forma voluntària i d'altres no.

Una organització, una empresa, pot establir públicament una missió i uns objectius perquè tots els membres els coneguin i els adoptin com a propis. No obstant això, aquests objectius són analitzats, avaluats i interpretats en funció dels interessos i les agendes<sup>3</sup> personals de cadascú i dels grups als que pertany. D'aquesta manera, els objectius són conceptualitzats de forma diferent, possiblement legítimament, encara que no cal que ho siguin des del punt de vista dels altres.

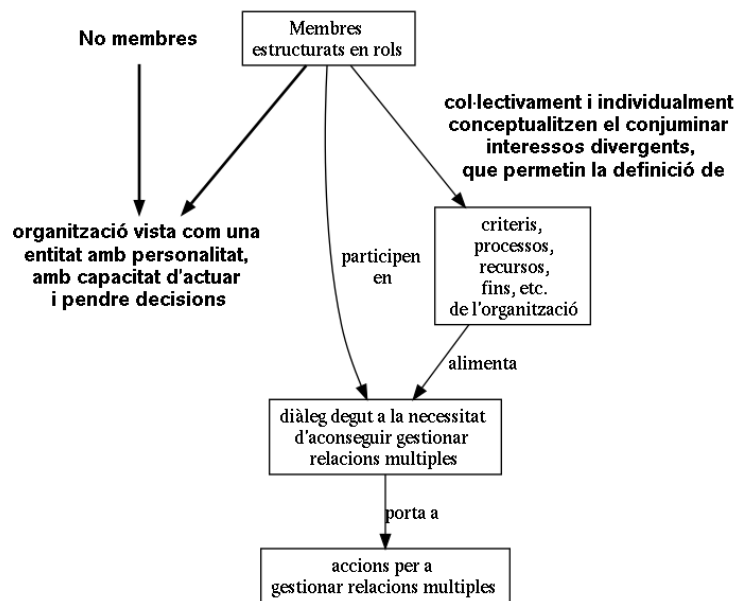
Inicialment, per al desenvolupament de sistemes d'informació es partia de models d'organització molt simples (figura 10) que estaven formats únicament per persones i per recursos que, combinats dins d'una estructura adequada, permetien prendre decisions per aconseguir determinats resultats o finalitats.

El concepte d'organització formalment acceptat en la literatura dels sistemes d'informació estableix un model com el de la figura 11a. En aquest model es dona per fet que els membres de l'organització tenen una imatge comuna de l'empresa. Els membres s'estructuren en rols i segueixen unes normes conegudes amb uns valors deduïbles. Aquestes persones prenen decisions o donen suport als processos de presa de decisions per aconseguir els objectius de l'organització. Per a aquesta presa de decisions necessiten tenir

<sup>3</sup>Utilitzem el mot *agenda* en el sentit anglosaxó: conjunt de qüestions, temes i objectius que tenen entre mans els individus.



(a) Visió convencional del model de "una organització" en la literatura de SI.



(b) Model ampliat

Figura 11: Models organitzatius des del punt de vista dels SI. Figures adaptades de Checkland i Holwell (1998).

coneixement del conjunt de qüestions que intervenen en l'activitat de l'organització: problemes, criteris, recursos, processos, objectius, etc. Aquest conjunt de qüestions és conceptualitzat col·lectivament, per consens, entre els membres. La presa de decisions porta a l'establiment de accions necessàries per dur-les a terme.

Checkland no descarta que aquest concepte d'organització sigui correcte, però el considera un cas particular d'organització que en realitat no es dona gaire sovint. Checkland adopta aquest concepte, però el complementa i l'amplia (figura 11b). En primer lloc, afegeix la visió de l'organització que acostumen a tenir tant els membres com els no-membres: implícitament parlen i actuen *com si* l'organització fos una entitat amb personalitat similar a la humana, amb capacitat d'actuar i prendre decisions.

En segon lloc, l'amplia en dos sentits. D'una banda, a més de la conceptualització col·lectiva de l'organització, del seu context i dels seus fins, també inclou l'existència d'una conceptualització basada en els interessos i les agendes dels individus o subgrups dins de l'organització. Poques vegades aquestes dues conceptualitzacions, la de l'organització i la individual, coincideixen. Això té una implicació important: el consens no es pot donar per fet. Constantment el col·lectiu que forma l'organització ha de cercar formes de conjuminar els interessos en conflicte que permetin l'activitat conjunta. D'altre banda, més enllà d'establir accions per dur a terme les decisions, cal establir accions per gestionar relacions múltiples.

**El procés organitzatiu** Aquest és un model en què els diferents processos porten a la creació del significat de l'organització (figura 12). Per significat s'entén el sentit, la raó de ser, de l'activitat individual i col·lectiva. El conjunt de grups i individus de l'organització percep i assumeix el món tal com el veu, és a dir, filtrat pels seus sistemes sensitius i cognitius. Aquest món percebut és ric en *capta*, és a dir, en conjunts de dades seleccionades de la immensa totalitat de dades existents al món. Aquests individus i grups participen en discussions, en diàlegs i en l'intercanvi d'idees, cosa que els porta a crear significat i a generar informació i coneixement en l'organització. Es tracta d'un procés social molt complex, en què la persuasió i la coerció intervenen al mateix temps; en què es lliuren batalles i es comptabilitzen les puntuacions aconseguides. En aquest procés intervenen des de la política fins als instruments racionals de presa de decisions. Les organitzacions, per sobreviure, han d'estimular aquest procés alhora que l'han de contenir. El procés de creació de significat porta a acoblar els significats creats, juntament amb el ventall d'intencions existents, acomodant-hi els diferents interessos en conflicte. Al seu torn, això ha de portar al propòsit d'acció: allò que en el model clàssic serien les accions necessàries per dur a terme les decisions, que en aquest model es tradueixen en saber gestionar relacions múltiples.

En aquest context, els sistemes d'informació formalment organitzats, basats en les tecnologies de la informació i les comunicacions (TIC), donen suport als membres de l'organització en la conceptualització del món percebut, en l'acomodació dels interessos i en la realització de les intencions i les accions. Sens dubte, les TIC necessitaran el coneixement professional de les tecnologies i de les seves possibilitats per proposar configuracions adients. De vegades, aquest suport de les TIC serà radical, en el sentit que les TIC assumiran la realització de tasques que abans feien persones (per exemple, la realització de càlculs o gràfics). No obstant això, el tipus de suport més probable es donarà en qüestions més subtils, com ara el subministrament de *capta* processats, que permetran als usuaris canviar la forma en què pensen el seu món, és a dir, que ajudaran tant a sostenir com a canviar el món percebut.

Checkland remarca que aquest procés organitzatiu no és un procés per "seguir", sinó que és una forma de donar sentit a la realitat de les organitzacions, encara que l'observació detallada d'una organització sempre serà més difusa que aquest model de representació. Un terreny mai no és igual que el mapa que el representa.

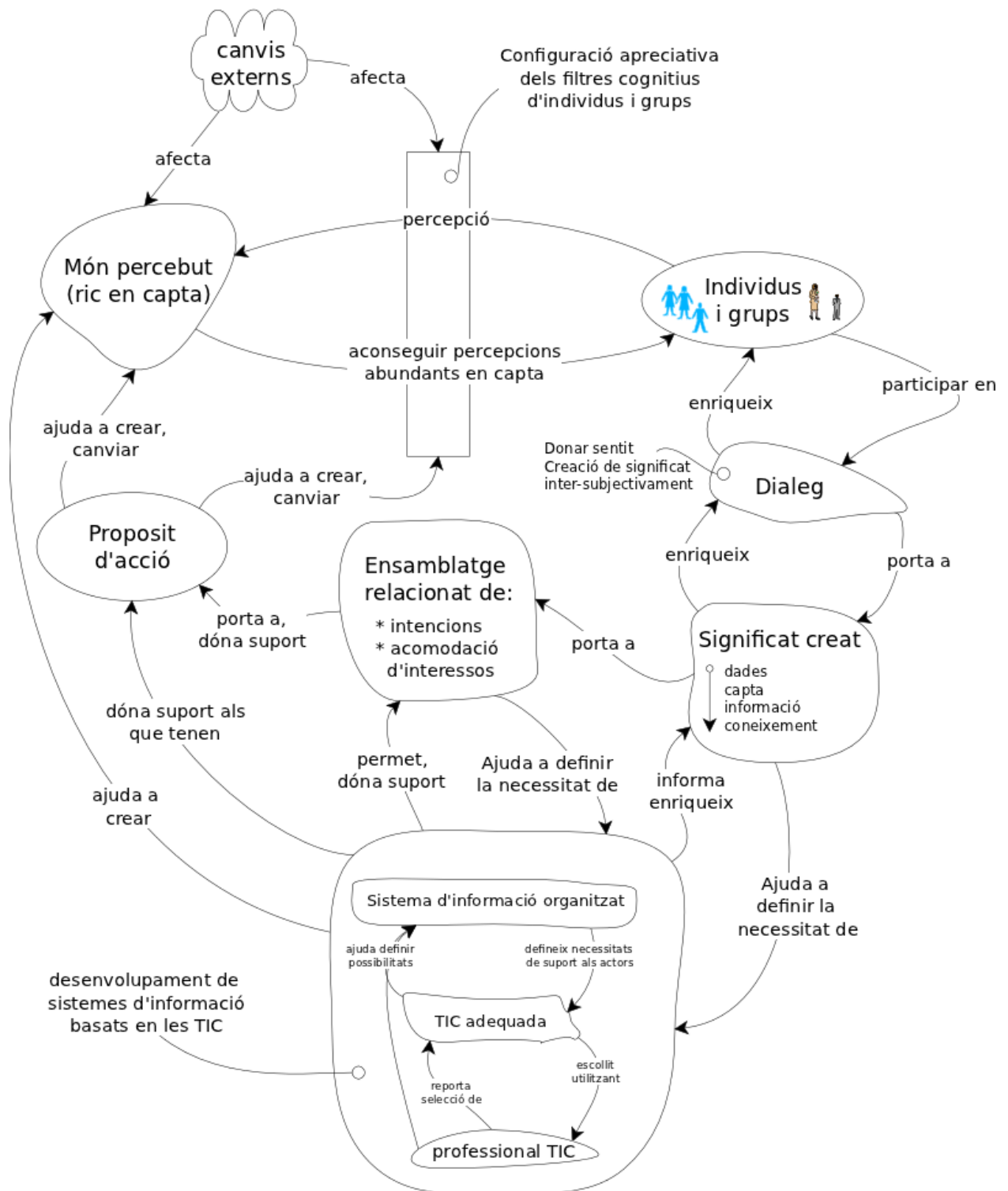
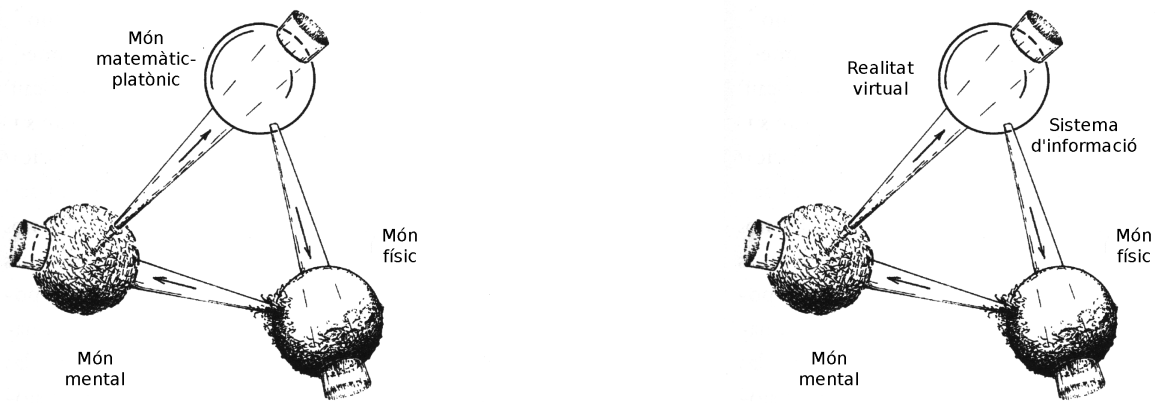


Figura 12: Model dels processos per als significats de l'organització. Font: Checkland i Holwell (1998).



(a) Tres "mons" –el matemàticoplàtonic, el físic i el mental– i els tres profunds misteris en les connexions entre tots tres. Penrose (2006)

(b) Percepció del món físic a través dels sistemes d'informació.

Figura 13: Percepció del mon físic.

## 2.2.4 El món percebut

A l'apartat anterior hem explicat com el subministrament de *capta* processats, permet als usuaris canviar la forma com pensen el seu món, és a dir, ajuden tant a sostenir com a canviar el món percebut. Els sistemes d'informació permeten processar aquests *capta* i presentar-los de formes molt diverses, donen lloc a "realitats" diferents, a percepcions diferents del món.

En el seu llibre *Camí a la realitat* (2006), Roger Penrose situa la seva visió sobre l'existència de les matemàtiques, que permet copsar una part de la realitat física a través de les matemàtiques. Penrose descriu que existeixen tres mons diferenciats (figura 13a). D'una banda hi ha el món físic, és a dir, el món real en que vivim, l'existència del qual és, en principi, indiscutible. D'altra banda hi ha el món mental, allò que nosaltres percebem del nostre entorn. Hi ha una connexió entre el món físic i el mental que permet al segon interpretar el món físic. Aquesta connexió no engloba la totalitat del món físic ni del món mental. Hi ha zones del món mental i del món físic no connectades, és a dir, que el món mental desconeix, de la mateixa forma que hi ha zones del món mental que no tenen res a veure o no estan connectades amb el món físic.

Hi ha un tercer món, el món matemàticoplàtonic, que té una existència pròpia en un espai indefinit. L'existència del món matemàtic no requereix l'existència del món mental o del físic. El món mental no està connectat amb la totalitat del món matemàtic, sinó només amb la part que n'ha descobert. Existeix una part del món matemàtic que no es percep, ja que encara no s'ha descobert. Per exemple, les propietats i les lleis associades als triangles existien abans que fossin percebudes i conceptualitzades pel món mental i tenen una existència independent del món físic. Un cop descobertes, s'amplia la connexió entre tots dos mons.

No obstant la independència del món matemàtic i del físic, molts dels seus teoremes i demostracions estan connectats amb el món físic, és a dir, permeten una visió d'aquest món. El món mental utilitza aquestes connexions per interpretar el món físic a través del món matemàtic, de manera que obté una visió de parts del món que poden estar fora de la seva connexió directa.

En resum, el món mental pot copsar una part de l'existència del món físic a través de les connexions del món matemàtic.

A la figura 13b hem representat com el món mental pot observar parts del món físic a partir del *capta*,



recollit a través d'un sistema d'informació i que es pot representar de formes diferents en l'espai virtual.

A diferència de les matemàtiques, el rol principal d'un sistema d'informació és la funció de suport. Un sistema d'informació no existeix per dret propi, sinó com a funció de suport. Si aquesta funció de suport es du més enllà, ens podem trobar que la representació virtual de la realitat que ens donen els sistemes d'informació, de càlcul i de visualització pot arribar a ser més creïble que la realitat del món físic. Exemples no ens en falten en la vida diària, on s'interpreta la realitat segons la percepció del l'espai virtual<sup>4</sup> i es confon la realitat virtual amb la realitat física.

Un terreny mai no és igual que el mapa que el representa. Per exemple, l'ús d'indicadors i variables que representen una fracció de la realitat, que extreta del context i situada exclusivament en l'àmbit dels nombres, de les estadístiques i de les matemàtiques, són interpretats per persones "de carrer" com a valors que porten implícits missatges de necessitat d'acció, ja que s'interpreten com a d'amença o com a beneficis. Per exemple, el concepte de *població* ha variat al llarg de les darreres dècades i actualment té unes connotacions negatives (creixement, fam, immigració...) sobre les quals cal actuar. Avui dia s'accepta fàcilment la fórmula "una comunitat de persones = una població = P", i P (com la radiació, la contaminació, l'escalfament global...) és una amenaça invisible per a la humanitat. El terme *població*, a diferència de PIB, que redueix les coses a dòlars, converteix les persones en entitats sense sang que poden ser manejades com a classes sense caràcter que es reproduïxen, contaminen, produeixen o consumeixen i que pel bé comú cal controlar (Sachs, 1992).

És a dir, el món físic percebut pel món mental estarà format pel món percebut directament i per la part del món percebut a través del sistema d'informació i dels seus mecanismes de representació (realitat virtual).

Igual que les matemàtiques, els sistemes d'informació i representació, en l'àmbit de la recerca per a la sostenibilitat, han de fer una representació tan fidel com sigui possible de la realitat del món físic.

### 2.3 Sostenibilitat

Des que el Club de Roma va publicar l'any 1972 l'estudi *The Limits to Growth* (Meadows i col. (1972)) i, posteriorment, l'any 1987 la Comissió Brundtland va publicar l'informe *Our Common Future (World Commission on Environment and Development, 1987)*, amb la definició de l'expressió *desenvolupament sostenible* com "aquell que satisfà les necessitats del present sense comprometre les necessitats de les futures generacions", el concepte de sostenibilitat ha estat un dels elements centrals de debat. Es discuteix tant el significat de *desenvolupament sostenible* o *sostenibilitat*, com la forma d'aconseguir una societat més sostenible amb els recursos del planeta. Fins i tot una frase que pot semblar "innocent" com l'anterior, "aconseguir una societat més sostenible amb els recursos del planeta", pot ser motiu de discussió, ja que estableix unes prioritats determinades: el desenvolupament social per davant de la preservació de la natura.

El terme *desenvolupament* és fortament criticat, ja que dóna peu a interpretacions radicalment oposades. En aquest sentit, (Sachs, 1999) critica el concepte *desenvolupament sostenible*, en què s'exigeix la conservació del *desenvolupament*, no la conservació de la *natura*. Segons aquest concepte, les alternatives *dins* del desenvolupament són benvingudes, és el desenvolupament tal com el conceben els països desenvolupats; en canvi les alternatives *al* desenvolupament són anatema, contradiuen els dogmes establerts. Així l'ambientalisme s'està reduint a una "gerència pública" i no és la preservació de la naturalesa el que està a l'agenda internacional, sinó l'ampliació de l'utilitarisme de la natura centrat en l'home per a la posteritat.

---

<sup>4</sup>Xarxes socials, jocs, relacions personals, etc.

La teràpia que es vol aplicar als danys causats pel desenvolupament són noves formes de desenvolupament, és a dir, el mateix desenvolupament. Als ulls dels partidaris del desenvolupament, els "límits al creixement" no demanen l'abandonament de la carrera, sinó canviar la tècnica de córrer. Per Sachs, l'ecologia global es pot entendre de dues maneres: o bé és un esforç tecnocràtic per mantenir el desenvolupament contra la tendència al saqueig i la contaminació, o bé es tracta d'un esforç cultural per treure's del damunt l'hegemonia dels envellits valors occidentals i retirar-se gradualment de la cursa pel desenvolupament.

La forma en què la societat assimili el concepte de sostenibilitat modelarà i transformarà aquesta societat en el futur. Se'n modificaran les relacions socials, econòmiques, ambientals i institucionals. En definitiva, s'hi produirà un canvi de valors que modificarà altres conceptes fonamentals de l'activitat diària dels humans. Aquest canvi, com tot canvi, crea esperances, resistències i desconfiances.

Quina sostenibilitat es té en compte en aquest treball? Personalment tinc les meves preferències sobre quines de les diferents visions de la sostenibilitat són factibles i necessàries. El treball s'inicia amb l'objectiu de prendre suficient distància respecte de les opcions possibles, de forma que n'inclogui el màxim nombre possible i sense excloure'n cap d'entrada. Evidentment, això no serà possible, però des d'un punt de vista absolutament pragmàtic, si es vol arribar a un consens, inicialment no es pot "posar" un concepte al damunt de la taula de discussió, sinó que s'ha d'estar obert a tots els possibles conceptes. No es tracta de ser neutral, ja que, segons els àmbits territorials, les cultures i l'experiència local, la forma que adopti un concepte de sostenibilitat globalment acceptat pot variar significativament. Es tracta de proporcionar unes eines prou àmplies perquè es pugui adoptar el punt de vista que més convingui segons els objectius dels investigadors.

### 2.3.1 Introducció: àmbit de recerca en sostenibilitat

La sostenibilitat, o el desenvolupament sostenible (DS), comença a considerar-se un àmbit acadèmic i científic, encara que és difícil (fins i tot compromès) establir quins són els seus propis àmbits de recerca. Si analitzem el treball *Debates On Sustainable Development: Towards A Holistic View Of Reality* (Rios Osorio, Ortiz Lobato, i Álvarez Del Castillo, 2005), trobem que entorn del desenvolupament sostenible es produeixen els següents debats:

- debat conceptual
- debat contextual
- debat acadèmic
- debat geopolític.

El debat *conceptual* se centra en els orígens i significats dels mots. S'hi inclouen la problemàtica que ha suscitat el seu origen anglosaxó i les traduccions que s'han fet de l'expressió *sustainable development* a l'espanyol: desarrollo sostenible, desarrollo sustentable, etc. Dins d'aquesta àrea temàtica, hi ha els debats entorn de la validesa del concepte des del punt de vista lingüístic, atès que en altres contextos culturals els valors i les realitats són diferents de les occidentals. També hi ha debats sobre l'ambigüitat dels termes i sobre com aquesta ambigüitat ha estat una de les claus per a la seva acceptació en fer que la gent els adopti sense qüestionar-los gaire com a conseqüència de l'homogeneïtzació cultural existent. En aquest debat es qüestiona l'ambigüitat del model de desenvolupament (econòmic, social, polític, etc.) i s'intenta establir de quina sostenibilitat s'està parlant.

A la segona àrea temàtica, els debats *contextuals*, hi ha els punts de vista institucionals i acadèmics sobre el DS. Des del punt de vista institucional, hi ha acords i estratègies internacionals en què *hauria de ser* el DS. Aquest consens en què hauria de ser el DS s'ha materialitzat en les conferències mundials patrocinades per les NU des de 1972. D'altra banda, des del punt de vista acadèmic, se sotmet a debat l'enfocament científic que s'ha de donar al DS. Es busca desenvolupar noves eines i nous coneixements, per descobrir les conseqüències del desequilibri ambiental en l'economia i en la societat. Des que l'anàlisi científica es va posar al servei del desenvolupament sostenible, a partir de la publicació de l'estudi *The Limits to Growth* (Meadows i col., 1972), en què sota determinats condicionants econòmics i ambientals es busca *què és realment* el DS. En canvi, no hi ha acord o debat sobre *què s'ha de sostenir*.

La part acadèmica del debat contextual anterior es desenvolupa més i esdevé la tercera àrea temàtica, el debat *acadèmic*, el debat disciplinari. En aquesta àrea s'hi troba l'evolució que ha de tenir el model de recerca actual per afrontar la complexitat del desenvolupament sostenible. Com aquesta complexitat fa sorgir noves eines com ara la teoria de la complexitat, la dinàmica de sistemes o la recerca transdisciplinària, que donen lloc a una nova era científica caracteritzada per la superació de les divisions disciplinàries i el sorgiment de models epistemològics nous. En definitiva, se cerquen models explicatius holístics que superin els models reduccionistes de la ciència clàssica.

Finalment, els debats *geopolítics* són els debats sobre la globalització i els efectes causats pel desenvolupament del Nord. És el debat Nord-Sud. En aquesta àrea s'inclouen temes com ara qui és el causant de la situació actual: a la dècada de 1970 la responsabilitat de la degradació ambiental era deguda al desenvolupament desenfrenat de les nacions riques; a la dècada de 1980 es va haver de rebatre la idea que la pobresa era la destructora del medi ambient. Si el món està ple de desigualtats, llavors quin és el criteri per assignar la responsabilitat per la situació actual? De qui és la responsabilitat de liderar el canvi? Així mateix, hi ha debats per analitzar el concepte *sostenible*; què s'ha de "sostenir": cultures, ecosistemes, economies o estils de vida?

Dels quatre anteriors, aquest treball s'emmarca primordialment en el debat acadèmic. Sense entrar en els debats conceptuals, contextuals o geopolítics, però sent conscients que hi són. A continuació introduïm les parts de la recerca en sostenibilitat que entenem poden tenir una influència en el desenvolupament de la tesi.

**Revistes acadèmiques** La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) reconeix com un àmbit de coneixement el desenvolupament humà i sostenible; no obstant això, moltes de les revistes acadèmiques relacionades estan enfocades a l'eix ambiental de la sostenibilitat o associades a un àmbit específic com ara l'arquitectura o l'agricultura. La UPC proporciona informació d'una vintena de revistes relacionades amb la sostenibilitat (UPC, 2011, en línia). A la taula 2 es mostren algunes revistes situades en el primer o segon quartils de la JCR o de SCORPUS.

### 2.3.2 Complexitat

Un sistema *complicat* es compren quan s'estudien els elements que el formen i s'analitza les relacions entre ells. Quan es tracta d'un sistema *complex* aquest enfoc no és suficient. No es pot dividir i conquerir; ben al contrari, cal ampliar el camp d'observació per arribar a entendre'l.

García (2006) explica que a l'inici d'una recerca no hi ha cap sistema que estigui establert d'entrada. El sistema no està definit, però és definible. Una definició adequada només pot sorgir al llarg de la recerca i per a cada cas particular.

Revista	Àmbit
<i>Climatic change</i>	Revista interdisciplinària sobre el canvi climàtic.
<i>Environment, development and sustainability</i>	Impacte ambiental del desenvolupament econòmic.
<i>Global change biology</i>	Canvi climàtic.
<i>Sustainability science</i>	Sostenibilitat: interaccions entre el sistema social i el natural; corpus teòric de la sostenibilitat com una nova ciència.
<i>Sustainable development</i>	Desenvolupament sostenible.
<i>Urban affairs review</i>	Canvis mediambientals provocats per l'activitat humana.

Taula 2: Algunes revistes situades en el primer o segon quartils de la JCR o de SCORPUS.

(Morin, 1994, pàgs. 113-116) explica:

No hi ha domini de la complexitat que no inclogui el pensament i la reflexió, d'una banda, i el domini de les coses simples, incloent-hi l'acció, de l'altra. L'acció és el regne concret i, potser, parcial de la complexitat .

L'acció és estratègia. L'acció suposa complexitat, és a dir, elements aleatoris, atzar, decisió, consciència de les derives i de les transformacions. La paraula *estratègia* s'oposa a la paraula *programa*<sup>5</sup>. Per a les seqüències que se situen en un ambient estable, convé utilitzar programes. El programa no obliga a estar vigilant. No obliga a innovar.

És per això que hem d'utilitzar múltiples fragments d'acció programada per poder-nos concentrar sobre el que és important, l'estratègia amb els elements aleatoris.

El pensament complex no rebutja, de cap manera, la claredat, l'ordre, el determinisme. Però els considera insuficients, sap que no podem programar la descoberta, el coneixement ni l'acció.

Investigar un sistema complex significa estudiar un "tros de realitat" que inclou aspectes físics, biològics, socials, econòmics i polítics. És el marc epistèmic el que guiarà principalment la selecció dels components del sistema.

Per García (2006) un sistema complex esta compost per límits, elements i estructures:

- Els *límits* estableixen el que queda "a dins" del sistema i el que queda "a fora" del sistema. Són fronteres físiques, però també són fronteres conceptuals. Exemples de límits: fronteres geogràfiques, formes de producció, d'organització o econòmiques, cultures... Establir límits no significa necessàriament no considerar el que es deixa fora. Si el que queda "a fora" interactua amb el de dins, es té en compte a través de les *condicions de contorn* o *condicions en els límits*: flux a través dels límits (de matèria, energia, informació, crèdits...). El factor més important és la velocitat de canvi, que està relacionada amb l'escala temporal del sistema. Si les condicions varien o fluctuen molt, poden produir reorganitzacions importants del conjunt del sistema.

<sup>5</sup>Morin utilitza la paraula *programa* en el sentit de conductes rutinàries o accions establertes, no en el sentit de programa d'ordinador, que seria un cas particular de programa.

- Els *elements*: no s'escullen aïlladament, sinó que s'hi inclouen els que formen una estructura o organització específica que està determinada per les relacions entre els elements més significatius. La resta d'elements queden "a fora". Les interrelacions entre els elements de dins i els de fora determinen els límits. Els elements són subsistemes complexos que es poden estudiar com a tals.
  - *Escala dels fenòmens*: no s'han de barrejar fenòmens que tenen lloc a diferents escales. Agregar dades d'una escala inferior a les dades d'una escala superior no fa res més que agregar "soroll". No obstant això, les escales sí que interactuen.
  - *Escala de temps*: per estudiar la dinàmica d'un sistema cal estudiar-ne la història. L'escala que s'ha d'adoptar depèn de la naturalesa del sistema i de la pregunta conductora de la recerca. Per fer una predicció del comportament del sistema es pot utilitzar una escala diferent. Escales de temps diferents poden interactuar, com el cas de les espacials.
- *Estructura*: determinada per la relació entre els elements. Un gran nombre de propietats d'un sistema venen determinats per la seva estructura i no pels seus elements.

### 2.3.3 Sistemes, sistèmica i complexitat

Un sistema és un conjunt d'elements en interacció que funcionen com un tot i és distingible del seu entorn a través d'uns límits o fronteres reconeguts. Per analitzar un sistema, és a dir, descriure'l, explorar-lo, controlar-lo o predir-ne l'evolució, es creen models científics. Els models científics són representacions abstractes, conceptuals, gràfics, etc. de fenòmens, sistemes o processos. Un problema sistèmic no es pot estudiar només tenint en compte un punt determinat de l'espai i en un moment determinat del temps. Cal estudiar-lo a diferents escales, tant temporals com espacials.

A l'inici d'una recerca cap sistema no està establert d'entrada. El sistema no està definit, però és definible. Una definició adequada només pot sorgir al llarg de la recerca i per a cada cas particular (García, 2006).

El pensament sistèmic és l'acte d'intentar veure l'objecte d'estudi com un sistema. Martí Rosas, en un seminari organitzat per la Càtedra Unesco de Sostenibilitat (CUS) de la Universitat Politècnica de Catalunya, va descriure els 10 principis del pensament sistèmic d'Andri Stahel (Rosas, 2010; Stahel, 2010):

#### 1. Principi de l'organització

Allò que és fonamental no són els elements presos aïlladament, sinó la manera com aquests es relacionen entre si i estableixen un sistema caracteritzat per la seva organització específica. Podem tenir sistemes completament diferents constituïts pels mateixos elements.

#### 2. Principi de la finalitat del sistema

L'organització d'un sistema està en funció dels seus objectius. Diferents objectius requereixen diferents organitzacions.

#### 3. Principi de la contradicció

En tot sistema hi ha una contradicció dialèctica entre les parts i el tot, així com entre el sistema i el seu entorn.

#### 4. Principi de la multiplicitat i de la jerarquia dels sistemes

Tot element o sistema és a la vegada part d'altres sistemes, tant a nivell horitzontal com vertical.

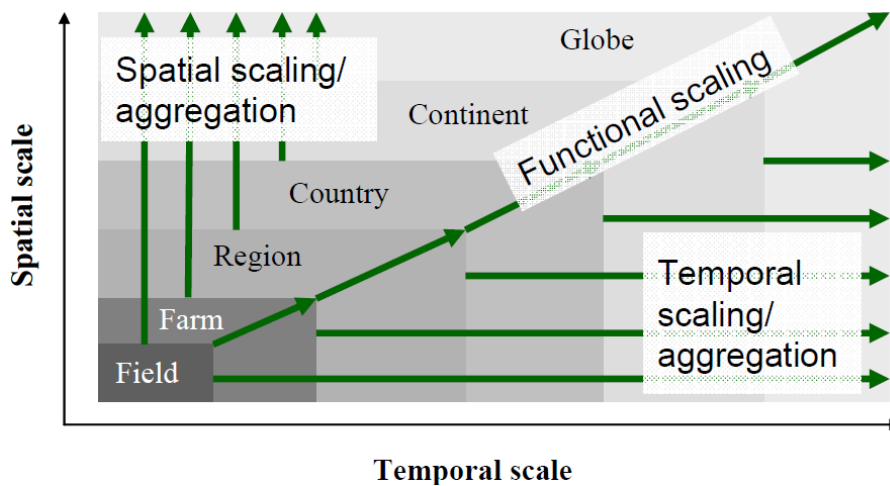


Figura 14: Canvis d'escala espacial i temporal en canviar de nivell organitzacional. Font: Ewert i col. (2006).

#### 5. Principi de la recursivitat

Tot element o sistema és a la vegada el (co)producte i el (co)productor del sistema més ampli en què participa.

#### 6. Principi de la història i la irreversibilitat del sistema

Tot sistema és el fruit de la seva pròpia història, en la seva dialèctica organitzativa interna i de relacions amb el seu entorn, que està marcada per la irreversibilitat i la novetat.

#### 7. Principi de la novetat i l'emergència

De la relació entre les parts/elements emergeixen propietats noves, inexistents en les mateixes parts i no reductibles ni deduïbles a priori d'aquelles.

#### 8. Principi de l'autonomia relativa

A més de les relacions entre les parts i de les parts entre si, també hi ha una relació de dependència/condicionament i una relació d'independència-autonomia. Aquesta autonomia relativa pot ser més gran o més petita, però mai no és absoluta.

#### 9. Principi de l'escala i de l'equilibri

Tot sistema, i per això tot en l'univers, té la seva escala adequada (òptima) de funcionament i els seus límits mínims i màxims absoluts fora dels quals no pot existir.

#### 10. Principi de la multiplicitat de valors

No existeix un criteri únic per valorar un sistema ni cap sistema és jeràrquicament més rellevant que un altre. Tot depèn de la perspectiva o dels objectius considerats. Al mateix temps hi ha una multiplicitat de dimensions i valors incommensurables entre si.

La complexitat sorgeix en intentar aplicar el pensament sistèmic.

Orientats a la recerca	Orientats a polítiques
Representació exacta dels processos	Representació adequada dels processos
La complexitat i la resolució reflecteixen els processos	La complexitat i la resolució reflecteixen les dades
Representació precisa de la variabilitat espacial	Una representació adequada (reflecteix les dades existents)
Científicament innovadors	Científicament comprovat
Planteja més preguntes que respostes	Proporciona respostes simples (?) i definitives (?)
Interessant i valuós en si mateix	Interessant i que val la pena només per la seva producció
Nombres validables	Resultats validables
Tant complex com necessari	Tan simple com sigui possible

Taula 3: Característiques diferenciadores dels models desenvolupats per la recerca científica i per l'anàlisi i l'estudi de polítiques. Font: Oxley i col. (2004).

### 2.3.4 Escales temporals i espacials i nivells d'organització

Amb la paraula *escales* fem referència a les dimensions espacials i temporals que es poden assignar a una entitat o un fenomen, és a dir, que se'ls poden assignar unitats de mesura. Amb el terme *nivells* fem referència als nivells d'una organització en un sistema organitzat jeràrquicament, per exemple, en un sistema biològic. Els canvis d'escala es poden produir de forma contínua, tant espacialment com temporalment; els canvis de nivell, però, són discrets, és a dir, passen d'un nivell a un altre (Ewert i col., 2006).

A la figura 14 es presenta esquemàticament la relació entre escales i nivells. Quan es produeix un canvi de nivell, anomenat *escalat*, per exemple en passar d'una granja a una regió, hi ha un canvi d'escala en les resolucions espacials i temporals del model. En canviar d'escalat, pot ser necessari incloure processos en el model que en nivells inferiors no eren importants, fins al punt que si els processos dominants varien, serà necessari canviar el model. El terme agregació de la figura fa referència a la suma, al nombre o a la mitjana dels valors inferiors.

### 2.3.5 Modelització

Els models són una representació simplificada de la realitat a un escala diferent, en què es destaquen uns elements i unes relacions per damunt de les altres. Els models, segons Oxley i col. (2004), poden estar enfocats a la recerca o a la presa de decisions, i un model determinat pot estar situat en un rang entre aquests dos models extrems.

Els models de recerca habitualment estan enfocats cap als processos, en que les escales temporals i espacials i els nivells de complexitat només depenen de les característiques dels processos que s'estan estudiant.

En canvi, els models enfocats a la presa de decisions estan primordialment orientats a les respostes polítiques pràctiques. Els temes abordats determinen la resolució temporal i espacial en què estan representats els processos, en què el nivell de detall i el grau de complexitat estan determinats, en general, per la disponibilitat de dades i els constreyniments imposats per les organitzacions quant a costos i temps (Oxley i col., 2004).

La taula 3 resumeix les diferències bàsiques entre tots dos models. El model orientat a polítiques s'enfoca a

resultats validables, utilitzant eines científicament comprovades i mantenint el sistema tan simple com sigui possible; en aquest model només les dades disponibles marquen el grau de complexitat i la resolució. Els models orientats a la recerca, en canvi, són tan complexos com sigui necessari, requereixen una variabilitat espacial precisa i són interessants i valuosos per si mateixos.

Tot seguit presentem un resum de les eines utilitzades habitualment per al càlcul i la modelització de la sostenibilitat:

**Dinàmica de sistemes:** metodologia per entendre el comportament de sistemes complexos al llarg del temps.

**Econometria:** utilitza mètodes i models matemàtics (càlcul, probabilitats, estadística...) per analitzar, interpretar i predir sistemes i variables.

Models estadístics, adients per a l'anàlisi de dades de sostenibilitat:

- Anàlisi de components principals: trobar una combinació lineal de variables que expliquin el conjunt de les dades.
- Anàlisi factorial: reduir el nombre de variables i detectar estructures en la relació entre les variables. Classificar les variables.
- Anàlisi de clústers: descobrir estructures en les dades.
- Anàlisi discriminant: descobrir la influència de les variables explicatives en una classificació natural existent.

**Xarxes:**

- Anàlisi de xarxes (socials, elèctriques, informàtiques, ...) mitjançant la teoria de grafs.
- Xarxes neuronals artificials: es parteix d'un conjunt de dades d'entrada prou significatiu i l'objectiu és aconseguir que la xarxa aprengui automàticament les propietats desitjades.

**Agents:** modelització basada en agents.

- Els agents, guiats per algoritmes i actuant amb objectius, estan distribuïts espacialment i temporalment.
- Permeten representar les conseqüències globals com a resultat de les interaccions locals de les unitats bàsiques (agents).
- Es poden deduir fenòmens i propietats emergents (equilibris, patrons, etc. ).

### 2.3.6 Recerca interdisciplinària

De la lectura dels escrits de Morin (1994); Morin (2005); García (2006) en relació a la forma d'abordar els fenòmens complexos, podem afirmar el següent:

La visió sistèmica aplicada a fenòmens complexos com és la sostenibilitat només pot ser abordada si es planteja des de l'inici com una recerca interdisciplinària.



Aquesta recerca interdisciplinària l'ha de dur a terme un equip multidisciplinari, és a dir, un equip format per persones que provenen d'àmbits de treball diferents, especialistes en els camps respectius. En la integració activa del grup de treball, cal conciliar:

- unitat i diversitat
- especialitat i universalitat

De vegades aquestes persones no han tingut connexió entre elles i poden tenir objectius diferents. Per a un bon funcionament de la recerca, cal elaborar un marc conceptual comú, prenent certa distància respecte dels problemes particulars de cada camp disciplinari. Els investigadors han d'entendre nous camps de visió que els són poc familiars; també han d'incorporar nous mètodes, conceptes i llenguatges provinents d'altres camps, amb noves situacions metodològiques i conceptuals. Es produeix una tensió permanent entre la formació especialitzada i la tasca interdisciplinària.

Cal establir processos d'invençió i experimentació continus amb la finalitat d'obtenir resultats fructífers que allunyin vagues generalitats. Els extrems perillosos són l'especialització absoluta i la generalitat excessiva.

Els processos d'un sistema natural ignoren les fronteres entre disciplines. S'han de cercar respostes comunes a problemes inicialment considerats diferents a causa dels seus orígens socials, físics o biològics. Hi ha un procés de diferenciació d'una totalitat inicial i de reintegració en una totalitat conceptualment enriquida. La construcció del coneixement requereix la dialèctica de la "diferenciació" i la "integració".

## **2.4 El software en el context de la sostenibilitat**

El software és una eina per aconseguir alguna finalitat i la seva elecció o desenvolupament estarà condicionada a diversos factors, com els objectius que es volen assolir o els recursos disponibles. En el context de la sostenibilitat es requereixen uns factors addicionals: que sigui afí a la sostenibilitat i a la recerca científica.

### **2.4.1 Software lliure**

El cor de les TIC és el software. La traducció del pensament humà en la realització de processos es tradueix en el disseny de programes, és a dir, en el desenvolupament de software. El software es pot modificar, de forma que un sistema TIC s'adapti a noves necessitats, més particulars o més generals. L'accés al software, és a dir, al programa tal com està escrit, és necessari per saber què fa un sistema tecnològic i què no està fent. El software lliure no és un software diferent del no lliure. La diferència és que qualsevol persona té dret a accedir-hi, a utilitzar-lo i a adaptar-lo a les seves necessitats. El software lliure garanteix (fins i tot, afavoreix) el dret a ser reconegut com a autor d'un software, sense limitar els drets d'altres persones.

A l'hora de decidir quin software s'ha d'utilitzar per desenvolupar un sistema enfocat a la realització d'anàlisis de sostenibilitat de territoris, anàlisis que qualsevol equip de treball pot dur a terme i en què el territori a estudiar pot ser qualsevol, és clar que caldrà anar adaptant aquest sistema a les circumstàncies i necessitats. Algunes d'aquestes necessitats poden ser previsible, com la utilització de diversos idiomes o sistemes de mesura, però d'altres són imprevisibles i cal facilitar al màxim les possibilitats d'adaptació del sistema a aquests imponderables. Hi ha quatre tipus de software en l'aplicació:

1. Software de desenvolupament, que s'utilitza per construir el sistema: llenguatges informàtics i altres eines de programació.
2. Software de base, necessari per al funcionament del sistema: sistema operatiu, servidors web, base de dades, etc.
3. Software complementari, utilitzat durant el funcionament del sistema: programes estadístics, fulls de càlcul, etc.
4. El mateix software desenvolupat.

Com veurem a continuació aquests tipus de softwares creiem que han de ser software lliure ja que és un software afí a la recerca científica i que promou la sostenibilitat.

#### **2.4.2 Software lliure i sostenibilitat**

La declaració de la societat civil de la Cimera Mundial sobre la Societat de la Informació de desembre de 2003 diu que el software lliure ofereix beneficis i oportunitats des del punt de vista social, educatiu, científic, polític i econòmic. Cal "aprofitar els importants avantatges que ofereixen aquest tipus de programes per als països en desenvolupament, ja que són de baix cost, fomenten i estimulen sòlidament les economies locals i regionals, es poden adaptar a les cultures i als idiomes locals, són més segurs, permeten la creació de capacitats, etc. Els governs han de promoure la utilització de programari lliure en els col·legis, en l'educació superior i en l'Administració pública"(WSIS, 2003).

A continuació analitzem alguns dels avantatges del software lliure en relació amb la sostenibilitat.

##### **Augment de les opcions que poden resoldre una problemàtica. Diversitat més gran**

El moviment de software lliure tendeix a crear múltiples eines que fan la mateixa funció (un tractament de text, una eina estadística, etc.). Això pot crear certa confusió a l'usuari a l'hora d'escollir la "millor" aplicació per a les seves necessitats, però té l'avantatge que la diversitat d'opcions li permet un canvi ràpid en el cas que el projecte no s'adapti a les seves necessitats o estigui mal desenvolupat. Allà on el software propietari tendeix a crear una monocultura, el software lliure crea diversitat.

A internet es publiquen nombrosos softwares desenvolupats com a resposta a necessitats diferents. Això permet, en primer lloc, investigar si hi ha algun desenvolupament que s'adapta a una problemàtica concreta. En segon lloc, si no es troba la solució o les que hi ha no són prou adients, es té l'opció de fer un desenvolupament per crear la solució o adaptar-la d'una existent. El resultat final és que s'haurà contribuït a la creació d'una nova opció per resoldre una problemàtica.

És el software el que s'adapta a la realitat i les necessitats locals i no a l'inrevés: tipus de dades, idioma, processos de captació, singularitats geogràfiques, culturals, etc. El cost de l'aplicació no és, d'entrada, una barrera a la seva utilització. Alguns avantatges són (Bofill, 2004):

##### **Posiciona el software com a bé públic**

La forma d'alliberar, publicar i protegir el programari lliure fa que des del primer dia estigui a disposició, de forma ràpida i gratuïta, de tothom. Passa de ser un element d'ús exclusiu per a uns quants a ser un element d'utilització i construcció de coneixement públic.

##### **Desenvolupament local del software**

El fet de poder disposar dels codis font i dels manuals de desenvolupament comporta que es pugui fer l'adaptació i millora del software de forma totalment local. Per aquest tipus de desenvolupaments el factor humà esdevé el més important, ja que no són necessàries grans infraestructures o inversions. L'adaptació del software a les necessitats locals i les persones que l'han d'utilitzar serà un dels factors clau que potenciarà un desenvolupament local en front d'un desenvolupament extern.

### **Desenvolupament de capacitats informàtiques locals**

El fet de poder disposar de software adaptat a les necessitats locals i de baix cost, augmentarà les possibilitats d'implementació de solucions TIC locals.

### **Més auto suficiència tecnològica**

Els desenvolupaments locals tendeixen a adaptar-se a la realitat tecnològica de la regió, de forma que el conjunt format per infraestructura TIC, equipament TIC i software està més adaptat a la realitat local, amb menys dependències externes.

### **Més transparència**

La transparència de qualsevol procés està lligada a la visibilitat de totes les accions que es fan per obtenir els resultats. En el cas del software lliure, la transparència està garantida en disposar del codi font i poder "seguir" en qualsevol moment tot el procés que executa un programa.

### **Cicle de vida del hardware més llarg**

Actualment estem en un cercle viciós entre les capacitats de procés del hardware i el software propietari o privatiu. El software augmenta constantment les seves funcionalitats (per exemple, gràfics, integració entre aplicacions, tasques simultànies...), cosa que redueix de forma directa la capacitat de resposta del hardware, la qual cosa obliga l'usuari a adquirir nou hardware si vol estar "al dia" del software.

La utilització de software lliure permet incorporar només les funcionalitats que realment es necessiten en un entorn determinat, tenint en compte les capacitats reals del hardware. Això permet allargar els anys d'utilització del hardware.

### **Menor risc quant a la seguretat de les dades**

L'elevada transparència que comporta el software lliure fa que els possibles "forats" de seguretat o la introducció de virus informàtics, troians o cucs es puguin detectar i anul·lar més fàcilment.

### **Cost menor**

El software lliure és de lliure utilització. Es pot comercialitzar el software lliure, però no es pot vendre el codi en si o cobrar-ne l'ús.

## **2.4.3 Recerca científica i desenvolupament de software**

El mecanisme de desenvolupament de programari lliure té importants similituds amb la recerca científica. En ambdós entorns és habitual:

- El treball col·laboratiu.
- La publicació de resultats i la forma en què s'han obtingut.
- La reutilització de tècniques i resultats per mitjà de la citació de les fonts.

- La crítica dels altres membres de la comunitat, que enriqueix els resultats, augmenta el reconeixement i el prestigi de la feina duta a terme. La valoració personal està en funció del nombre de publicacions i de citacions.

L'ús de software lliure és molt beneficiós per a l'àmbit de la recerca, ja que fàcilment pot donar resposta a un dels requeriments del mètode científic: la reproductibilitat amb els mateixos instruments científics.

## 2.5 Eines de mesura de la sostenibilitat

Suposant que existís un acord quant al significat de sostenibilitat i els aspectes de la societat que són sostenibles i els que no, i una voluntat de transformar la societat envers la sostenibilitat, ens trobaríem que cal gestionar aquest canvi. Així, caldria disposar d'eines que afavorissin la presa de decisions per trobar un camí adequat, amb els mínims errors. Per gestionar aquest canvi d'un estat a un altre, cal poder mesurar l'estat de partida i avaluar el grau de consecució de l'objectiu fixat. És a dir, és bàsic poder establir elements de mesura de la sostenibilitat, introduint conceptes temporals, d'evolució. Per gestionar cal mesurar.

### 2.5.1 Mesura

Per mesurar la sostenibilitat s'utilitzen les mateixes eines que per mesurar la situació medi-ambiental, social o econòmica: variables, indicadors i índexs. De forma general, el paper fonamental dels indicadors és indicar el grau d'acostament o d'allunyament respecte als objectius comuns del desenvolupament sostenible amb la finalitat d'informar-ne el públic, els prenedors de decisions i els gestors (Parris i Kates, 2003).

Al llarg del treball, utilitzarem indistintament *variable* o *indicador* per referir-nos a indicadors, índexs i variables, diferenciant-los quan sigui necessari. A continuació definim cadascun d'aquests termes.

**2.5.1.1 Variable** Una variable és un símbol que representa un element qualsevol d'un conjunt de valors no especificats.<sup>6</sup> Hi ha diversos tipus de variables en funció del seu àmbit d'aplicació o científic: variable estadística, variable econòmica, variable termodinàmica, etc. La variable *mesura de la sostenibilitat* no existeix. Per mesurar un sistema com ara la sostenibilitat es fan servir tot tipus de variables, sense limitar-se a cap de la ciència en particular. Les variables de mesura de la sostenibilitat són totes les variables d'interès que es poden trobar i que són rellevants per a la finalitat.

En general, els tipus de variables utilitzades seran quantitatives, amb valors numèrics reals, ja que són un tipus d'informació més fàcil d'obtenir, tractar, interpretar i representar. No obstant això, hi ha variables d'altres tipus molt necessàries per als estudis: variables qualitatives, variables lògiques, variables geogràfiques, etc.

**2.5.1.2 Indicadors** Un indicador és una variable que té com a objectiu permetre avaluar l'estat d'un objecte o d'un fenomen en un moment determinat i poder comparar-lo amb el seu estat passat o amb altres objectes similars. Un indicador quantifica i simplifica el fenomen i ens permet entendre realitats difícils de mesurar. Per Hammond i col. (1995), els indicadors tenen dues característiques que els defineixen:

---

<sup>6</sup>Segons la Reial Acadèmia de la Llengua Espanyola: "Magnitud que puede tener un valor cualquiera de los comprendidos en un conjunto."

- *Quantifiquen* la informació, de forma que el seu significat és més evident.
- *Simplifiquen* la informació disponible sobre fenòmens complexos, de forma que en milloren la comunicació.

Per Gallopín i col. (1997), les funcions principals dels indicadors són:

- Avaluar condicions i tendències.
- Comparar llocs i situacions.
- Avaluar les condicions i tendències en relació amb els objectius i les metes.
- Proporcionar informació d'alerta primerenca.
- Anticipar les condicions futures i les tendències.

Els indicadors són l'element principal utilitzat en la mesura de la sostenibilitat. Idealment, els indicadors de sostenibilitat han de fer funcions pro-actives i reactives. Són com un sistema d'alerta que pot donar bons resultats sempre que es dissenyin amb cura, s'observin els valors sistemàticament i s'interpretin els resultats amb saviesa. Poden mostrar aspectes crítics de l'estat socioeconómicoambiental d'una comunitat o territori i poden influenciar les decisions polítiques, avaluant-ne l'efectivitat (Nathan i Reddy, 2008).

**2.5.1.3 Índexs** Els índexs són valors que comuniquen informació rellevant d'un problema específic; s'obtenen mitjançant l'agregació i ponderació d'indicadors i/o de variables, es consideren com a components del fenomen que es vol estudiar. Els indicadors i/o variables es ponderen donant-los un pes relatiu respecte de la resta, amb la finalitat de crear l'índex (Sureda, 2007).

Entre els índexs més coneguts hi ha:

**Índex de desenvolupament humà (HDI)**, quantifica els aspectes econòmics i socials del desenvolupament; es calcula a partir dels índexs d'esperança de vida, nivell d'instrucció i educació i PIB *per capita*.

**Índex de desenvolupament de les ciutats (CDI)**, es basa en cinc subíndexs: índex d'infraestructures, índex de residus, índex de salut, índex d'educació i índex de producció.

**Índex del planeta viu (LPI)**, proposat per la *World Wide Fund for Nature* avalua la biodiversitat global; es construeix a partir dels indicadors de l'àrea de cobertura boscosa natural, la població d'espècies d'aigua dolça i la població d'espècies marines.

**Petjada ecològica**, mesura l'àrea necessària per produir els recursos que utilitza una població amb un nivell de vida determinat i per absorbir els residus que genera .

Per calcular els índexs s'han de seguir uns passos que Böhringer i Jochem (2006) resumeix de la forma següent:

1. Seleccionar les variables o indicadors.
2. Normalitzar les variables amb l'objectiu de fer-les comparables, és a dir, transformar les diferents escales de les variables en un únic barem.

<u>Index</u>	<u>Scale</u>	<u>Normalization</u>	<u>Weighting</u>	<u>Aggregation</u>
Living Planet Index	RNC	$\left( \frac{x_{i,t}}{x_{i,t-1}} \right)$	equal	$\sqrt[N]{\prod_{i=1}^N \frac{x_{i,t}}{x_{i,t-1}}}$
Ecological Footprint	RNC	transformation in square km	equal	$\sum_{i=1}^N x_i$
City Development Index	RNC	$\frac{x_i - \underline{x}}{\bar{x} - \underline{x}}$	2 steps PCA/experts	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i x_i$
Human Development Index	RNC	$\frac{x_i - \underline{x}}{\bar{x} - \underline{x}}$	equal	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$

Taula 4: Mètodes d'alguns índexs de DS en relació amb l'escala, la normalització, el pes i l'agregació. Font: Böhringer i Jochem (2006), vista parcial.

3. Assignar un pes a les variables en funció del seu valor per a l'índex. Si un indicador és més "important" que un altre, al primer se li assigna un pes més que al segon durant el procés d'agregació.
4. Agregar els valors normalitzats mitjançant algun tipus de fórmula o càlcul (per exemple, mitjanes aritmètiques).

A la taula 4 es presenten alguns índexs amb els mètodes utilitzats per a la normalització, el pes i l'agregació.

## 2.5.2 Eines de mesura i coneixement

Com es relacionen les eines de mesura amb els processos de conversió de dades en coneixement tractats a l'apartat 2.2.1?

Les eines per mesurar la sostenibilitat són les variables, els indicadors i els índexs. Hammond i col. (1995) representa gràficament els indicadors i els índexs agregats com la part superior d'una piràmide d'informació que té per sota dades que s'han obtingut de l'anàlisi i el monitoratge de dades primàries (figura 15).

A la figura 16 hem situat la piràmide de dades de Hammond i col. (1995) al costat del procés de conversió de dades en coneixement de Checkland i Holwell (1998) de la manera següent:

- Les dades o fets de Checkland contenen gairebé la totalitat de les dades primàries.
- El *capta* està format per:
  - Fets seleccionats: les dades primàries i variables d'interès per al model de la realitat que es vol representar.
  - Fets creats: variables deduïdes d'altres variables i de dades primàries.
- La informació són els fets significats: indicadors, índexs i, potser, alguna variable.
- Finalment, veiem que el coneixement, format per grans estructures perdurables en el temps, sobrepassa la piràmide.

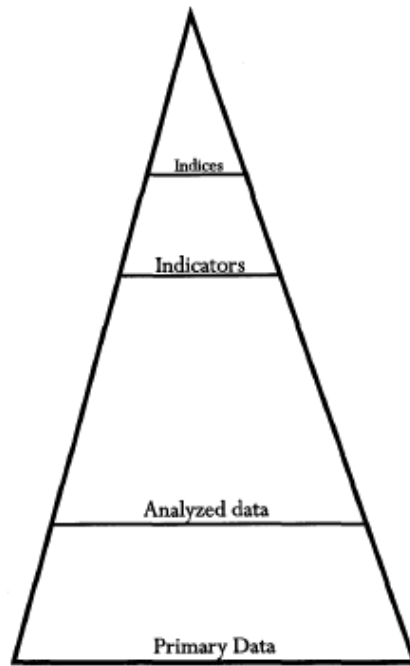


Figura 15: Piràmide de dades de Hammond. A la base hi ha les dades primàries, a partir de les quals s’obtenen les dades analitzades, els indicadors i els índexs. Font: Hammond i col. (1995).

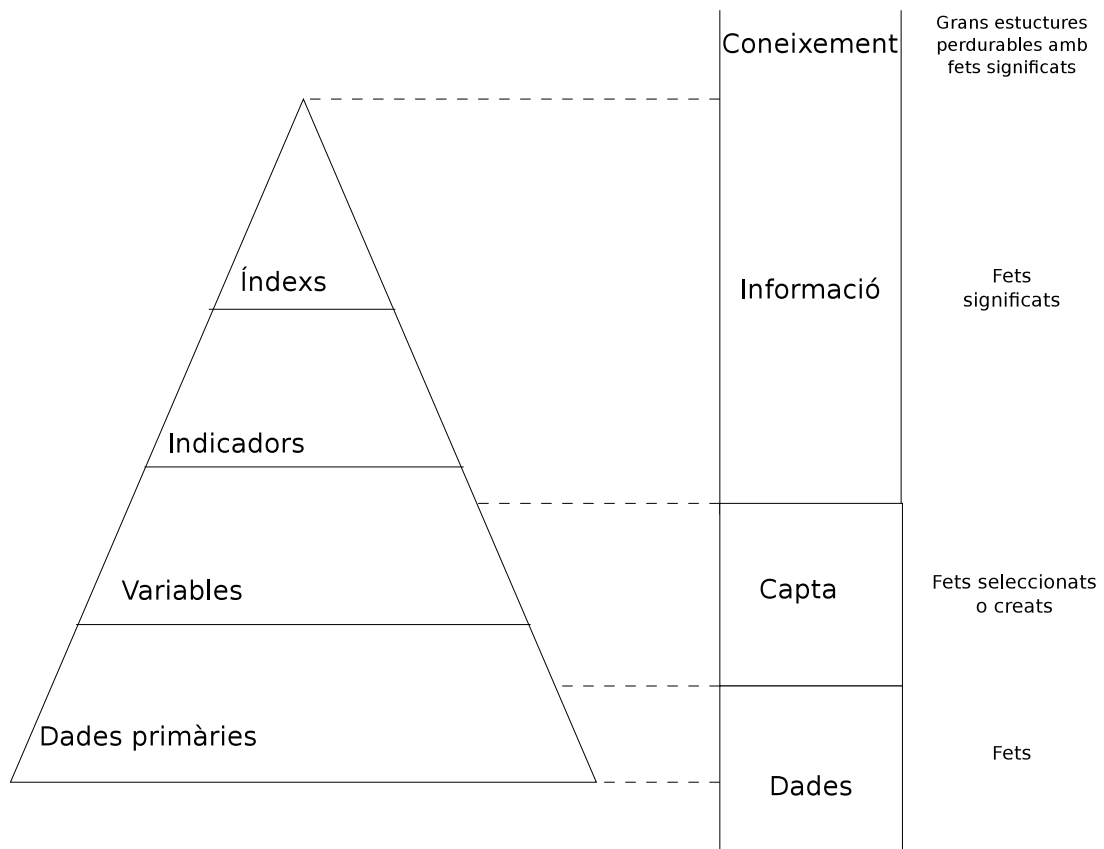


Figura 16: A l’esquerra, piràmide de dades adaptada de Hammond i col. (1995), on hem anomenat “variables” la capa “dades analitzades”. A la dreta, en vertical, el procés de conversió de dades en coneixement de Checkland i Holwell (1998) corresponen a la figura 8 a la pàgina 16.

**2.5.2.1 Sistemes d'Indicadors** La tria dels indicadors adients per a un fenomen conegut pot ser evident, com ara la temperatura del cos d'un malalt. Quan el fenomen no s'ha mesurat mai, perquè no ha calgut (com pot ser el cas de la sostenibilitat) o perquè és un fenomen nou, llavors és molt més complex triar el sistema d'indicadors.

Els indicadors representen un model empíric de la realitat, no la realitat mateixa; no obstant això, han de ser analíticament consistents i han de disposar d'una metodologia de mesura fixada. Hartmut Bossel explica que la ciència no pot establir un mètode objectiu per trobar l'únic i verdader sistema d'indicadors d'un sistema complex. Les raons són ben simples: el nombre de candidats potencials d'un sistema complex és molt gran, mentre que el conjunt d'indicadors ha de ser compacte si es vol que tingui alguna utilitat. Hi ha d'haver un procés de cerca, selecció i agregació. Però mai no hi ha un coneixement total; no hi ha cap garantia que tots els indicadors vitals estiguin a la llista de candidats. Bossel proposa definir sistemes participatius (científics de diferents àrees de coneixement, àmbits socials, orientacions polítiques, etc.) i utilitzar esquemes recursius Bossel (1999).

Com es pot avaluar un sistema d'indicadors? Un exemple és el següent (SIBIS Consortium, 2003; Barjak, 2003, en línia): la Comissió Europea va posar en marxa un projecte europeu per definir un sistema d'indicadors, format per 133 indicadors amb un nucli de 34 indicadors clau, que permet mesurar la previsible evolució de la societat cap a la societat de la informació, compostat . El sistema d'avaluació escollit per triar els indicadors va ser avaluar la qualitat de cada indicador en quatre eixos (veure la caixa a la pàgina següent): *benchmarking*, validesa, fiabilitat i disponibilitat i accessibilitat de les dades; a cada eix es defineixen uns subeixos que es puntuen amb un valor entre 0 i 3. Per obtenir el resultat final de cada eix es pondera el valor de cada subeix i s'arrodoneix a la unitat. Llavors els indicadors escollits es publiquen conjuntament amb l'avaluació obtinguda per cada eix. A tall d'exemple, a la taula 6 es pot veure el resultat del test d'avaluació de l'indicador "Amplada de banda disponible entre centres de recerca".

L'Agenda 21 va ser adoptada per 178 governs durant la Cimera de la Terra de 1992; entre les activitats que calia dur a terme especificades en el capítol 40 hi ha el desenvolupament del concepte d'indicadors de desenvolupament sostenible, amb l'objectiu d'identificar aquests indicadors i promocionar-ne l'ús ((UN-CED), 1992). Aquell any es va crear la Comissió de Desenvolupament Sostenible de les Nacions Unides (CDS). Aquest organisme ha publicat des de llavors conjunts d'indicadors perquè serveixin de referència als estats membres per implementar els propis sistemes d'indicadors. La primera publicació és de l'any 1996 i té un nucli de 134 indicadors. La segona publicació és del 2001 i es van triar 58 indicadors com a nucli; els indicadors es van organitzar en els quatre eixos de la sostenibilitat, en 16 temes i en 28 subtemes. L'agost del 2007 la Divisió per al Desenvolupament Sostenible de les NU va anunciar la tercera revisió dels indicadors; en aquesta revisió hi ha un nou nucli de 50 indicadors bàsics, d'un total de 96 indicadors de desenvolupament sostenible, agrupats en 14 temes. Aquests indicadors no estan categoritzats en els quatre eixos del desenvolupament sostenible. Els indicadors bàsics compleixen tres criteris: (1) cobreixen temàtiques rellevants per al desenvolupament sostenible en molts països; (2) proporcionen informació crítica no disponible amb els anteriors indicadors bàsics, i (3) el seu càlcul és factible per a molts països amb dades que ja tenen o que poden aconseguir en un termini i amb un cost raonables United Nations (UN) (2007).

**2.5.2.2 Problemàtiques dels sistemes d'indicadors** Els sistemes d'indicadors no estan mancats de diverses problemàtiques. A tall d'exemple, esmentem el possible abús en l'agregació de dades. Winograd



- 
1. Tests de referència (*benchmarking*), conforme que l'indicador està relacionat intrínsecament amb el concepte que es vol mesurar. Subeixos:
    - (a) L'indicador és un concepte rellevant d'allò que es vol mesurar.
    - (b) L'indicador està orientat a l'objectiu, és a dir, no és ambigu.
    - (c) L'indicador té una variació en el temps important, és a dir, té variància.
  
  2. Validesa. Mesura realment el que es vol mesurar. Subeixos:
    - (a) Validesa pronòstic: es tracta de comparar predicció i desenvolupament real de l'indicador en diferents moments. Aquest subeix no s'avalua per indicadors de la societat de la informació per indisponibilitat general de sèries temporals.
    - (b) Validesa externa: comparar amb altres indicadors que tenen objectius similars.
    - (c) Validesa de construcció: els resultats de l'indicador s'interpreten sobre la base del concepte que el sustenta.
  
  3. Fiabilitat. L'indicador, en el mateix context, dóna el mateix resultat. La fiabilitat es pot comprovar mitjançant repeticions o la utilització de mostres.
  
  4. Disponibilitat i accessibilitat de les dades necessàries. Subeixos:
    - (a) Completesa: hi ha dades comparables per a tots els països.
    - (b) Disponibilitat en el temps.
    - (c) Repetiment. Les dades obtingudes provenen d'una font regular de dades i hi ha sèries temporals.

Puntuacions per cada subeix.

- 0: L'indicador té problemes rellevants a l'eix o subeix.
- 1: Es pot avaluar, però té menys del 50% de les *best practices*.
- 2: Té entre el 50% i el 100% de les *best practices*.
- 3: El rendiment de l'indicador és immillorable.
- : No es pot avaluar ja que no hi ha la informació necessària; per exemple, no existeix cap indicador comparable per comprovar-ne la validesa.

---

Taula 5: Eixos d'avaluació de la qualitat d'un indicador. Font: Barjak (2003).

Eix	Ràtio i subeixos (a,b,c)	Ràtio
<i>Benchmark</i>	3,3,3	3
Validesa	-, -, 1	1
Fiabilitat	2	2
Disponibilitat i accessibilitat	2,3,3	3

Taula 6: Exemple de test d'avaluació d'un indicador. Amplada de banda disponible entre centres de recerca.

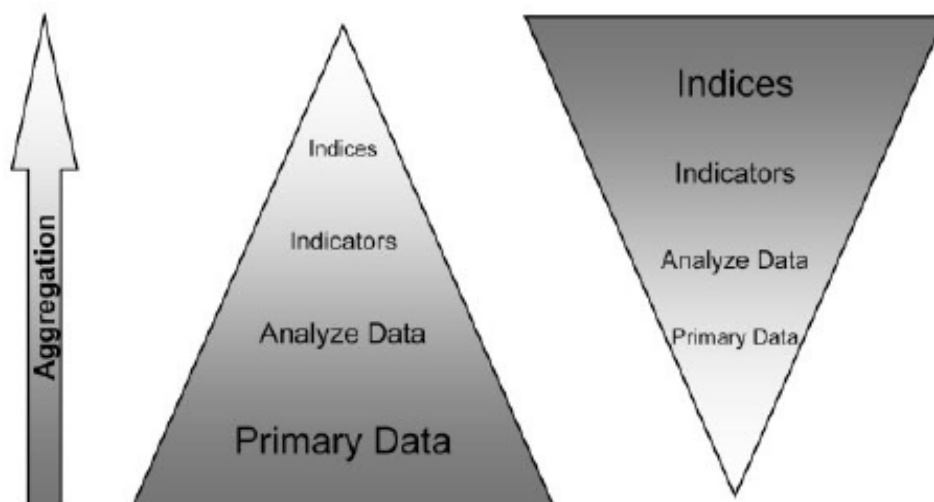


Figura 17: El triangle de Hammond de l'esquerra es pot transformar en el triangle invertit de la dreta, a causa de l'abús en la generació d'índexs i d'indicadors a partir d'un nombre limitat de dades primàries. Font: Winograd i Farrow (2004).

i Farrow (2004) descriu aquesta problemàtica en forma d'un triangle invertit a la figura 17: d'un nombre reduït de dades primàries es generen multitud de variables, indicadors i índexs.

## 2.6 Models conceptuals

En general, els models i marcs conceptuals<sup>7</sup> permeten visualitzar un fenomen determinat des de diferents punts de vista o enfocaments. Un model conceptual ha de ser útil per investigar els fets rellevants que expliquen l'objecte estudiat, sense modificar-ne l'essència. No obstant això, alhora que facilita la comprensió del problema en simplificar-ne l'abast, també pot induir a error si n'obvia algun factor important.

Un model conceptual és una estructura per organitzar, agrupar o classificar un sistema d'indicadors. Les funcions dels models conceptuals, segons Gallopín (2006), són:

- Organitzar els indicadors de forma coherent.
- Compatibilitzar els indicadors.
- Guiar la recollida d'informació.
- Comunicar una síntesi als usuaris de la informació.
- Sugerir agrupaments lògics per integrar informació relacionada.
- Identificar buits d'informació.

La sostenibilitat és una àrea d'estudi o científica emergent, amb diversitat de principis, que ha generat molts sistemes d'indicadors i que també ha afavorit el desenvolupament de diferents marcs conceptuals. Les diferències principals entre els marcs són la manera en què conceptualitzen les dimensions de la sostenibilitat, les interconnexions entre aquestes dimensions, la manera com s'agrupen i els conceptes que justifiquen la selecció i agregació d'indicadors.

<sup>7</sup>Al llarg del treball utilitzem els mots *marc* i *model* com a sinònims.

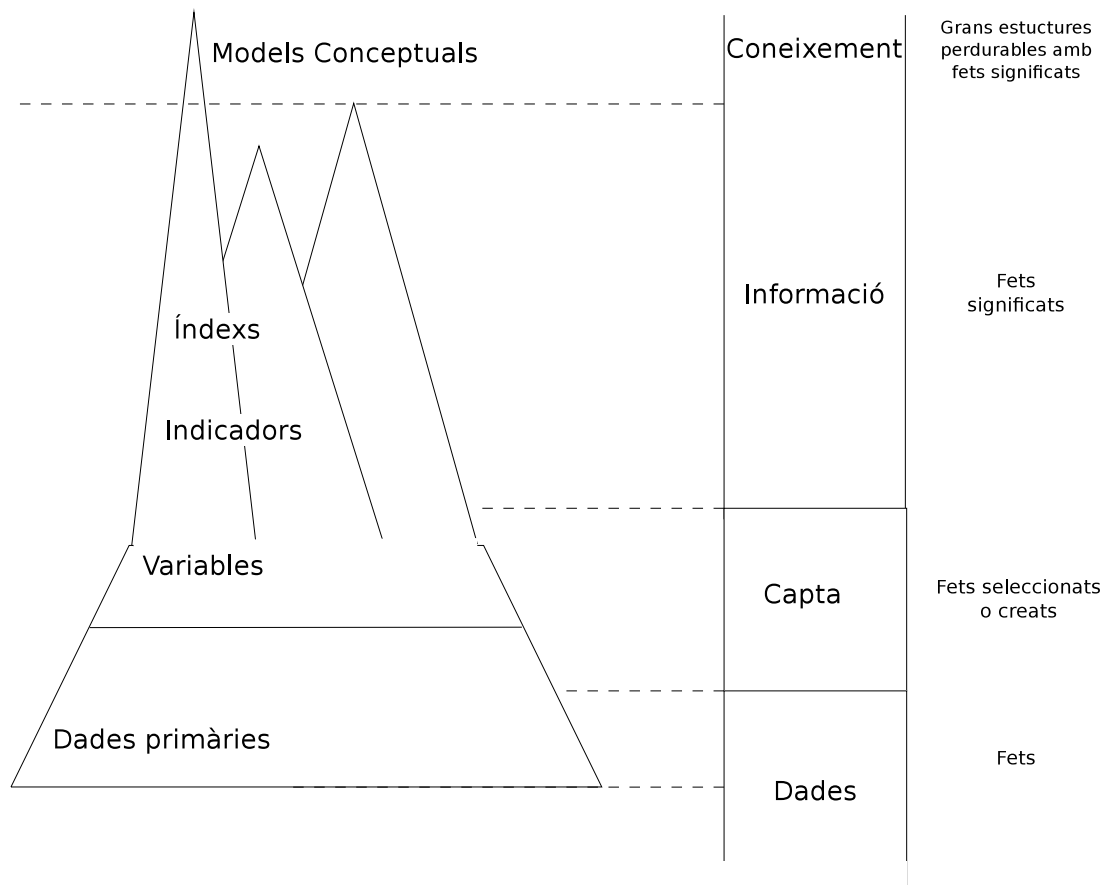


Figura 18: Podem visualitzar els models conceptuals com a diferents piràmides de dades de Hammond i col. (1995), amb unes dades base comunes, amb els pics que se separen en funció dels criteris i objectius. A la dreta, en vertical, procés de conversió de dades en coneixement de Checkland i Holwell (1998) corresponen a la figura 8 a la pàgina 16.

Finalment, els models conceptuals treballen les dades, cosa que proporciona nova informació en funció dels criteris i objectius. Podem visualitzar els models conceptuals com a diferents piràmides de dades de Hammond i col. (1995), amb unes dades base comunes i algunes variables comunes, però en les quals a mesura que s'escala o es construeix informació, els indicadors i els índexs utilitzats divergeixen (figura 18).

Tot seguit exposem resumidament els models conceptuals següents:

- Pressió-Estat-Resposta (PSR).
- Drivers-Pressió-Stat-Impacte-Resposat (DPSIR).
- Triangle de Daly.
- Grup Balaton (Hartmut Bossel).
- ESALC (Gilberto Gallopín).
- Monet.
- Centre Sostenibilitat de les Comarques Gironines.

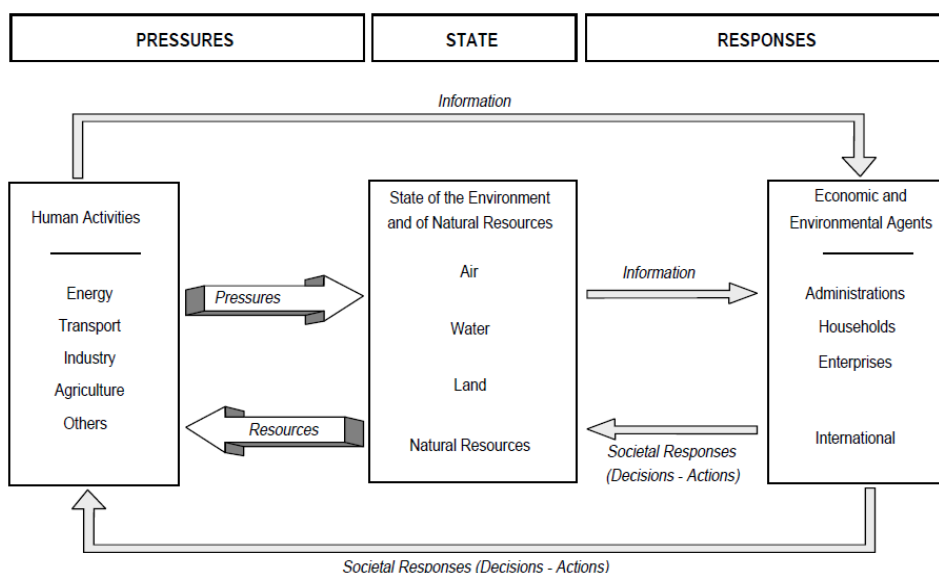


Figura 19: Model P-S-R. Font: OCDE (1993).

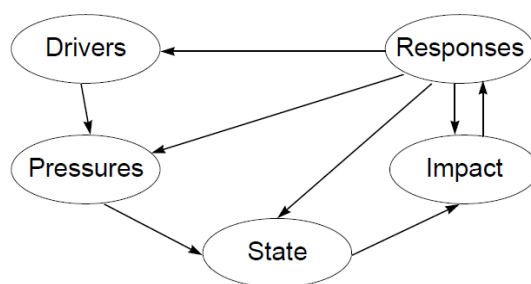
## P-S-R

El marc P-S-R (pressió-estat-resposta) ha estat desenvolupat per l'OCDE. Es basa en un concepte de causalitat: les activitats humanes exerceixen pressions sobre el medi ambient que canvien la qualitat i la quantitat dels recursos naturals. La societat respon als canvis a través de polítiques medi ambientals, econòmiques i sectorials. Aquesta resposta de la societat forma un bucle que realimenta les pressions per activitats humanes (figura 19). En conseqüència, el marc de referència distingeix tres tipus d'indicadors: de pressió ambiental, de l'estat ambiental i de la resposta de la societat.

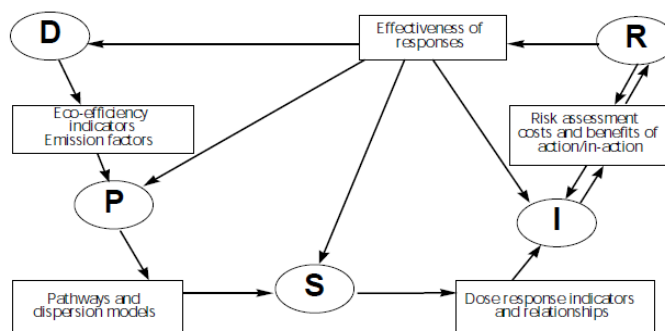
## DPSIR.

Aquest marc proposat per l'EEA (Smeets i Weterings (1999)) és una evolució dels marcs P-S-R i D-P-R (*drivers*-pressió-resposta) de la Comissió de Desenvolupament Sostenible de les NU en què s'analitzen les relacions causa-efecte entre els sistemes socials, econòmics i mediambientals (figura 20). Es tracta d'un marc enfocat als aspectes mediambientals, amb l'objectiu de donar una resposta útil per a les polítiques de gestió, amb una informació clara i precisa sobre quines són les forces motrius que produeixen canvis en el medi ambient i quines són les pressions que exerceixen, quin és l'estat del medi ambient, quins impactes són deguts als canvis en la qualitat del medi ambient i quines són les respostes que dona la societat per solucionar-los. Els elements que formen el marc DPSIR són:

- *Drivers*: forces motrius dels canvis en el medi ambient, per exemple, producció industrial.
- *Pressures*: pressions sobre l'ambient; per exemple, aigües residuals.
- *Stat*: estat ambiental; per exemple, qualitat de l'aigua dels rius.
- *Impact*: impactes en la població, l'economia i els ecosistemes; per exemple, aigua no potable.
- *Responses*: resposta de la societat; per exemple, depuradores.



(a) Elements



(b) Enllaços entre els elements

Figura 20: Model DPSIR

Cadascun d'aquests elements es caracteritza amb els seus indicadors, així com amb els enllaços entre els elements (figura 20b).

A tall d'exemple, a la figura 21 es mostra un esquema DPSIR genèric sobre l'eutrofització antropogènica sueca de l'agricultura, contaminació de l'aigua causada per excés de nutrients de les plantes, en el mar Bàltic. La figura 22 mostra un DPSIR sobre els canvis en l'ús de terres agrícoles a la conca del riu Lamone, al nord d'Itàlia. Finalment, a la taula 7 es mostren els indicadors utilitzats per elaborar escenaris dels impactes de les forces socio-econòmiques sobre l'ecosistema marí del mar Negre.

## El triangle de Daly

Proposat pel Grup Balaton Meadows (1998), aquest marc posa l'accent en el fet que l'entorn natural és la precondition per a la vida humana i que l'economia no és un fi en si mateixa, sinó un mitja per aconseguir els "fins últims". L'economia ens serveix sempre que conserva i recompon els "mitjans últims" (el medi ambient) i ens permet aconseguir els "fins últims" (el benestar).

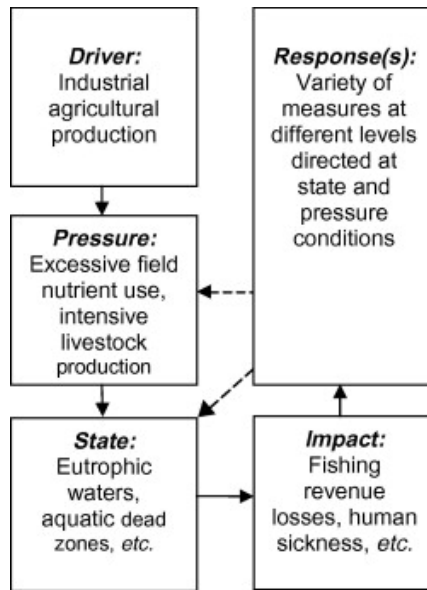


Figura 21: Esquema DPSIR genèric per a l'eutrofització antropogènica sueca de l'agricultura en el mar Bàltic. Font: Ness, Anderberg, i Olsson (2010).

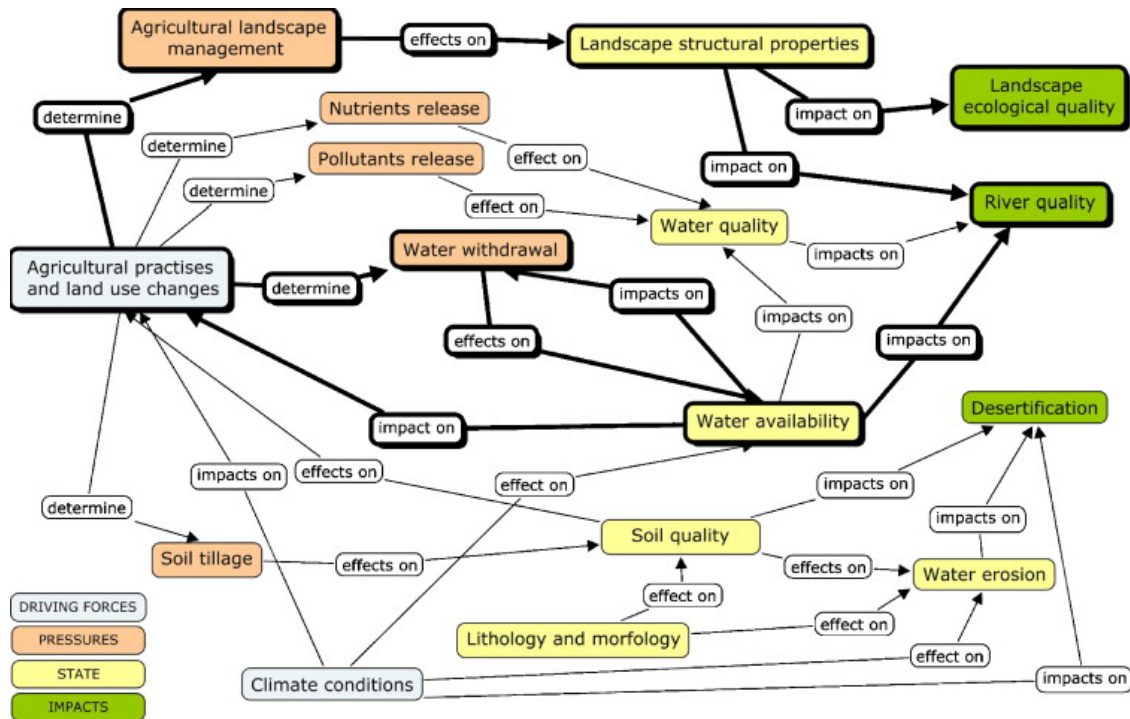


Figura 22: DPSIR dels canvis en l'ús de terres agrícoles a la conca del riu Lamone al nord d'Itàlia. Font: Benini i col. (2010).

	Variable	Indicator	Data type
Drivers	Shipping activity	Tanker traffic through Bosphorus Strait (n vessels)	Time-series
	Fishing effort	Gross tonnage of fleet (Mt)	Time-series
	Dredging and trawling effort	Gross tonnage of dredging and trawling fleet (Mt)	Time-series
	Climate change	SST (°C)	Time-series
	Livestock production	Meat production (Mt)	Time-series
	Fertiliser usage (P)	Consumption (Mt)	Time-series
	UWWT	Waste water $\geq 2$ °C treatment (% of population connected)	Time-series
	Municipal waste	Municipal waste generated (kg/person)	Time-series
Pressures	Landclaim	Agricultural area (103 ha)	Time-series
	Pelagic catch	Anchovy and sprat landings (Mt)	Time-series
	Demersal catch	Turbot landings (Mt)	Time-series
	Hypoxia	Area of hypoxia ( $km^2$ )	Time-series
States	Transparency	Secchi depth (m)	Time-series
	Phytoplankton	Total summer density (cells/l)	Time-series
	Introduced species	Number of introduced species (n)	Interpolated time-series
	Pelagic predator stocks	Mackerel, bonito, and bluefin biomass (Mt)	Standardized time-series
	Small pelagic stocks	Sprat and anchovy spawning biomass during early May (103 Mt)	Time-series
	Demersal stocks	Turbot spawning stock biomass (Mt)	Time-series
	Zoobenthos	Mytilus biomass ( $g m^{-2}$ )	Metadata analysis
	Seagrass habitat	Seagrass habitat status (% lost/degraded)	Expert opinion
	Phyllophora habitat	Area of Phyllophora meadow ( $km^2$ )	Time-series
	Cystoseira habitat	Cystoseira habitat status (% lost/degraded)	Expert opinion
Wetland habitat	Wetland habitat status (% lost/degraded)	Expert opinion	

Taula 7: Indicadors pr al model DSPiR dels impactes de les forces socioeconòmiques sobre l'ecosistema marí del mar Negre. Font: Langmead i col. (2009).

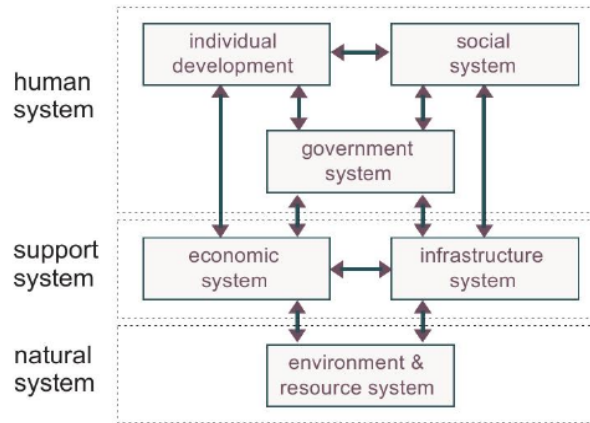


Figura 24: Model conceptual del Grup Balaton Bossel (1999).

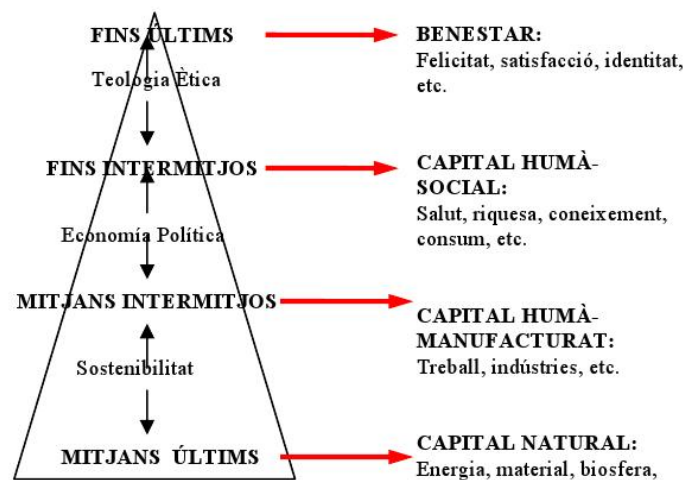


Figura 23: Triangle de Daly.

## Bossel

El Grup Balaton identifica des d'un punt de vista sistèmic sis subsistemes essencials: desenvolupament individual, sistema social, govern, infraestructures, sistema econòmic i recursos i medi ambient. Aquests subsistemes s'agrupen en tres subsistemes, el sistema humà, el sistema de suport i el sistema natural, que corresponen a les tres categories de capital: capital humà, capital estructural i capital natural. Perquè el sistema modelat sigui viable, cal que cada un dels tres subsistemes funcioni correctament (figura 24).

El model proposa un mètode per trobar els possibles indicadors representatius d'un subsistema. Aquest mètode avalua l'encaix dels indicadors en cada subsistema usant el terme *orientadors*. Els orientadors utilitzats són existència, efectivitat, llibertat d'acció, seguretat, coexistència i necessitats psicològiques. L'objectiu és trobar el menor nombre possible d'indicadors, però tants com siguin necessaris. A la taula 8 es relacionen els tipus d'indicadors que es poden associar a cada un dels subsistemes del model.

## ESALC

El model conceptual utilitzat per al projecte ESALC (Evolución de la Sostenibilidad en América Latina y el Caribe) es basa en un sistema socioecològic amb quatre subsistemes que coincideixen amb les dimensions



Subsistemes	Tipus d'indicadors
Desenvolupament individual	Llibertats cíviques, drets humans, salut, treball, etc.
Sistema social	Població, ètnies, grups socials, seguretat social, etc.
Govern	Govern, administració, participació, democràcia, dret, etc.
Infraestructures	Ciutats, transport, sistemes energètics, etc.
Sistema econòmic	Producció i consum, comerç, treball, atur, etc.
Recursos i medi ambient	Entorn natural, atmosfera, recursos naturals, ecosistemes...

Taula 8: Subsistemes i tipus d'indicadors del model conceptual de Bossel.

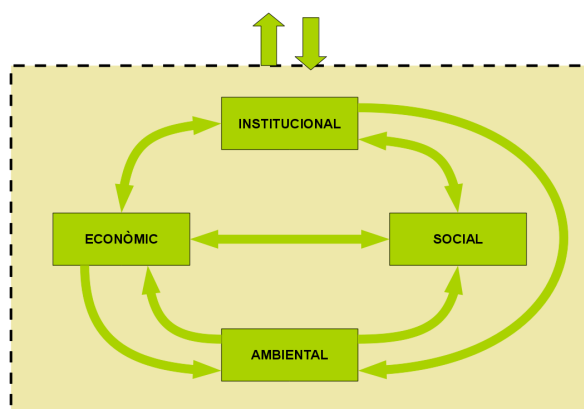


Figura 25: Model conceptual de Gallopín (ESALC).

del desenvolupament sostenible: el social, l'econòmic, l'institucional i l'ambiental (figura 25). El criteri subjacent al model és la millora sostenible de la qualitat de vida de la població. Les fletxes entre els subsistemes representen els principals fluxos, interrelacions o acoblaments funcionals. Les fletxes que surten del sistema i que hi entren representen la interacció amb el món extern (per exemple, comerç internacional, entrades i sortides d'energia, etc.).

Les interrelacions són de dos tipus; d'una banda, fluxos de matèria i/o energia (per exemple, residus i recursos naturals) i, de l'altra, fluxos de control i/o accions que generen canvis en els subsistemes receptors (per exemple, fluxos financers i establiment d'àrees naturals protegides)(Gallopín, 2006).

Entre els quatre subsistemes es poden distingir set àrees de flux més una àrea de flux entre el model i l'exterior del sistema. Les àrees de flux es poden subdividir tenint en compte el sentit del flux; per exemple, entre el sistema econòmic i el sistema ambiental hi ha un flux amb dos sentits diferenciats. Quant als indicadors, Gallopín els classifica en dues categories: de "desenvolupament" o de "sostenibilitat".

Com a exemple d'aplicació del model conceptual de Gallopín tenim l'Informe de sostenibilitat a Catalunya (Felipe i col., 2008), en què es van triar els indicadors de la taula 9.

## Monet

Model desenvolupat per diverses agències estadístiques suïsses. Consisteix, d'una banda, en un marc de referència, desenvolupat a partir de la definició de *sostenibilitat* de Brundtland, amb tres grans objectius: solidaritat social, eficiència econòmica i responsabilitat ambiental. Cada objectiu es recolza en una sèrie de postulats espacialment genèrics i perdurables en el temps. Els indicadors utilitzats s'han de relacionar amb

Àrea o flux entre àrees	Indicadors
Institucional	TIC, despesa R+D, bon govern...
Econòmic	PIB, productivitat, valor afegit...
Social	Demografia, seguretat, habitatge...
Ambiental	Biodiversitat, aigua, territori...
Institucional → ambient	Despesa medi ambient. Àrees protegides
Institucional → social	Despesa pública: sanitat, educació...
Institucional ↔ econòmic	Patents, certificats EMAS...
Econòmic → ambiental	Residus, petjada, fertilitzants
Ambiental → econòmic	Energia, aigua, pesca...
Ambiental → social	Estat aigua, emissions gasos, contaminació
Econòmic → social	Renda disponible familiar
Social → econòmic	Atur
Social → institucional	Participació, abstenció eleccions

Taula 9: Model conceptual de Gallopín. Indicadors de l'Informe de sostenibilitat de Catalunya 2006 (Felipe i col., 2008).

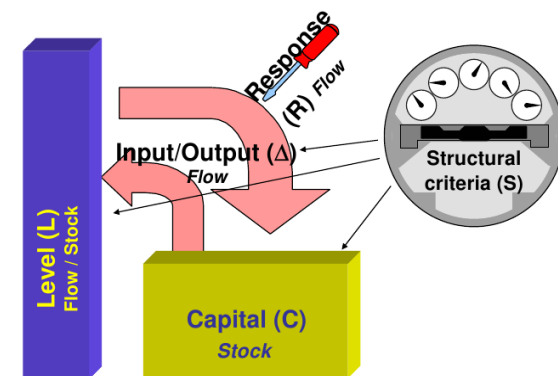


Figura 26: Model Monet. Font: Altwegg, Roth, i Scheller (2004)

un o més postulats. D'altra banda, defineix un marc sistèmic similar al model DPSIR, amb la particularitat que inclou els factors socials i econòmics a més dels factors ambientals (Montmollin i Scheller, 2007).

El model sistèmic està format pels processos (figura 26):

- *Nivells, L*, flux, grau en què les necessitats de les persones i la societat són satisfetes.
- *Capitals, C*, estat actual i futur de les infraestructures i els recursos mediambientals, econòmics i socials. Mostra l'abast de la solidaritat intergeneracional.
- *Entrada/sortida, Δ*, flux, l'ús dels recursos, creixement/esgotament dels recursos. Les sortides per cobrir les necessitats i les entrades en forma d'inversió o residus.
- *Críteris estructurals, D*, ràtio, referits a l'avaluació de les entrades/sortides relatives a les eficiències econòmiques, socials i ambientals i a la disparitat en la satisfacció de les necessitats o en la provisió de capital.
- *Respostes, R*, mesures polítiques i socials adoptades per fer front als desenvolupaments que no interessen.

El sistema d'indicadors s'estructura en dos eixos; l'un està format pels cinc processos de la llista anterior, l'altre està format per temàtiques que coincideixen bàsicament en els sectors polítics de l'Administració suïssa. Cada indicador, escollit a través d'un procés participatiu, se situa en una cel·la d'una taula amb els dos eixos anteriors.

### **Centre Sostenibilitat de les Comarques Gironines**

Antequera (2009) defineix una matriu de sostenibilitat regional partint de sis macrofuncions, cadascuna de les quals pot ser estudiada a diferent escala en funció de l'estructura de la regió (figura 27a):

- L'ordenació del territori, l'urbanisme i la previsió de creixement urbà.
- El model de mobilitat i les infraestructures.
- La població i les seves característiques.
- La funcionalitat econòmica, la seva sostenibilitat i l'ocupació generada.
- La petjada ecològica: els consums de recursos i la generació de residus.
- La sostenibilitat en la gestió pública o institucional.

Cada macrofunció es descompon en una sèrie d'indicadors que proporcionen informació sobre les seves dinàmiques en relació amb els criteris de sostenibilitat definits (figura 27).

## **2.7 Organitzacions per a la Sostenibilitat**

En els darrers anys, les diferents institucions socials han vist la necessitat de crear organitzacions dedicades a la temàtica de la sostenibilitat. Les organitzacions es poden agrupar en tres tipus:

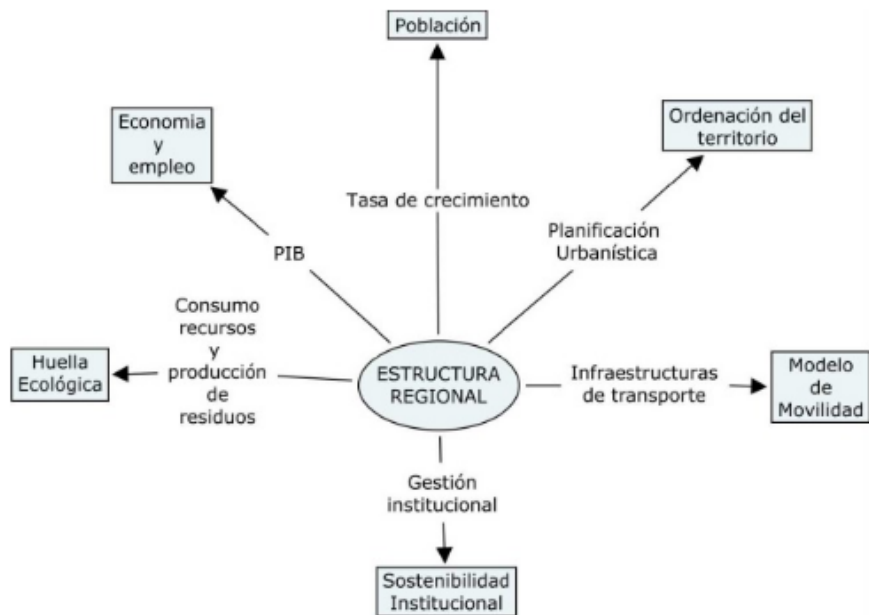
- Internacionals.
- Universitats i instituts i centres de recerca.
- Organitzacions locals i regionals. Observatoris.

A l'annex B.1 es poden consultar aquestes organitzacions i les seves missions i objectius principals.

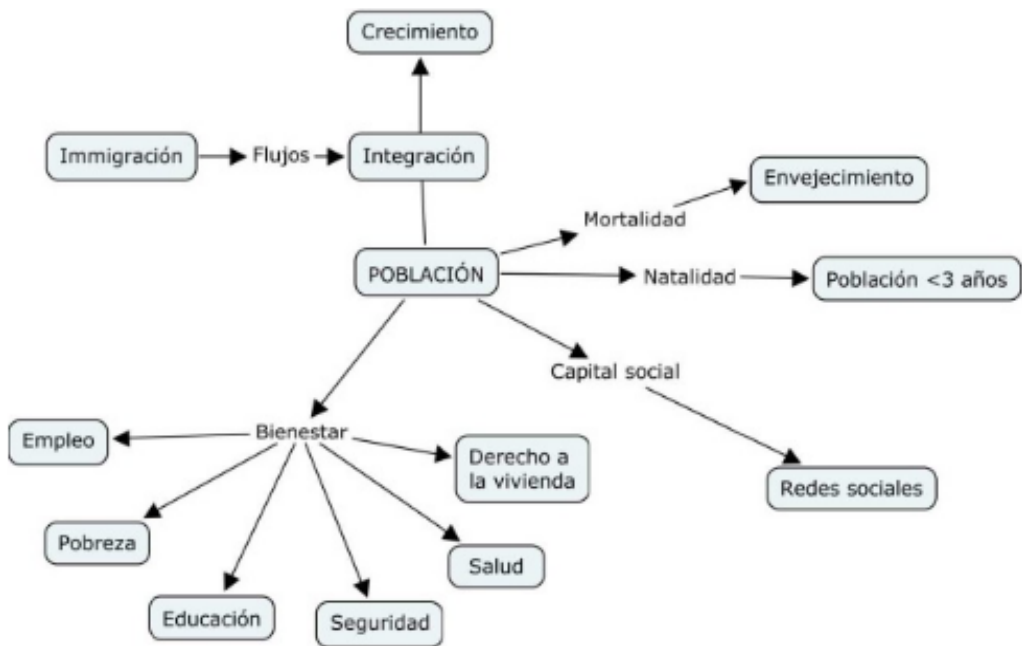
Com a organitzacions internacionals es poden citar la United Nations University Institute for Sustainability and Peace, l'International Institute for Sustainable Development (IISD) i l'Alliance for Global Sustainability.

Aquestes organitzacions tenen lligams importants amb els entorns universitaris, en què s'han creat instituts i centres de recerca en relació amb la sostenibilitat i s'han format nombrosos grups de recerca.

Al mateix temps que les organitzacions internacionals i universitàries, s'han creat organitzacions locals que tenen com a temàtica principal la sostenibilitat. Algunes tenen àmbits estatals o nacionals, com ara els observatoris de sostenibilitat d'Espanya (OSE), d'Andorra o de Catalunya, i moltes altres són locals. Per



(a) Macrofuncions de la matriu de sostenibilitat regional.



(b) Descomposició de la macrofunció Població.

Figura 27: Model del CST. Font: Antequera (2009).

exemple, de la Xarxa d'Observatoris de Sostenibilitat espanyola en són membres 22 observatoris d'àmbit regional i local i 12 observatoris temàtics.<sup>8</sup>

Els orígens dels observatoris són molt diversos, ja que han estat impulsats per organismes institucionals (ministeris, conselleries, diputacions, etc.), universitats, entitats privades (empreses, fundacions, etc.) o particulars.

La idea dels observatoris neix de la necessitat de disposar d'una instància organitzacional que prengui la tasca de sistematització de la informació i esdevingui, un element de vinculació dels diversos agents locals mitjançant esquemes de participació ciutadana.

Els observatoris corresponen a espais en què visualitza i s'analitza, d'una manera integral, la dinàmica local a través del temps. Aquesta avaluació s'efectua sobre la base d'un sistema d'indicadors que en conjunt intenten informar de la realitat integral del municipi, és a dir, dels seus aspectes socials, econòmics i ambientals (Antequera, 2009).

### **2.7.1 Mecànica de realització dels estudis de sostenibilitat**

Les agències i els instituts que recullen dades oficials i les faciliten al públic han de seguir les seves normatives per obtenir-les, processar-les i divulgar-les. En el cas dels estudis de sostenibilitat, no hi ha normatives establertes, en tot cas una praxi consensuada, que en l'actualitat està més en el camp de la recerca que en el de la divulgació. Una entitat estadística oficial ha de ser "dogmàtica" amb el tractament de les dades; en canvi, un estudi de sostenibilitat pot adoptar un enfocament molt més pragmàtic que prioritzi l'obtenció de resultats, sempre que no surti de l'àmbit dels mètodes científics.

**2.7.1.1 Processos, eines i actors** Per iniciar un estudi o informe de sostenibilitat territorial cal definir o identificar:

- Persones i organitzacions implicades directament o indirectament (*stakeholders*): clients, actors locals del territori, investigadors, etc. El grup d'investigadors que farà l'estudi probablement (i preferiblement) serà un grup transdisciplinari.
- L'objecte de l'estudi de sostenibilitat, que serà probablement un territori.
- Les característiques bàsiques i/o rellevants d'aquests sistemes (territori, grups socials, etc.) que són claus per a l'estudi. Aquestes característiques han de ser mesurables, cosa que dóna lloc a valors, indicadors i índexs.
- Els mètodes existents que permeten obtenir els valors de les mesures. Els valors de les mesures es poden obtenir per diferents mitjans: fonts de dades públiques, fonts privades, enquestes, càlculs a partir d'altres dades, etc.
- El rang temporal (anual, trimestral, mensual,...) i les unitats de mesura que es volen emprar.
- Un o més models conceptuals consensuats a partir dels quals enfocar el treball.

D'altra banda, s'han d'acordar les eines de treball:

<sup>8</sup> <http://www.sostenibilidad-es.org/en/node/1454>

- El sistema de comunicació i gestió (per exemple: correu electrònic, telefonia per internet, gestor de projecte...).
- El sistema de documentació i informació. És a dir, on es desen la documentació i les dades (p.e., en un servidor públic accessible per a tothom com processadors de textos o dipòsits en línia).
- Les eines de software que s'utilitzaran: full de càlcul, software estadístic, software gràfic de visualització o SIG.

**2.7.1.2 L'ús de fulls de càlcul** Podem dir que el full de càlcul és l'eina per excel·lència de suport per dur a terme aquests estudis. Aquesta eina proporciona als investigadors una agilitat, una flexibilitat i una facilitat d'ús fonamentals. Els fulls de càlcul fan les funcions de:

- Eina matemàtica de càlcul i simulació.
- Eina gràfica.
- Eina per a la presentació de resultats tabulats.
- Base de dades.

Podem resumir que el full de càlcul és, actualment, el “tot en un”, el “*Swiss army knife*”. En un equip format per poques persones i per a treballs concrets que requereixen un temps de resposta curt, el full de càlcul és la solució més adient. En general, tothom els coneix i els sap utilitzar amb més o menys expertesa.

Quan els treballs els han de dur a terme equips més grans, potser dispersats geogràficament, i els projectes s'han de fer de forma repetitiva i periòdica, llavors la recollida de dades esdevé un dels processos que requereix més temps i és més tediós; aquest procés el duran a terme persones diferents en moments diferents, serà propens a errors i requerirà una bona coordinació.

Les fórmules de càlcul que utilitzi un investigador en un determinat àmbit d'expertesa i els resultats que obtingui han de ser comunicats i registrats. Possiblement hi haurà modificacions posteriors tant en el procés de càlcul com en les variables estadístiques de base o en els valors dels paràmetres. Aquests s'hauran de difondre d'alguna manera entre les persones que tenen com a dades primàries els resultats d'aquell investigador.

Si l'eina software principal és el full de càlcul, s'haurà d'organitzar un sistema de gestió dels fulls de càlcul (plantilles, classificació, ubicació, etc.), ja que els fulls de càlcul no són fàcils de mantenir i compartir. En cas contrari, hi ha preguntes que poden tenir difícil resposta, com ara: “Qui té la darrera versió?”, “És el teu full igual que el meu?”, “Pots incorporar els darrers canvis que vaig fer a la meva còpia local?”.

Aquesta ubiqüitat i utilitat dels fulls de càlcul és una de les raons per les quals apareixen aplicacions en la xarxa que emulen el funcionament dels fulls de càlcul, com Google Spreadsheets o Zoho Spreadsheet. Els fulls de càlcul sovint s'usen per organitzar i manipular informació que un cop s'ha arxivat o processat es transfereix a d'altres serveis. La interoperabilitat entre fulls i serveis és problemàtica a causa de la naturalesa del full (Hung, Benatallah, i Saint-Paul, 2011):

- Les dades no segueixen un esquema preestablert.

- Pot existir un desajustament entre l'organització d'un full i l'estructura que espera rebre una aplicació externa.

El full de càlcul és una via d'entrada de molts tipus d'errors. Aquests errors es poden categoritzar en cel·les referenciades incorrectament, rangs incorrectes, ús incorrecte de funcions, fórmules errònies, errors en les entrades de dades o l'ús de referències relatives en comptes de fixes, o viceversa (Isakowitz, Schocken, i Lucas, 1995).

És evident que el full de càlcul és una eina útil que s'utilitza i s'utilitzarà, però és necessari incorporar noves estratègies d'anàlisi que permetin compartir i re-utilitzar el treball.





### 3 Desenvolupament teòric

En el capítol anterior hem abordat qüestions relacionades amb la informació i els sistemes d'informació, amb el vincle entre informació, dades i coneixement i amb el procés de transformació de les dades en coneixement. També hem vist que estudiar la sostenibilitat d'un sistema és estudiar un sistema complex i com varien les escales temporals i espacials segons els nivells d'organització d'un sistema. Finalment, hem explicat que per mesurar la sostenibilitat s'utilitzen sistemes d'indicadors juntament amb models conceptuals.

En aquest capítol aprofundim alguns dels temes que faran de suport teòric al desenvolupament del sistema d'informació del proper capítol.

Consta de cinc apartats.

En el primer (3.1), estudiem les característiques comunes i les que diferencien els models conceptuals a l'hora de classificar els indicadors.

En el segon apartat (3.2), analitzem els principis i criteris de sostenibilitat i com algunes variables són variables dependents del model conceptual utilitzat. En aquest mateix apartat, proposem unes definicions segons els tipus de variables i els tipus de valors utilitzats en els estudis de sostenibilitat i n'exposem les característiques.

En l'apartat 3.3, estudiem les característiques de les dades que es poden obtenir a través d'internet i de les sèries temporals de sostenibilitat, així com els mètodes existents de publicació de dades dels projectes de recerca.

En l'apartat 3.4, analitzem i deduïm algunes característiques generals de les estructures organitzatives d'un territori.

Finalment, a l'apartat 2.4, estudiem les relacions entre el software i la sostenibilitat, i la importància d'utilitzar software lliure per al desenvolupament, així com de publicar-lo com a software lliure. Fem una proposta d'aplicació del pensament sistèmic al sistema d'informació.

#### 3.1 Classificació d'indicadors

Sense entrar en la discussió sobre les diferències conceptuals o els diferents objectius dels models conceptuals, hem vist que una de les seves funcions és la d'organitzar, agrupar o classificar un sistema d'indicadors. Per tant, des d'un punt de vista purament operatiu, és necessari classificar i ordenar els indicadors.

Dels diferents models conceptuals de l'apartat 3.1 Bossel, Gallopín, DPSIR, Centre de Sostenibilitat, etc., s'han posat diversos exemples utilitzant taules (8, 9, ...) en què es mostren les àrees o subsistemes que formen cadascun dels models, juntament amb alguns possibles indicadors. Per elaborar aquestes taules s'ha de descompondre el model conceptual en un conjunt d'àrees, subsistemes, etc., segons la nomenclatura del model, i a cada àrea, subsistema, etc. s'hi assigna un grup d'indicadors.

Si anomenem *àrea conceptual* a aquestes àrees o subsistemes, podem afirmar que un model conceptual de sostenibilitat està compost per una o més àrees conceptuals. Això és cert, si més no, per als models de Bossel i Gallopín. En aquests models els indicadors es poden classificar en un primer nivell i, per tant, cada àrea conceptual estarà composta per una agrupació d'indicadors, índexs i variables que caracteritzarà el tipus d'àrea. No obstant això, un model conceptual pot tenir més subnivells i establir subclassificacions dins de les àrees conceptuals.

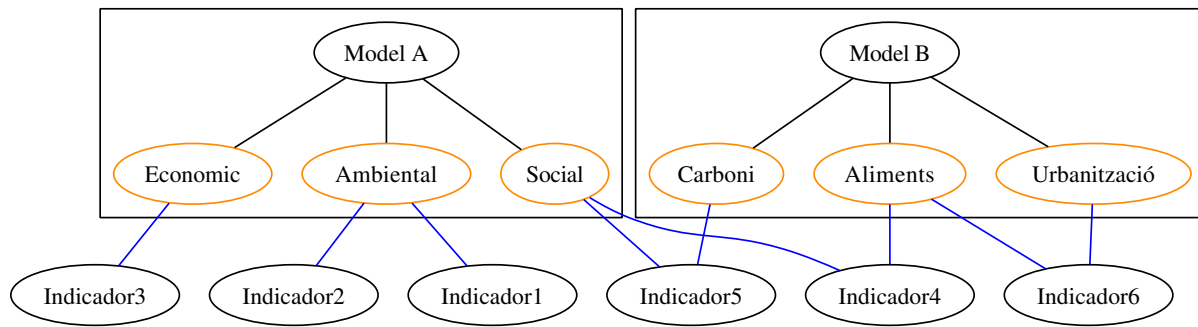


Figura 28: Indicadors compartits per dos models conceptuals (indicadors 4 i 5) i un indicador utilitzat en dues àrees diferents d'un mateix model (indicador 6).

Observem que hi ha una sèrie de característiques que són comunes als models conceptuals a l'hora de classificar els indicadors i unes altres que els diferencien.

Les característiques de la classificació proposta són:

- No imposen indicadors concrets.
- No imposen una organització detallada dels indicadors.
- Aporten una estructura flexible i uns criteris per organitzar indicadors.
- Agrupen o classifiquen els indicadors.
- Estableixen relacions o fluxos entre les agrupacions.
- Les relacions i els fluxos poden ser quantificats/qualificats amb indicadors.
- Un mateix model aplicat a l'anàlisi d'entorns territorials diferents utilitzarà, generalment, la mateixa estructura per organitzar els indicadors.

El models es diferencien en:

- El nombre d'agrupacions o classificacions.
- Les categories en què s'agrupen els indicadors.
- La forma de relacionar les agrupacions.

Finalment, en un model un indicador pot estar classificat alhora en grups o categories diferents. Per exemple, la quantitat d'un aliment consumit pot ser un indicador de gana, de bon gust, de salut i/o de coneixement nutricional; en funció del model, l'indicador podria estar situat al mateix temps en grups diferents. En aquest cas, els que possiblement seran diferents són els criteris de sostenibilitat de l'indicador (valors llindar, objectiu, etc.), que variaran en funció del grup en què s'ubiqui. És a dir, un mateix indicador pot estar en grups diferents i els valors dels criteris de sostenibilitat poden ser diferents.

A la figura 28 s'han representat dos models conceptuals A i B, cada un amb les seves classificacions o sub-sistemes. La figura mostra com alguns indicadors són compartits pels dos models conceptuals (indicadors 4 i 5) i com un indicador es pot utilitzar en dues àrees diferents d'un mateix model (indicador 6 en les àrees Aliments i Urbanització del model B).

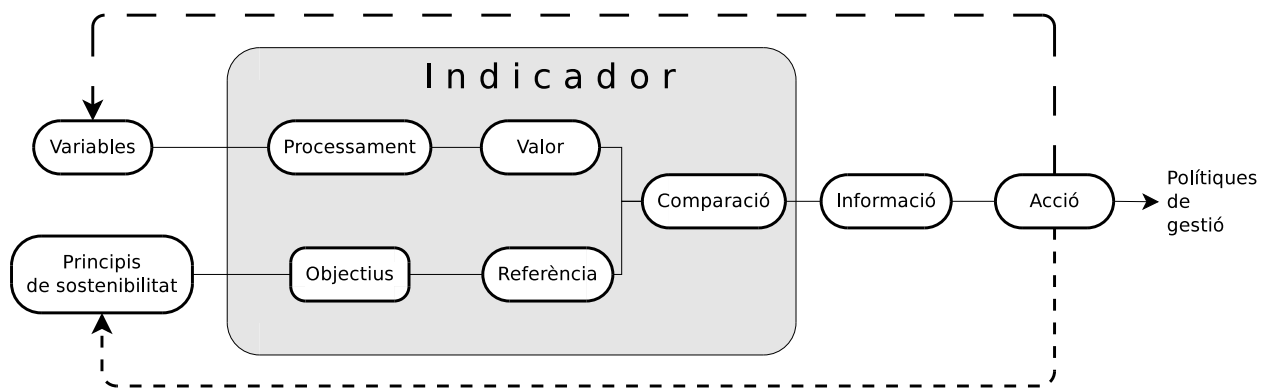


Figura 29: Interacció entre els principis de sostenibilitat i les variables. Elaborat a partir d'Antequera (2005) i Antequera (2009, en línia).

### 3.2 Principis i criteris de sostenibilitat. Variables dependents del model conceptual

Per avaluar que un determinat indicador o índex s'ajusta als principis i els criteris d'un model conceptual, es comparen els valors d'aquest indicador amb uns determinats valors prèviament establerts (Gallopín i col. (1997)):

- Valor llindar: valor que si es traspassa, fa canviar el sistema.
- Valor de referència: valor que serveix com a norma per comparar-hi altres valors.
- Valor normatiu: valor establert institucionalment com a desitjable.
- Valor estàndard: similar al valor normatiu, però amb una connotació menys normativa i més tècnica.
- Valor objectiu: valor específic al qual es vol arribar.

Els criteris de sostenibilitat són un complement que permet avaluar l'estat d'un indicador. Per exemple, una temperatura és un indicador, el valor del qual s'avalua de forma diferent segons si els valors de referència són els d'una persona o els d'un animal.

Josep Antequera relaciona els principis de sostenibilitat i les variables de la forma expressada a la figura 29. D'una banda, s'obtenen uns valors a partir del processament de les dades; d'altra banda i de forma paral·lela, a partir d'uns principis de sostenibilitat es fixen uns objectius que es concreten amb uns valors de referència o valors sostenibles. Aquests dos valors es comparen (assoliment, desviació, absència, etc.) i se n'obté una informació que serveix per a les polítiques de gestió i també com a realimentació de les variables i els principis de sostenibilitat (línies discontinües). L'indicador, per tant, està format per unes variables processades i uns valors lligats a uns objectius.

Aquest procés el concreta Antequera (2009) de la forma següent:

Per als indicadors desenvolupats es defineixen valors llindars o de referència, que són els que ens permeten, mitjançant la comparació amb les dades reals, avaluar la llunyania o proximitat respecte dels objectius proposats en els plans de gestió local. Quan és difícil establir un valor de referència, es pot establir una tendència desitjada, basada en els objectius que es volen aconseguir per al municipi. Així mateix, quan hi ha restriccions que poden condicionar els plans locals, els indicadors poden establir terminis per al compliment de metes.

Com s'explica a l'apartat 2.5.1.2, un indicador o un índex s'obté a partir d'una definició. Aquesta definició pot ser una equació de càlcul o un procediment més complicat i pot incloure diverses variables. Per obtenir el valor de l'indicador es processa la definició amb dades reals del territori. Aquest valor és un dels que s'utilitzaran en l'anàlisi de la situació i en les polítiques de gestió. A continuació, aquest indicador podrà formar part de la definició d'un altre indicador; és, doncs, una variable en la definició del nou indicador. Aquest indicador formarà part del conjunt de variables utilitzables en la definició de nous indicadors (figura 30a).

Els criteris de sostenibilitat es poden introduir de dues formes:

1. S'utilitzen únicament per comparar valors amb valors de referència.<sup>9</sup> En funció d'aquesta comparació, es duen a terme diferents polítiques, però no se n'incorpora el resultat en un altre indicador.
2. Els valors de referència s'introdueixen en la definició de l'indicador. El valor de l'indicador porta "incorporat" el valor de referència i és el que s'utilitza posteriorment.

Posem un exemple de cada cas:

1. La densitat de població és un indicador que, comparat amb determinats valors de referència, pot donar lloc a diferents polítiques.
2. La capacitat de càrrega d'un territori depèn dels valors llindar de densitat de població. En aquest cas s'ha incorporat el criteri de sostenibilitat en la definició de l'indicador, ja que si establim un valor llindar diferent, obtindrem una capacitat de càrrega diferent.

En el primer exemple, els valors de l'indicador són independents dels criteris de sostenibilitat. En canvi, en el segon exemple, s'estan incorporant els criteris de sostenibilitat directament a la definició de l'indicador i, per tant, al resultat final del càlcul de l'indicador. Aquest segon exemple il·lustra com un indicador (densitat de població) és una variable en la definició d'un altre indicador (capacitat de càrrega).

Gallopín (2006) també distingeix aquests dos tipus d'indicadors, en què els valors de referència són un judici de valor:

L'important és si el judici de valor associat està internalitzat en l'indicador o és extern a aquest. Un punt de vista prefereix tenir els judicis de valor internalitzats, reduint la presa de decisions a comparacions quantitatives d'una mesura única com ara la relació cost-benefici, i l'altre punt de vista prefereix tenir els indicadors de l'estat del sistema exposats i fer-ne la pròpia avaluació (en termes de valor o utilitat) explícitament.

Els judicis de valor poden sorgir explícitament en els indicadors de les maneres següents:

- Directament durant el procés d'observació o mesura (com en el cas dels indicadors de preferències o els del valor estètic del paisatge).
- Agregats a la condició observada o mesura, com quan s'assigna un valor de qualitat d'aigua a cada concentració d'un contaminant, o quan el valor que es vol assolir (meta, estàndard, etc.) es combina amb l'indicador per definir un nou indicador com ara la distància entre la condició actual i la meta.

---

<sup>9</sup>A llarg del text utilitzem com exemple els valors de referència, però també són aplicables valors llindars, objectius, estàndard, etc.

- Com a coeficients de ponderació en una funció d'agregació que combina diversos indicadors (o subíndexs); dos exemples habituals són la suma ponderada i el producte ponderat. L'adjudicació d'un coeficient de ponderació a cada subíndex introdueix un judici de valor que es reflecteix (encara que no de forma transparent) en l'índex total.

Els judicis de valor no cal que estinguin inclosos en el càlcul de l'indicador. L'altra alternativa és mantenir els judicis de valor confinats a les metes, normes o estàndards i comparar-los amb la condició actual (valor o estat) de l'indicador per avaluar-ne l'acompliment. La distinció entre indicadors "descriptius" i de "desenvolupament de polítiques" no és, per tant, una diferenciació essencial, sinó pragmàtica.

A la figura 30b es mostra la incorporació dels criteris de sostenibilitat en la definició de l'indicador; els criteris passen a formar part de l'indicador (representat per l'àrea ombrejada).

Els criteris de sostenibilitat han de ser conseqüents amb el model conceptual aplicat, ja que són una part del mateix model. Dels criteris es deriven uns objectius, que s'avaluen amb uns valors de referència. Si aquests valors de referència s'incorporen a la definició dels indicadors (per exemple, amb un valor llindar de referència), llavors es tracta d'uns indicadors "a mida" del model conceptual. Aquest fet és cabdal, ja que aquest indicador no es pot considerar com una referència independent, com podria ser l'indicador de l'exemple primer, utilitzable en qualsevol model. En conseqüència, existeixen, d'una banda, variables (o indicadors) que són independents del model conceptual i, de l'altra, variables dependents del model conceptual (figura 30c). Aquest fet motiva que hi ha dos conjunts o grups de variables que s'han de tractar de forma diferent, ja que tenen dependències diferents.

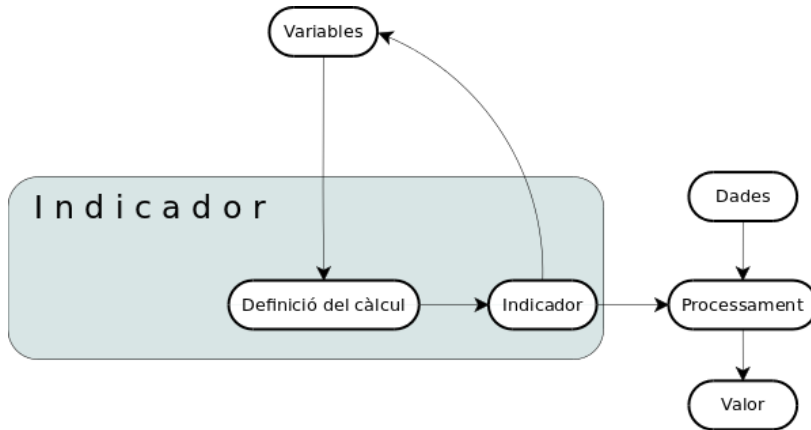
### 3.2.1 Definicions de tipus de variables

Per homogeneïtzar els termes utilitzats a la tesi, tot seguit exposem les diferents concepcions de variables. Abans, però, definim el que entenem per *variable* i per *valor*:

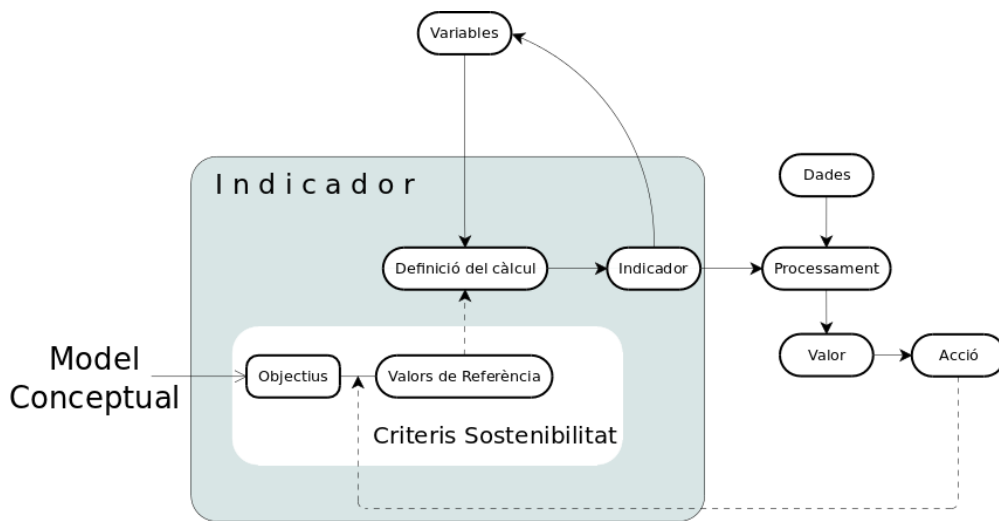
- *Variable*: una variable és una forma d'agrupar un conjunt de valors.
- *Valor*: un valor és la magnitud que pren una variable en un moment i per a una escala determinats. Un valor pertany a una variable.

Els conceptes de *variables dependents* i *variables independents* que tot seguit s'expliquen són diferents dels de l'àmbit de l'estadística i de les matemàtiques, en què representen variables que tenen dependència entre si, ja sigui perquè tenen algun tipus de correlació o directament perquè l'una és funció de l'altra. En la nostra definició estem parlant de variables que tenen dependència o independència dels models conceptuals aplicats.

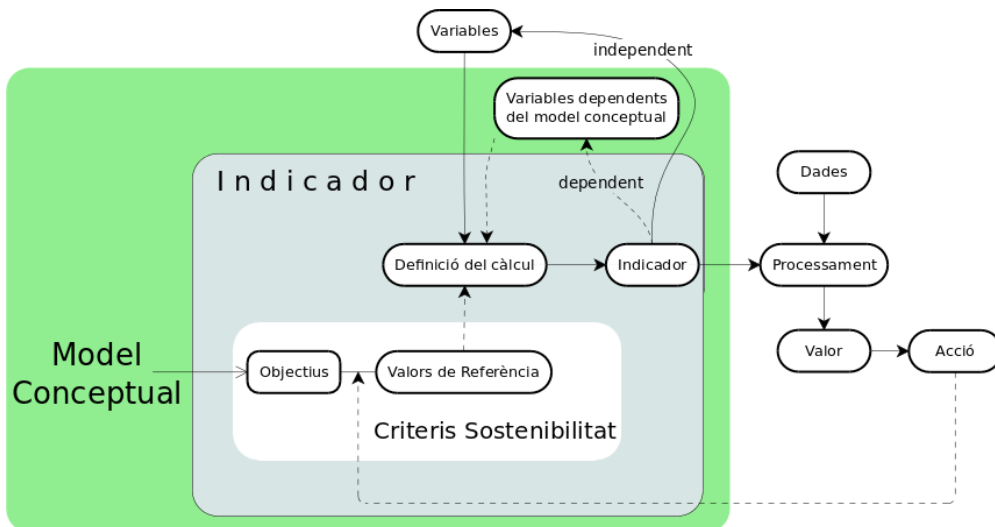
- *Variables independents* d'un estudi de sostenibilitat, formades pel conjunt de valors que són base de l'estudi. La hipòtesi és que aquests valors són observacions de la realitat en què hi ha un consens en què el biaix implícit en la selecció de les dades no té una influència significativa en el resultat de l'estudi. Les variables independents estan formades per:
  - *Variables base*, que estan formades pel conjunt de valors de partida de l'estudi. Són el *capta* inicial: fets seleccionats o creats a partir d'una "configuració cognitiva" determinada. Per exemple, en un estudi les variables "superfície territori" i "població" probablement són variables base.



(a) Un indicador és una variable més del conjunt de variables utilitzables en la definició de nous indicadors.



(b) Incorporació dels criteris de sostenibilitat en la definició de l'indicador. Els criteris formen part de l'indicador (àrea ombrejada).



(c) Variables dependents del model conceptual aplicat i variables independents.

Figura 30: Influència dels criteris de sostenibilitat en la definició dels indicadors.

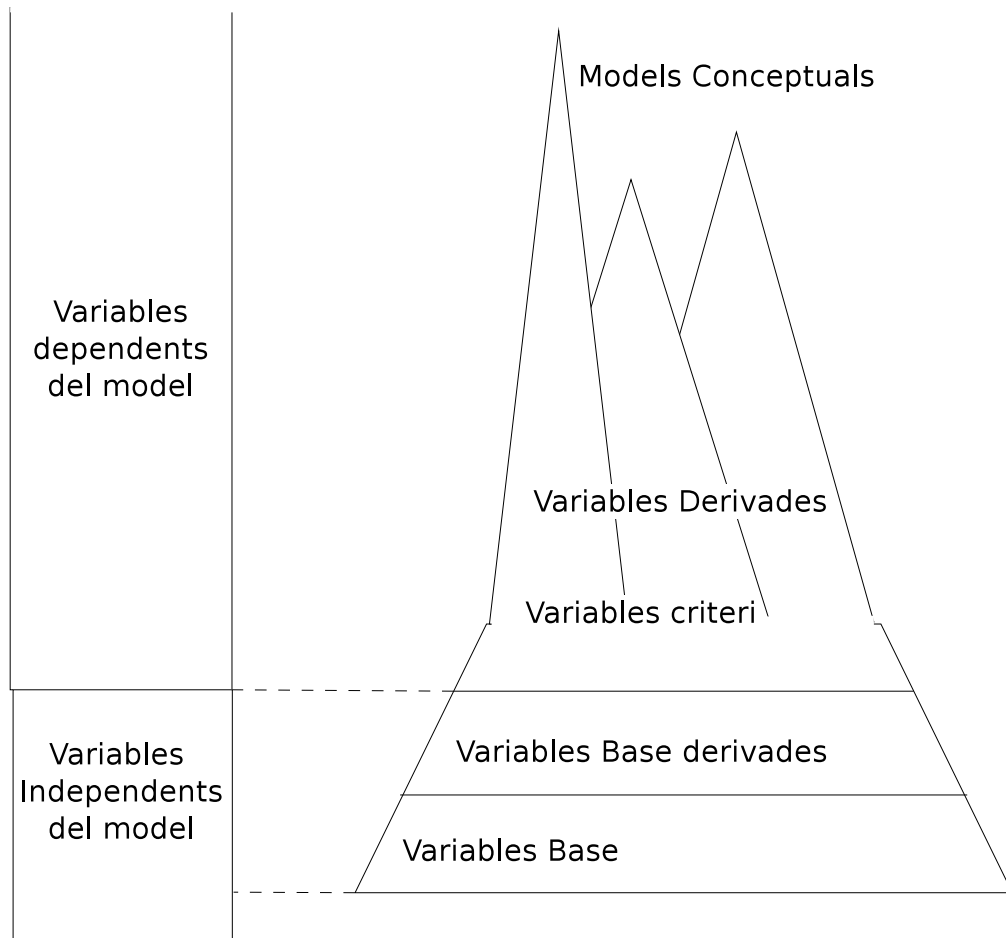


Figura 31: Piràmide de variables per a estudis de sostenibilitat.

- *Variables derivades base*, que s’obtenen del procés de combinar variables base, sense que aquest procés alteri el consens anterior sobre la no-influència del biaix en l’estudi. Una *variable derivada base*, seguint amb l’exemple anterior, seria “densitat població”, ja que es deriva de la divisió de les variables base “població” i “superfície territori”.
- *Variables dependents*. Conjunt de variables els valors de les quals incorporen, directament o indirectament, judicis de valor relacionats amb el model conceptual aplicat. Els valors d’aquestes variables poden ser diferents en funció del model conceptual aplicat. Estan formades per:
  - *Variables criteri o de referència*. Representen el conjunt de valors de referència utilitzats en l’estudi per a cada model conceptual. Els valors de referència incorporen els judicis de valor relacionats amb el model conceptual aplicat. Per exemple, són valors de referència els semàfors de colors (verd, groc i vermell) utilitzats per valorar l’estat d’un indicador respecte d’uns objectius.
  - *Variables derivades dependents*, conjunt de variables que s’obtenen de combinar qualsevol variable i d’incorporar durant aquest procés de combinació alguna variable o valor criteri. El resultat és una variable que transmet els possibles efectes de les variables criteri.
- *Variables derivades*. Són el conjunt format per les *variables derivades base* i les *variables derivades dependents*. Són variables que s’obtenen de combinar diverses variables.

Com una evolució de la piràmide de dades de la figura 18, a la figura 31 hem representat una piràmide amb les definicions de variables. Veiem que a la base hi ha les variables independents, formades per les variables base i les variables base derivades, i a continuació hi ha les variables dependents dels models conceptuais, formades per dels variables derivades i les variables criteri del models.

### 3.2.2 Definicions de tipus de valors. Valors agregats

Ampliem les anteriors definicions des del punt de vista dels valors, de forma que cada variable té associat el seu conjunt de valors:

- *Valors independents*. Són els valors de les *variables base* i les *variables base derivades*. És a dir, són valors que no porten incorporats valors de referència.
- *Valors derivats*. Són els valors de les variables derivades.
- *Valors de referència*. Conjunt de valors de les variables criteri.

Aquests conjunts de valors inclouen totes les possibles dimensions temporals i d’escala. Un valor agregat es pot obtenir de qualsevol combinació de valors anteriors, amb l’única condició que siguin de la mateixa escala. Els valors agregats són subconjunts de valors transversals a les definicions de valor anteriors. Per diferenciar valors de diferents escales introduïm el concepte de *valor agregat*.

- *Valor agregat*: valor que resulta de combinar un conjunt de valors d’una mateixa escala per obtenir un valor d’una escala diferent.
  - *Valor agregat independent*: valor que resulta de combinar únicament valors independents de la mateixa escala.



- *Valor agregat dependent*: qualsevol altre valor agregat (és a dir, no independent). Són valors que durant el procés d'agregació incorporen valors de *variables dependents*.

### 3.2.3 Característiques de les variables i dels valors

Des d'un punt de vista col·loquial una dada és una expressió del tipus “la població de Girona l'any 2000 era de 90.000 persones segons l'INE”. En aquesta expressió trobem que s'està relacionant una variable amb un valor, amb les característiques següents:

- La variable:
  - Nom: població.
  - Tipus: numèrica.
  - Unitats de mesura: “persones”.
- El valor de la variable:
  - Valor: 90.000.
  - Territori: Girona.
  - Data: any 2000.
  - Font: INE.

Observem que el valor 90.000 s'ha complementat amb l'especificació del territori de la data i de la font de dades. Qualsevol variació d'aquests tres elements faria variar el valor. L'expressió anterior es pot generalitzar de la forma següent: “la variable de nom A té un valor de V coses, en l'instant de temps I, per a un territori T, segons la font F”.

Un *valor*, per tant, s'identifica unívocament per una *variable*, un *territori* i una *font*, en un moment determinat. És més, tal com s'ha explicat a l'apartat 3.3.4 en relació amb els components de les sèries temporals, la propietat temporal del valor d'una variable és l'espaiat temporal de la variable. En el cas dels estudis de sostenibilitat, en general és l'anyal. Cal tenir en compte, però, que hi ha variables que en l'escala temporal de l'estudi s'han de considerar constants i, per tant, no varien en funció del temps i tenen un temps constant.

A l'exemple anterior el valor era un nombre enter: 90.000. No obstant això, els valors d'una variable poden ser, entre d'altres, dels tipus següents:

- Enters, reals, complexos...
- Texts.
- Valors categòrics, incloent-hi valors lògics: verdader, fals.
- Imatges: fotografies, dades ràster.
- Valors vectorials: punts, línies i polígons.
- Altres: enllaç a una pàgina web (URL), adreça de correu electrònic, etc.

Notem que, en lloc d'integrar les dades en un sistema d'informació geogràfic (SIG), estem integrant les característiques geogràfiques d'un territori com a variables i valors geogràfics tractats de la mateixa forma que un nombre o un text. És a dir, els valors i les variables utilitzats habitualment en un SIG s'estan integrant en l'SI.

Una variable té, per tant, les característiques següents:

- Nom.
- Tipus de valor.
- Unitat de mesura.
- Temporalitat.

Un valor té les característiques següents:

- Variable.
- Territori.
- Font.
- Data.
- Valor.

### **3.3 Fonts de dades**

Les dades inicials per dur a terme un estudi, treball o projecte de recerca són un dels factors crítics. A les conclusions de molts treballs de recerca de l'àmbit s'esmenta la manca de dades o la dificultat d'obtenir dades fiables o homogènies i com aquest fet condiciona els resultats finals del treball.

Les dades necessàries per a un estudi depenen dels seus objectius i àmbit geogràfic. Les formes d'obtenir-les poden ser molt diverses: el volum de dades més gran existent es troba disponible a través d'internet, de forma gratuïta o pagant, encara que per a certs estudis o per a algunes dades bàsiques inicials es pot recórrer a altres formes com ara la realització d'enquestes.

#### **3.3.1 Fonts de dades a internet**

Emmarcat en el projecte de recerca INSURE del 6è programa marc, que tenia com a objectiu el desenvolupament d'un sistema flexible d'indicadors en regions, es va dur a terme un estudi amb la finalitat d'obtenir una visió general del tipus de dades sobre desenvolupament sostenible que es poden obtenir dels països europeus a través d'internet i en quins nivells administratiu (nacions, regions, províncies) (Caratti i Ferraguto, 2006). L'estudi és de l'any 2006 i, a causa de l'expansió de la informació en xarxa, en certs aspectes pot estar desfasat, ja que les organitzacions estadístiques estan fent esforços importants per homogeneïtzar les dades i facilitar el seu accés, però com a visió general del que es pot trobar un grup de recerca a l'hora de cercar dades per a un estudi continua tenint validesa.

La metodologia aplicada pel treball de Caratti i Ferraguto (2006) ha estat ordenar les bases de dades segons els nivells de desagregació de les dades per, a continuació, avaluar-ne la capacitat per cobrir aspectes rellevants de la sostenibilitat. També s'estudia l'abast temporal de les bases de dades, desglossades per cada sector.

La recerca es du a terme en dos nivells: el nivell de l'organització que proporciona les dades (internacional, europea o nacional) i el nivell de desagregació de les dades proporcionades (internacional, nacional, regional o provincial).

Quant a la sostenibilitat, l'estudi no formula un model conceptual, però classifica les dades en les categories següents:

- Població, que comprèn qualsevol informació que descriu la població, incloent-hi els moviments migratoris.
- Economia, que inclou aspectes socioeconòmics de la regió i les pressions del seu desenvolupament en el medi ambient.
- Medi ambient, que inclou el medi natural i els recursos (aigua, residus, emissions, biodiversitat...).
- Altres, amb la resta de dades no incloses a les categories anteriors, com ara tecnologies de la informació, patents, etc.

Finalment, proporciona la cobertura temporal de cada base de dades en cada sector i àrea, considerant la completesa de la sèrie temporal i la seva extensió.

Les fonts de dades analitzades, entre d'altres, són:

- Internacionals: GTAP (Centre for Global Trade Analysis); Nacions Unides (UN Economic and Social Affairs Division for SD; UNEP-United Nations Environment Programme; UNECE-United Nations Economic Commission for Europe); OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development); IAIA (International Association for Impact Assessment); ISTS (Initiative on Science and Technology for Sustainability); WB (World Bank); FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- Europees: Eurostat; EEA (European Environmental Agency and EIONET-European Environmental Information and Observation Network); CORINE Land Cover: AER (Assembly of European Regions); UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) i alguns projectes europeus.
- Organismes estadístics oficials dels països.
- Projectes europeus relacionats amb el desenvolupament sostenible.

Les conclusions de la recerca són que les fonts de dades d'organitzacions internacionals (Banc Mundial, FAO, etc.) proporcionen dades a nivells internacionals i nacionals, amb una informació homogènia entre països que permet establir comparacions entre aquests.

La situació és diferent en el cas d'organismes europeus i organismes estadístics dels països. En el cas de les institucions europees, no sempre hi ha dades de tots els països i les que es proporcionen són una part mínima de la disponible a nivell nacional. En canvi, hi ha un increment de les dades provinents dels

webs de les institucions estadístiques nacionals. Això implica altres problemes a causa de l'increment de l'heterogeneïtat de la informació de diferents fonts. També es destaca la problemàtica d'obtenir informació en idioma anglès i la menor qualitat de les dades proporcionades quan s'utilitza la versió anglesa dels webs. En relació amb els projectes europeus, en molt casos no estan finalitzats i, de totes maneres, la contribució de dades desagregades és qüestionable, ja que molts dels projectes no tenen un enfocament subnacional.

Quant a la distribució de les dades per sectors hi ha una desproporció de la disponibilitat de les dades entre els sectors socials i econòmics i el sector medi ambiental. La quantitat de dades mediambientals varia entre el 5% i el 10% del total en funció de la font de dades, i la mancança més gran se situa en les dades a nivell regional.<sup>10</sup>

Pel que fa a la cobertura temporal de les bases de dades individuals, les dades classificades com a econòmiques i socials es poden obtenir de diverses dècades anteriors. En el cas de les dades econòmiques, arriben fins al 1929; en canvi, les dades mediambientals són molt més recents. Quant a la completesa de l'abast temporal, la majoria de bases de dades presenten una sèrie de dades completa. Les bases de dades nacionals tenen dades més antigues, però més problemes en la completesa a causa principalment dels canvis freqüents de metodologies.

### **3.3.2 Altres sistemes de divulgació d'informació a nivell de països**

A més de la informació que ofereixen els organismes estadístics oficials dels països i de les Nacions Unides, diversos llocs web recopilen informació estadística i l'ofereixen a través d'internet: CIA World FactBook, Nation Master o Index Mundi.<sup>11</sup>

La CIA World FactBook, un organisme oficial dels EUA, permet obtenir informació i mapes país a país i comparatives entre països. La informació versa sobre història, societat, govern, economia, etc. Les dades s'actualitzen setmanalment i no es poden fer seleccions per dates ni obtenir sèries temporals. Recentment s'ha començat a permetre descarregar dades en format CSV.

Nation Master i Index Mundi a partir d'una selecció de països, indicadors i dates, permeten consultar les dades i generar mapes i gràfics.

Hi ha algunes aplicacions que ofereixen algunes dades a nivell de països, però principalment són interfícies visuals de divulgació d'informació, com ara StatPlanet <http://www.sacmeq.org/statplanet/> o Google Public Data Explorer (Google, 2011). En el cas de Google, les dades poden tenir nivells territorials diferents del de país.

A la figura 32 es mostra la informació obtinguda d'una selecció de dades d'emissions de  $CO_2$  (Nation Master) i d'esperança de vida (StatPlanet). A la figura 71 a la pàgina 135 es pot veure un exemple de visualització mitjançant GPDE.

### **3.3.3 Mètodes existents de publicació de dades dels projectes de recerca.**

Les dades en què es recolzen els estudis de sostenibilitat s'acostumen a publicar conjuntament amb el mateix informe. Els informes recullen els valors dels indicadors i les variables que hi han intervingut i indiquen

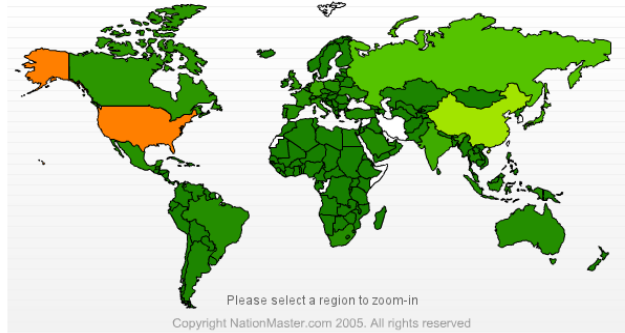
<sup>10</sup>Regions NUTS-1, que corresponen a subdivisions nacionals. A Espanya, per exemple, el conjunt de comunitats autònomes format per Catalunya, País Valencià i Illes Balears és una regió NUTS-1. En l'àmbit d'organismes internacionals, en canvi, quan es parla de regions es fa referència a continents.

<sup>11</sup><http://www.nationmaster.com> <http://www.indexmundi.com/>

**Environment Statistics > CO2 Emissions (most recent) by country**

VIEW DATA: **Totals** Per capita Definition Source Printable version  
 Bar Graph Pie Chart Map Correlations

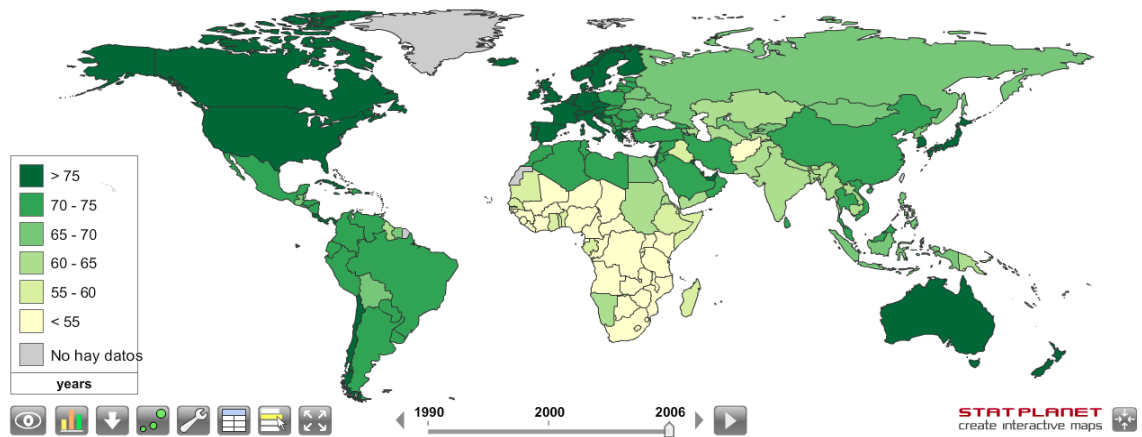
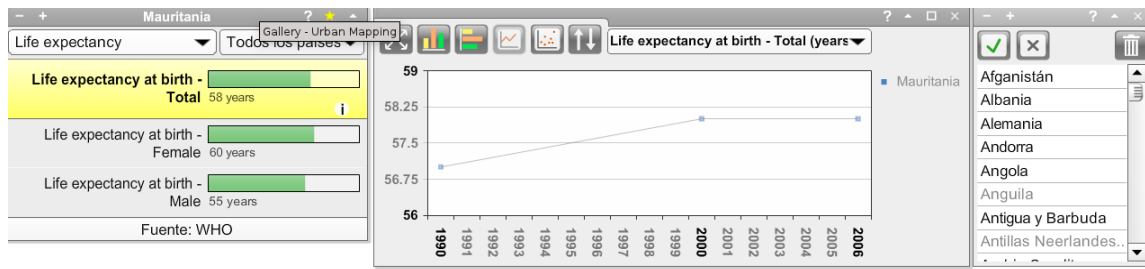
Showing latest available data.  
 Click on a region to zoom in and then mouseover to view country names. [Show map full screen](#)



Legend: **Top** Middle Bottom (No data)  
 5,76 million 128,255 4

Rank	Countries	Amount
# 1	<a href="#">United States:</a>	5,762,050
# 2	<a href="#">China:</a>	3,473,600
# 3	<a href="#">Russia:</a>	1,540,360
# 4	<a href="#">Japan:</a>	1,224,740
# 5	<a href="#">India:</a>	1,007,980
# 6	<a href="#">Germany:</a>	837,425
# 7	<a href="#">United Kingdom:</a>	558,225

(a) Nation Master.



(b) StatPlanet.

Figura 32: Altres sistemes de divulgació d'informació.

les fonts de dades utilitzades. Els resultats intermedis, entre les dades primàries obtingudes de diferents fonts i els resultats presentats en forma de gràfics o taules, no s'acostumen a adjuntar en els estudis. En el cas que es pogués accedir a aquestes dades, possiblement estarien en fulls de càlcul. En aquest sentit, és il·lustrativa la problemàtica a què s'enfronten àrees científiques més consolidades que la sostenibilitat com ara la dels recursos hídrics. En l'article "An integrated system for publishing environmental observations data", Horsburgh i col. (2009), l'apartat "Existing data publication methods" conclou així:

#### Mètodes existents de publicació de dades

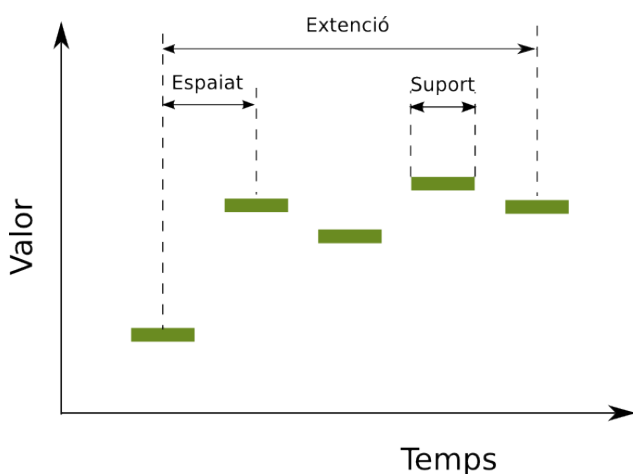
Cap dels sistemes de publicació de dades que s'han desenvolupat s'ha adoptat com un estàndard per a les comunitats de recerca acadèmica i científica. A causa d'això, les dades i meta-dades resultants de la recerca acadèmica en els recursos hídrics es continuen publicant en revistes revisades per experts. Les dades són la base per dur a terme interpretacions i figures, que es publiquen i s'arxiven a les biblioteques, mentre que la major part de les dades primàries es queden en els arxius de la recerca dels investigadors, cosa que dificulta la verificació dels resultats de la recerca. No obstant això, recentment la idea de publicar les dades primàries juntament amb els resultats de l'anàlisi està guanyant terreny dins de la comunitat de recerca, a mesura que la tecnologia per fer-ho és més accessible.<sup>12</sup>

### 3.3.4 Sèries temporals de sostenibilitat

Per a l'anàlisi de la sostenibilitat i la seva evolució, és necessari disposar de sèries temporals. Les dades d'una sèrie temporal es caracteritzen per tres mesures (figura 33) (Grayson i Blöschl, 2000):

1. Extensió de la sèrie, és a dir, l'abast temporal.
2. Espaiat, és a dir, la distància (temps) entre mesures.
3. Suport (període), que representa el temps que abasten de mitjana les mesures o la petjada implícita.

Quines són l'extensió, l'espaiat i el suport més adients o habituals en les sèries temporals en els estudis de sostenibilitat?



Segons l'estudi de Caratti i Ferraguto (2006), que analitza la disponibilitat de dades de desenvolupament sostenible a internet per països europeus, aquestes es comencen a recollir des de fa pocs anys. Les més antigues, a partir de 1929, són les de l'àmbit econòmic. Les dades ambientals en general són més recents, a partir de l'any 1970. Sembla, doncs, que l'extensió de mesures té un rang total menor de 100 anys. Pel que fa a les projeccions o els escenaris de futur, aquests no acostumen a anar més enllà de l'any 2050.

Figura 33: Mesures característiques dels valors d'una sèrie temporal.

Traducció de l'autor.

Quant a l'espaiat temporal més adient, dependrà del tipus de mesura, la disponibilitat de dades i l'objectiu de l'anàlisi. En general, per a estudis de sostenibilitat l'espaiat mínim hauria de ser l'anyal.

Aquest és el període de les dades facilitades per la majoria de fonts de dades públiques, encara que per a alguns indicadors l'espaiat adient pot ser menor (trimestral, mensual, etc.), per exemple, en els àmbits del turisme, de la meteorologia o de la immigració, en què hi ha un efecte estacional.

A l'estudi de Caratti i Ferraguto (2006) no s'esmenta explícitament quin és el període de les dades, però del context es dedueix que és anyal.

En resum, les sèries temporals de sostenibilitat es poden caracteritzar per tenir una extensió d'uns 100 anys, un espaiat anyal i un suport anyal.

### **3.4 Estructura organitzativa d'un territori. Característiques.**

Antequera (2009) explica que s'han de definir els límits de la regió en funció de l'objecte de l'estudi :

Aquests límits en alguns casos poden coincidir amb criteris administratius, en altres casos poden superar-los, com és el cas dels sistemes naturals. Els límits administratius són importants, ja que les dades de la zona es troben organitzades en funció d'aquests i ens permeten estructurar els fenòmens socials, polítics i econòmics que es volen estudiar.

Els límits dels ecosistemes són més difícils d'establir. És el cas dels continus ecosistèmics, com ara les conques, les serralades o les zones boscoses, una part dels quals està ubicada a l'interior dels límits regionals, però una altra, a l'exterior. En aquest cas es considerarà l'estat d'aquests continus com una unitat interior i exterior al sistema i s'analitzaran els efectes o impactes que el sistema social d'estudi hi exerceix.

Una vegada establerts aquests límits, el territori adjacent es considerarà com l'entorn del sistema.

Aquesta visió és essencialment pràctica i necessària per iniciar l'estudi d'una regió determinada. En la nostra recerca creiem important proposar un mètode per organitzar la informació territorial que es pugui adaptar a qualsevol organització territorial. Per això, primerament hem d'analitzar com són les estructures organitzatives territorials existents, quines similituds tenen i quina és la informació essencial d'un territori per poder identificar-lo. En definitiva, com s'organitza territorialment la superfície terrestre.

Comencem per les estructures d'escala més grans i anem baixant a escales inferiors. En principi, ens limitem a estructures organitzatives humanes, ja que són les que ens poden proporcionar dades i, si més no, s'aconsegueix tenir unes delimitacions territorials més precises que, si més no és això el que s'espera, han estat consensuades pels agents involucrats.

Les Nacions Unides defineixen tres nivells: les regions que coincideixen amb els continents; les subregions geogràfiques dins de cada regió, i, com a tercer nivell, els conjunts de països agrupats per la seva proximitat geogràfica. Per exemple, els països de la regió Àfrica estan agrupats en cinc subregions (central, est, sud, oest i nord).

A la figura 34 es mostra un graf dels països del món en el què s'ha utilitzat l'estructura organitzativa de les Nacions Unides. Per poder mostrar 246 països, s'han disposat en forma de cercle. Cada circumferència

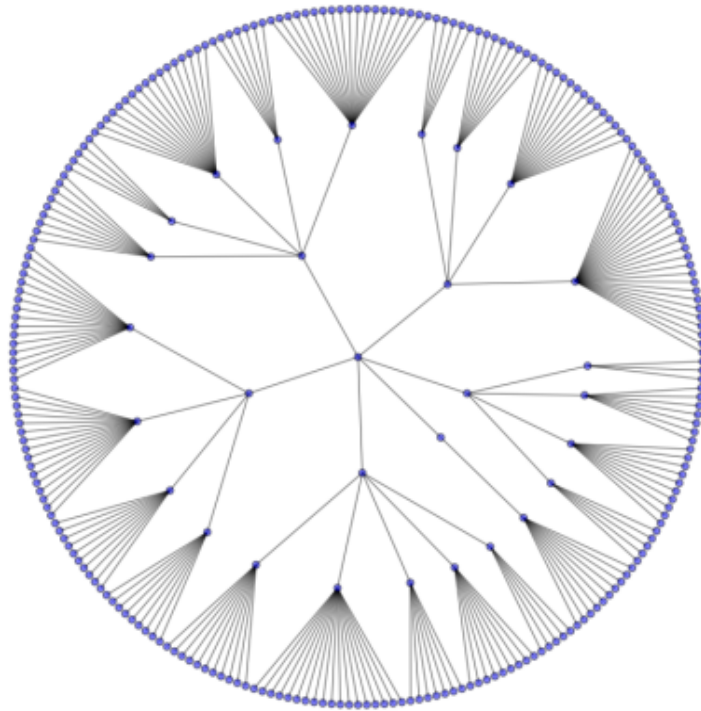


Figura 34: Graf dels països del món en què s'ha utilitzat l'estructura organitzativa de les Nacions Unides. Al cercle exterior hi ha els països enllaçats amb les subregions (p.e. Amèrica de Sud, Àfrica central, etc.), les quals alhora esta enllaçades amb la seva regió o continent. El punt central representa la Terra.

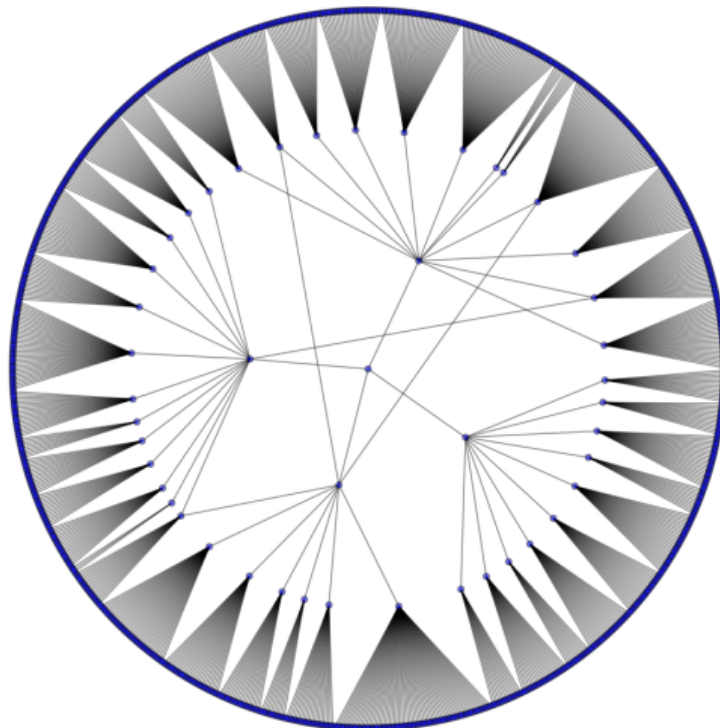


Figura 35: Graf de la divisió territorial de la comunitat autònoma de Catalunya. El punt central representa Catalunya; els punts del cercla més proper al central, les quatre províncies; l'anell següent, les 41 comarques, i, finalment, els punts del cercle exterior, els 946 municipis.



del cercle exterior representa un país, independentment de la superfície del seu territori. Una línia enllaça cada país amb la subregió a què pertany, cada subregió està enllaçada amb la seva regió i, finalment, cada regió està enllaçada amb el cercle central que representa el planeta. Veiem que es tracta d'una estructura organitzativa en arbre en què cada país pertany a una i només una subregió i cada subregió pertany a una regió.

Si baixem un nivell en l'escala, trobem que hi ha països que adopten com a forma organitzativa un sistema federal. Una federació és un estat constituït per un nombre específic d'estats o regions parcialment autònoms que comparteixen un govern central ("federal"), per exemple:

- La República Federal d'Alemanya (RFA), esta constituïda per 16 estats o *Länder*.
- La República Argentina està constituïda per 23 províncies i una ciutat autònoma.
- Els Estats Units d'Amèrica són una federació constituïda per 50 estats, un districte federal i diversos estats associats.
- Els Estats Units Mexicans són una federació constituïda per 31 estats i un districte federal.
- La República Bolivariana de Veneçuela està constituïda per 23 estats, una dependència federal i un districte federal.

A nivell estatal, hi ha entitats subnacionals o circumscripcions territorials, amb funcions administratives, polítiques, militars, eclesiàstiques, etc., amb diferents graus de dependència vers el govern central. Aquestes entitats també poden estar subdividides en organitzacions territorials més petites. Les subdivisions prenen noms diferents segons els estats:

- Cantó: Bòsnia i Hercegovina, França, Suïssa.
- Comtat: Estats Units, Irlanda, Regne Unit (*county*).
- Comuna: França (*commune*), Itàlia (*comune*).
- Comunitat: Bèlgica.
- Comunitat autònoma: Espanya.
- Departament: Bolívia, Colòmbia, El Salvador, França.
- Estat: Austràlia, Estats Units, Índia.
- *Land*: Alemanya, Àustria.
- Parròquia: Andorra.
- Prefectura: Japó.
- Província: Bèlgica, Canadà, Espanya, Filipines, Itàlia, Xina.
- Regió: Bèlgica, Finlàndia, França, Itàlia, Nova Zelanda.

Cadascuna d'aquestes subdivisions pot tenir la seva organització territorial. En el cas dels *Länder* més simples de l'RFA, l'organització té dos nivells bàsics:

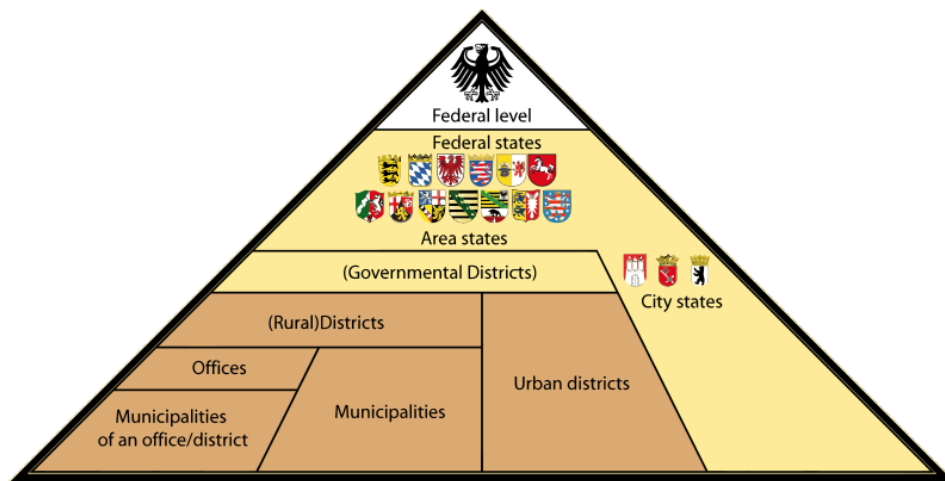


Figura 36: Divisions administratives de la República Federal d'Alemanya (autor: David Liuzzo per a wikipedia.com)

- Els districtes (*Kreise*). Les ciutats de més de 100.000 habitants estan exemptes de formar part d'un districte i l'ajuntament assumeix les competències dels districtes.
- Els municipis (*Gemeinden*).

Els *Länder* amb organitzacions més complexes tenen, a més a més, regions governamentals (*Regierungsbezirke*) i agrupacions municipals (figura 36).

Per acabar, estudiem la divisió territorial de Catalunya. D'una banda, la Constitució espanyola estructura Catalunya en quatre províncies (Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona), formades per l'agrupació de municipis, i, de l'altra, l'Estatut d'Autonomia la divideix en comarques, també formades per l'agrupació de municipis; actualment estan en procés d'implementació les vegueries, formades per agrupacions de comarques. A Catalunya, per tant, actualment conviuen dos tipus de subdivisions territorials (províncies i comarques) sobre un mateix tipus de subdivisió (municipis). Actualment hi ha 41 comarques i 946 municipis.

A la figura 35 es mostra el gràf de la divisió territorial de la comunitat autònoma de Catalunya. Al cercle exterior s'ha dibuixat un punt per cada municipi. El punt central representa Catalunya; els punts del cercle més proper al central són les quatre províncies; els punts de l'anell següent representen les 41 comarques, i, finalment, els punts del cercle exterior representen els 946 municipis. S'han dibuixat les línies entre els municipis i les comarques a què pertanyen. La divisió territorial no estableix cap relació entre províncies i comarques, però per visualitzar la superposició de subdivisions, hem dibuixat una línia entre les províncies i les comarques quan un municipi forma part de la província i de la comarca. Veiem que la simetria no és completa i que, visualitzat d'aquesta forma, no hi ha una estructura d'arbre. Això es deu al fet que hi ha comarques (Cerdanya, Osona, etc.) que tenen municipis situats en províncies diferents.

**El valor dels noms geogràfics** Els noms geogràfics delimiten de forma natural àrees geogràfiques. La Comisión Especializada de Nombres Geográficos (2009) explica la seva importància de la forma següent:

Un nom geogràfic o topònim és un nom propi de lloc. Els topònims són les denominacions amb què designem els llocs que ens envolten: carrers, pobles, ciutats, rius, serres, paratges, etc. Generalment es componen d'un terme genèric i d'un específic (Serra de Gredos, Praia de San Cibrao, etc...).

Els topònims serveixen per a:

- identificar i localitzar els llocs on es desenvolupa qualsevol activitat humana
- llegir un mapa, com un dels elements bàsics de la cartografia
- accedir directament i intuïtivament a moltes i diverses fonts d'informació, en especial a través d'Internet
- obtenir informació per a nombrosos camps de recerca (lingüística, geografia, història, arqueologia, medi ambient...).

## Conclusions

Per concloure podem establir les generalitzacions següents en relació amb l'estructura organitzativa d'un territori, els noms de les subdivisions territorials i els noms geogràfics:

- Estructura organitzativa d'un territori:
  1. Poden coexistir diversos tipus de subdivisions.
  2. Les subdivisions es fan definint unes fronteres geogràfiques dins del territori, sense sobrepassar-lo.
  3. Dins d'una subdivisió es poden definir nous tipus de subdivisions.
  4. Tota subdivisió d'un territori té una o més subdivisions superiors.
  5. Les subdivisions, encara que molt estables, poden canviar amb el temps:
    - (a) Modificació del nombre de subdivisions o les seves fronteres.
    - (b) Creació de nous tipus de subdivisions.
    - (c) Eliminació de tipus de subdivisions.
- Noms de subdivisions territorials:
  - Un mateix nom per a dues organitzacions diferents no implica necessàriament una mateixa subdivisió territorial.
  - Del nom d'una organització local no se'n pot deduir cap característica general.
  - Els noms de les organitzacions territorials tenen un significat local.
- Els noms geogràfics identifiquen i localitzen llocs, permeten obtenir informació per a nombrosos camps de recerca.

## 3.5 Pensament sistèmic i sistema d'informació

Estudiar la sostenibilitat d'un territori és estudiar un sistema complex en què s'aplica el pensament sistèmic. El sistema d'informació de suport a l'estudi d'un sistema complex, si vol ser d'alguna utilitat més enllà de la purament mecànica d'arxiu i càlcul de valors, haurà d'incloure, dins de les possibilitats tecnològiques, els principis del pensament sistèmic. A continuació fem l'exercici de traslladar els 10 principis del pensament sistèmic explicats en l'apartat 2.3.3 al sistema d'informació:

### 1. *Principi de l'organització*

El sistema d'informació hauria de permetre definir i agrupar elements de formes diferents. Per exemple, les mateixes variables, quan s'agrupen segons els criteris de models conceptuals diferents, donen lloc a visions diferents del mateix sistema.

### 2. *Principi de la finalitat del sistema*

En funció dels objectius de l'estudi, caldrà d'escollir diferents organitzacions territorials i diferents marcs conceptuals.

### 3. *Principi de la contradicció*

És una contradicció real i inevitable, també en el cas del sistema d'informació.

### 4. *Principi de la multiplicitat i de la jerarquia dels sistemes*

No hi ha una propietat, en forma de dada o variable, que sigui mare de les altres, és a dir, una dada a partir de la qual es poden deduir o trobar la resta de dades. Una variable o dada sempre té una o diverses mares. No hi ha una propietat origen absoluta, en tot cas, el que es pot fer és identificar un conjunt de variables prou atomitzades que donin algun sentit al conjunt. Les propietats d'aquestes variables combinades de formes diferents permeten calcular o deduir altres propietats (variables), que seran filles de les primeres.

El mateix podem dir dels territoris que delimiten un sistema: un territori està format per una agrupació d'altres territoris. Alhora aquest territori forma part d'un altre territori que l'engloba, totalment o parcialment.

### 5. *Principi de la recursivitat.*

El sistema es conceptualitza tenint en compte altres sistemes existents, com ara els sistemes de difusió de dades estadístiques nacionals o internacionals. Alhora el sistema pot ser utilitzat o compartit per altres sistemes d'informació.

### 6. *Principi de la història i la irreversibilitat del sistema*

Encara que un sistema d'informació sí que és reversible (com a mínim des del punt de vista de la seva possible redefinició, si bé llavors seria un altre sistema), la concepció final serà fruit del coneixement existent, de les experiències anteriors (és a dir, històries personals), de la definició de la base d'informació (és a dir, organització interna) i dels processos implicats (és a dir, les relacions internes i amb l'entorn). Això no es pot canviar.

### 7. *Principi de la novetat i l'emergència*

Quan un sistema d'informació ha estat definit i provat és quan sorgeixen noves possibilitats (que es veuen com a necessitats) no imaginades prèviament. Conjuminar teoria i pràctica mitjançant el desenvolupament de prototips.

### 8. *Principi de l'autonomia relativa*

El sistema d'informació està condicionat per l'entorn en què s'ha d'aplicar; per tant, en depèn i l'autonomia variarà segons la seva conceptualització. D'altra banda, sovint es defineix en mòduls o paquets (les parts) que tenen una coherència interna i un cert grau d'autonomia, si bé l'un sense l'altre deixen de tenir sentit.

### 9. *Principi de l'escala i de l'equilibri*

El disseny d'un sistema d'informació acaba imposant uns constrenyiments (els límits màxims i mí-nims) que, en part definiran el grau d'*escalabilitat*, cap amunt i cap avall, que permet.

### 10. *Principi de la multiplicitat de valors*

Amb un mateix objectiu hi pot haver diversitat de models conceptuals, organitzacions territorials i valors concurrents.

Podem concloure que es pot visualitzar el sistema d'informació com un sistema complex a través dels principis del pensament sistèmic.

## **Resum**

En el capítol anterior s'han exposat els fonaments teòrics i pràctics relacionats amb la informació i els sistemes d'informació, amb el vincle entre informació, dades i coneixement, i amb el procés de transformació de les dades en coneixement. També s'ha vist que estudiar la sostenibilitat d'un sistema és investigar un sistema complex i com varien les escales temporals i espacials segons els nivells d'organització d'un sistema. Seguidament, hem explicat que per mesurar la sostenibilitat s'empren sistemes d'indicadors juntament amb models conceptuals. En aquest capítol s'ha aprofundit en els models, les variables, les fonts de dades i les organitzacions territorials. De tot això, en podem extreure les conclusions següents:

**Estructura general d'un model conceptual de sostenibilitat.** Està formada per una o més àrees conceptuals, en què cada àrea està caracteritzada per una agrupació d'indicadors, índexs i variables. Les àrees poden estar dividides en subnivells. Els models no imposen indicadors concrets sinó que aporten una estructura flexible i uns criteris per organitzar-los i permeten classificar un indicador alhora en àrees diferents. El models es diferencien en:

- el nombre d'agrupacions o classificacions;
- les categories en què s'agrupen els indicadors, i
- la forma de relacionar les agrupacions.

**Criteris de sostenibilitat.** Són un complement que permet avaluar l'estat d'un indicador. Dels criteris es deriven uns objectius, que s'avaluen amb uns valors prèviament establerts (valor de referència, valor llindar, valor objectiu, etc.). Aquests valors són els judicis de valor i han de ser conseqüents amb el model conceptual aplicat, ja que són una part del mateix model. En funció de si els judicis de valor s'incorporen o no a les definicions dels indicadors tindrem variables (o indicadors) que són dependents del model conceptual o variables independents del model conceptual.

**Definició i classificació dels tipus de variables i valors que intervenen un estudi. Representació esquemàtica de la relació entre els models conceptuals i les dades.** Una variable té com a trets distintius el nom, el tipus de valor, unitat de mesura i temporalitat. Un valor té com a característiques fonamentals el

valor pròpiament dit, la data del valor i que, a més, està associat a una variable, a un territori i a una font de dades.

Es pot representar esquemàticament la relació entre els models conceptuals i les dades com unes piràmides de Hammond i col. (1995), amb unes dades base comunes, amb els pics que se separen en funció dels criteris i objectius. A la base hi ha les variables independents, formades per les variables base i les variables base derivades i, a continuació, les variables dependents dels models conceptuals, formades per les variables derivades i les variables criteri del models (figura 31).

Les variables independents estan formades per: (i) observacions de la realitat en la qual hi ha un consens en què el biaix implícit en la selecció de les dades no té una influència significativa en el resultat (variables base), i (ii) per variables que s'obtenen del procés de combinar variables base, sense que aquest procés alteri el consens anterior sobre la no-influència del biaix (variables derivades base). Les variables dependents estan formades pels valors de referència utilitzats en l'estudi i per les variables que durant el procés d'obtenció incorporen judicis de valor.

Pel que fa a valors és important distingir entre valors agregats independents, resultat de combinar valors independents d'una mateixa escala territorial, i valors dependents, que són valors que durant el procés d'agregació incorporen valors de variables dependents.

**Fonts de dades i característiques de les sèries temporals de sostenibilitat.** Les fonts de dades disponibles a través d'internet són nombroses i bàsicament s'obté informació a nivell de país o agregats per regions. Quant a la distribució de les dades per sectors, hi ha una desproporció de la disponibilitat de les dades entre els sectors socials i econòmics, i el sector medi ambiental. La cobertura temporal de les bases de dades és de diverses dècades enrere i arriben fins al 1929 en el cas de dades econòmiques. Les dades de les sèries temporals de sostenibilitat es caracteritzen per tenir una extensió màxima d'uns 100 anys, un espaiat anual i un suport anual.

**Característiques de les estructures organitzatives del territori.** En l'estructura organitzativa d'un territori poden coexistir diversos tipus de subdivisions, definides per unes fronteres geogràfiques. Les subdivisions poden formar noves estructures amb subdivisions pròpies i poden canviar amb el temps.

El tipus organitzatiu de la subdivisió s'identifica amb un nom que té un significat local i no es pot deduir cap característica general. Un mateix nom per a dues organitzacions diferents no implica necessàriament una mateixa subdivisió territorial.

Els noms geogràfics identifiquen i localitzen llocs i permeten obtenir informació per a nombrosos camps de recerca.

**El pensament sistèmic aplicat al sistema d'informació.** Finalment es mostra com es poden interpretar els 10 principis del pensament sistèmic aplicat al sistema d'informació.

## 4 Desenvolupament del sistema d'informació *bofree*

En el capítol anterior s'ha aprofundit en la classificació dels indicadors segons els models conceptuals i en les definicions dels tipus de variables i valors utilitzats en els estudis de sostenibilitat. S'han estudiat les característiques de les dades que es poden obtenir a través d'internet, i s'han deduït algunes de les característiques generals que compleixen les estructures organitzatives d'un territori.

En el present capítol, descrivim el desenvolupament del sistema d'informació, mentre que en el capítol següent (5), expliquem qüestions pràctiques del desenvolupament, com ara el software utilitzat per al desenvolupament dels prototips, i presentem diversos casos d'aplicació pràctica.

El sistema d'informació l'hem anomenat *bofree*<sup>13</sup>. El capítol consta de quatre apartats. En el primer (4.1) s'expliquen els constrenyiments imposats al sistema desenvolupat. En el segon (4.2) s'analitza la base d'informació, amb els tipus d'entitats que hi intervenen (territori, models conceptuals, variables, valors i fonts de dades), els seus atributs i les relacions entre si. A l'apartat següent (4.3) es presenten els processos generals del sistema (selecció, visualització, administració, etc.) i processos específics com ara l'actualització massiva de valors. Finalment, en el darrer apartat (4.4) s'explica el mètode que s'ha dissenyat per resoldre el càlcul de valors de variables derivades, definint una sintaxi que permet descriure i executar una expressió de càlcul.

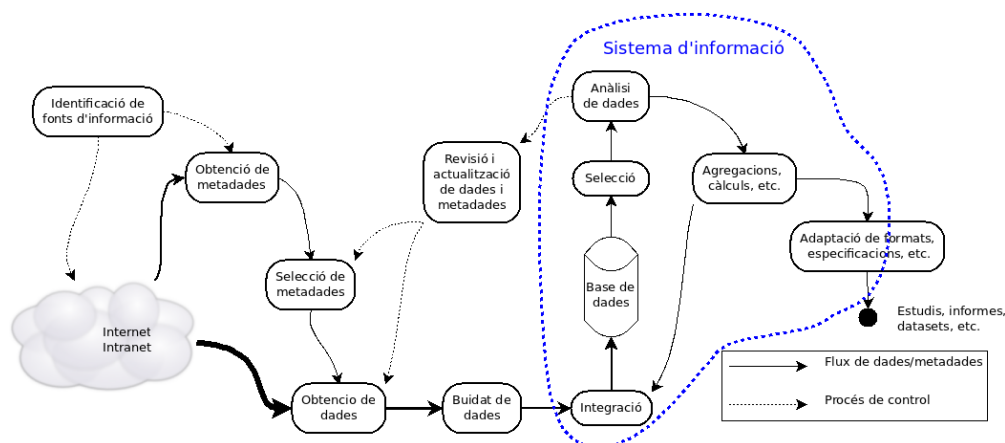


Figura 37: Ubicació del sistema d'informació *bofree* en el diagrama de processos i flux de dades del cicle de dades.

Amb la finalitat de situar d'una forma genèrica la ubicació del sistema *bofree*, a la figura 37 reproduïm el diagrama de l'apartat 2.2.2, en què es descriuen els grups de processos que intervenen en el cicle de dades.

A l'annex B.5 es poden consultar les definicions o descripcions dels conceptes informàtics que s'utilitzen en el desenvolupament dels propers apartats.

### 4.1 Constrenyiments generals

Des del nostre punt de vista, per dissenyar un sistema d'informació d'un sistema complex, és necessari conceptualitzar el mateix sistema d'informació com un sistema complex, incorporant el pensament sistèmic en el desenvolupament del sistema d'informació, tal com s'ha proposat a l'apartat 3.5.

<sup>13</sup> Acrònim que s'obté ajuntant la primera síl·laba del cognom de l'autor (Bo de Bofill) amb *free* de *free software*: *bofree*. És a dir, bo i lliure, com el software lliure.

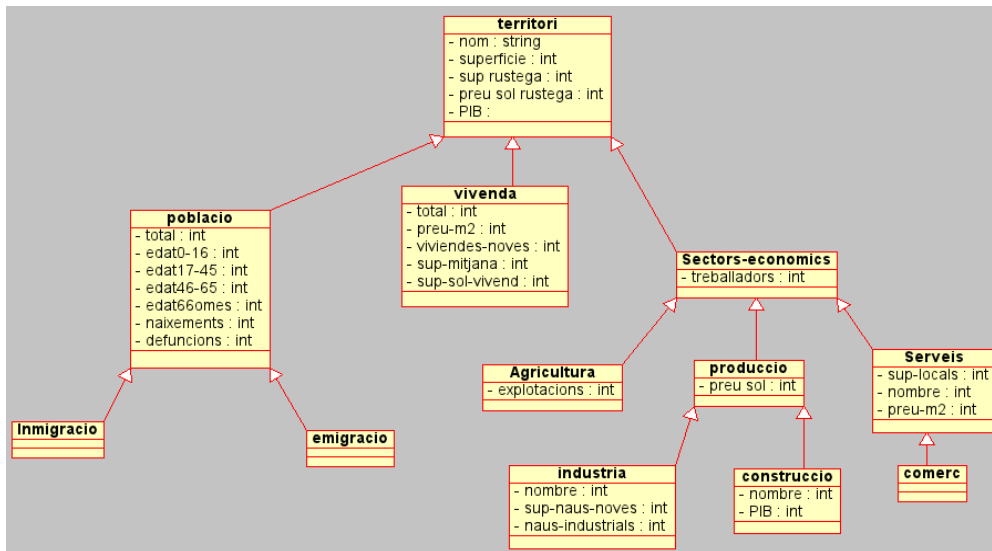


Figura 38: Esquema de classes UML de l'estructura d'informació d'un full utilitzat en un estudi.

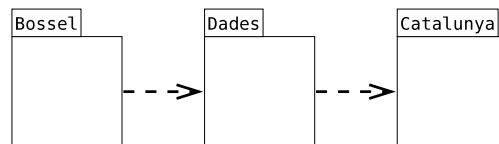


Figura 39: Diagrama de paquets d'un SI, utilitzant el model Bossel en el territori de Catalunya.

Un constrenyiment és una restricció en el grau de llibertat que es té per proporcionar una solució. Els constrenyiments són requeriments globals, com ara disposar de recursos del desenvolupament limitats o estar sotmès a decisions de la direcció sobre les formes de desenvolupar un sistema. Els constrenyiments poden ser econòmics, tècnics o mediambientals i es refereixen a recursos del projecte, a la seva planificació, als seus objectius o al mateix sistema.

En el disseny imposem el constrenyiment general següent: escollir l'opció que afavoreixi la màxima diversitat possible, considerant sempre que els usuaris són els experts en el seu camp, no el sistema, i que és a ells a qui cal traslladar, sempre que sigui possible, les decisions.

Com s'ha explicat a l'apartat 2.7.1.2, el software utilitzada per fer estudis són els fulls de càlcul. Si es fa l'exercici de transformar l'estructura de la informació continguda en un full de càlcul a un esquema UML, podem tenir una visió de com és un possible disseny de la base d'informació. A la figura 38 podem veure un exemple en què s'ha representat, mitjançant un esquema de classes UML, una part de l'estructura de la informació d'un full utilitzat en un estudi.

Un model d'aquest tipus quedarà obsolet per la dificultat d'introduir-hi petits canvis. Per exemple, la introducció d'una nova variable suposa un canvi important, ja que aquesta s'ha d'introduir com un atribut, cosa que implica modificar l'estructura de la base de dades, els processos associats i les dades existents.

Si imposem uns constrenyiments generals mínims, un sistema d'informació per a un estudi de sostenibilitat haurà de:

- Incloure variables i indicadors numèrics acordats prèviament i fàcilment ampliables.
- Haver estat desenvolupat per un model conceptual, per exemple, Bossel.



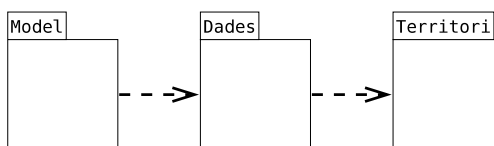


Figura 40: Diagrama de paquets d'un SI en què s'utilitzen diversos models conceptuals en diferents territoris.

- Estar enfocat a un territori determinat.

El diagrama de paquets d'aquest segon sistema podria ser el de la figura 39, en què s'ha definit un model conceptual, en aquest cas el paquet Bossel, amb una estructura de dades definida en el paquet Dades i una estructura territorial definida en el paquet Catalunya. Aquest esquema ens mostra que el model de dades definit depèn del model territorial Catalunya i que el model conceptual Bossel depèn del model de dades. Un canvi en el model territorial implicarà un canvi en el model de dades que al seu torn, pot implicar un canvi en el model conceptual.

Tot seguit modifiquem el model anterior, incrementant-ne la flexibilitat i reduint el nombre de constreyniments imposats; per això ampliem cada paquet de la manera següent (figura 40):

- Model conceptual:
  - Utilitzar més d'un model conceptual, sense limitar-se a un sol model.
  - Concurrència de models conceptuals, de forma que puguin utilitzar les mateixes dades.
- Dades:
  - Variables definides i modificables al llarg de la realització de l'estudi.
  - Ampliació dels tipus de dades utilitzables (per exemple, categòriques o text).
  - Càlcul de valors d'indicadors a partir d'altres dades.
- Territori: generalització a diferents estructures territorials.

Aquest conjunt de constreyniments generals es concreta de forma pràctica durant el desenvolupament del sistema que s'explica en apartats següents. Per norma general, dóna més importància a la integració de la complexitat del sistema que a l'eficiència en l'ús d'espai de disc o al temps de resposta, la viabilitat de les quals es pot verificar durant la implementació dels prototips.

## 4.2 Base d'informació

La base d'informació està constituïda pels paquets Territori, Dades i Model. Els paquets són agrupacions de classes. A la figura 41 s'ha representat l'esquema base simplificat del sistema d'informació. A la figura s'han inclòs les entitats principals que intervenen i les relacions que mantenen entre si, agrupades per paquets. La figura no mostra els atributs ni les operacions, ni les entitats que són del tipus enumeració o subclasses geomètriques. L'esquema complet es pot veure a la figura 42 a la pàgina 81, en què es mostren, a més a més, els atributs i les operacions principals de cada entitat, així com les entitats que són del tipus enumeració i les subclasses.

En els propers apartats es descriuen cadascun dels paquets. El paquet Dades, en ser el que consta de més entitats, es descriu subdividit en els apartats Variables, Valors i Fonts.

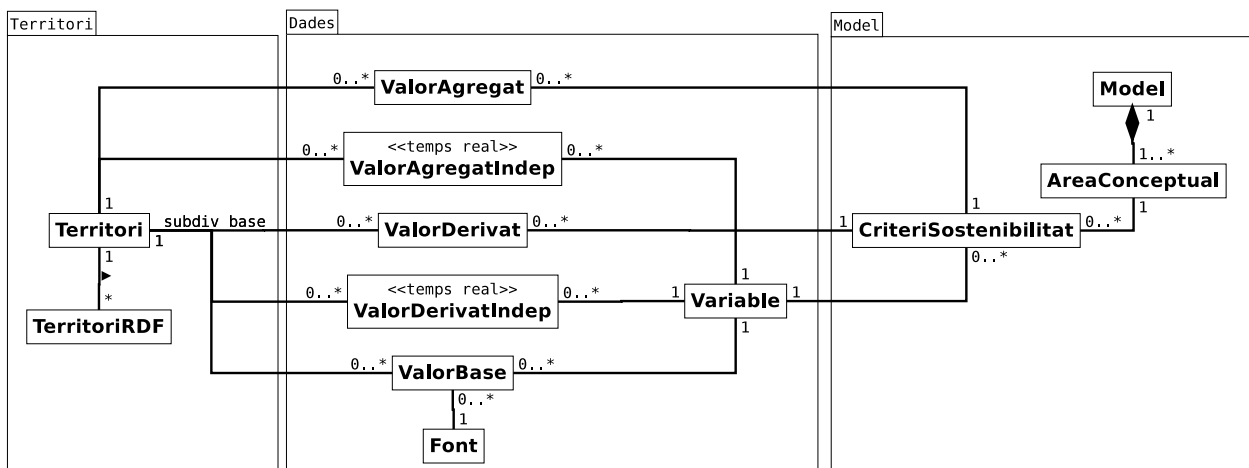


Figura 41: Esquema base del sistema d'informació, amb els tres paquets, les principals entitats i les relacions. No s'hi mostren els atributs ni les operacions, ni les entitats que són del tipus enumeració o subclasses geomètriques.

#### 4.2.1 Territori

A l'apartat 3.4, hem vist que hi ha una gran diversitat de formes d'organitzar els territoris. Un dels requeriments és fer un disseny del sistema adaptable a diferents territoris, és a dir, la informació de base del paquet Territori s'ha de plantejar de forma que permeti incloure al màxim possible les diferents tipologies d'organitzacions territorials.

**4.2.1.1 Requeriments del paquet Territori** L'estructura del sistema *bofree* permet integrar els territoris i les respectives subdivisions sempre que complexin les característiques següents:

1. El territori:

- (a) Té uns límits territorials externs definits.
- (b) Pot tenir diverses subdivisions.
- (c) Els diferents tipus de divisions territorials no sobrepassen les seves fronteres.

2. Subdivisió territori base :

- (a) Una de les subdivisions divideix el territori en les àrees més petites, sense superposar unes sobre les altres, de forma que agrupant totes aquestes àrees s'obté de nou la totalitat del territori.
- (b) El territori base pot formar part alhora de més d'un tipus de divisió.

3. Altres subdivisions del territori:

- (a) Cobreixen la totalitat del territori, respectant-ne les fronteres.
- (b) Estan formades per agrupacions del territori base o per agrupacions de territoris de subdivisions d'escala inferior.
- (c) S'identifiquen unívocament amb un nom o un codi dins de la subdivisió a què pertanyen.

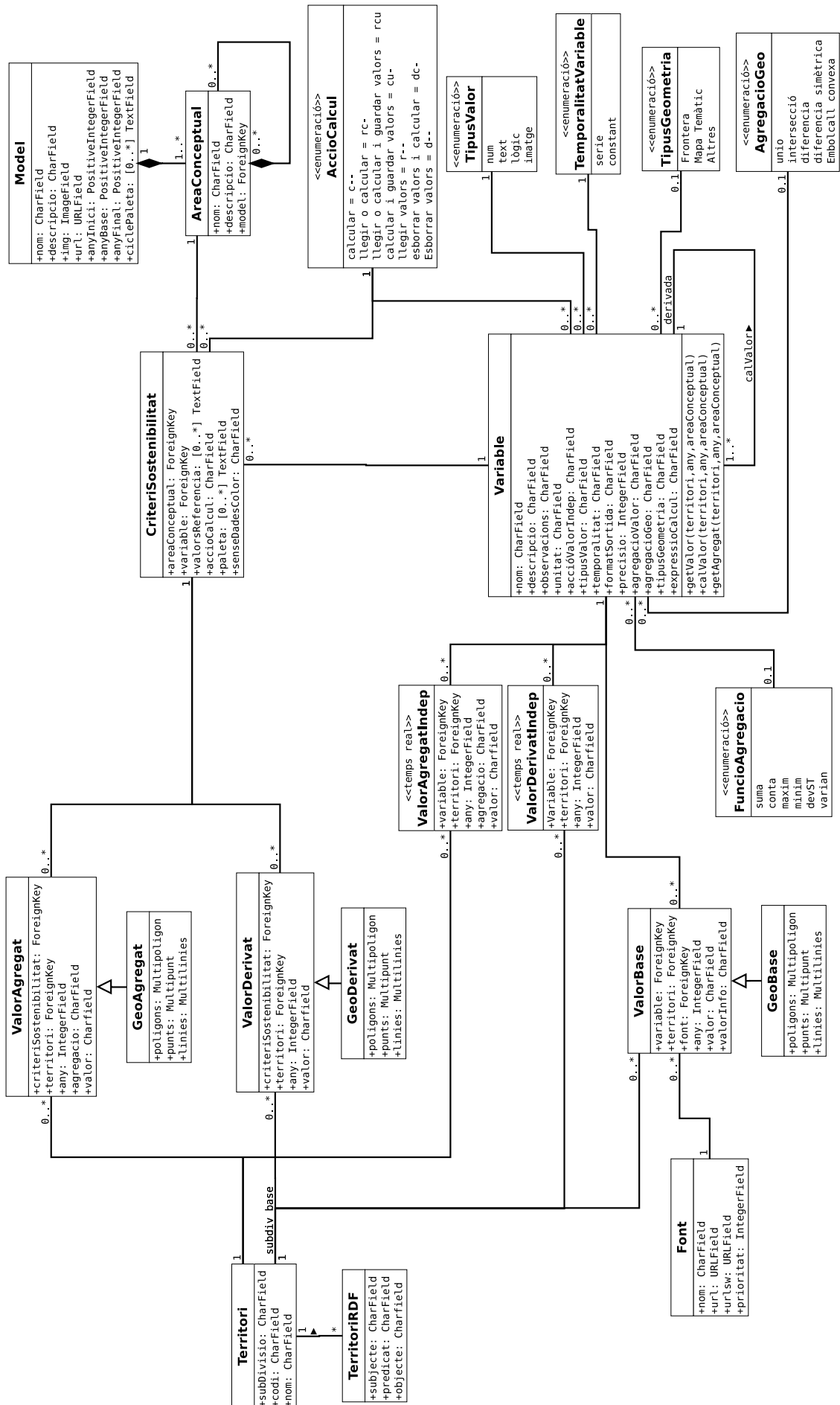


Figura 42: Esquema complet de la base d'informació.

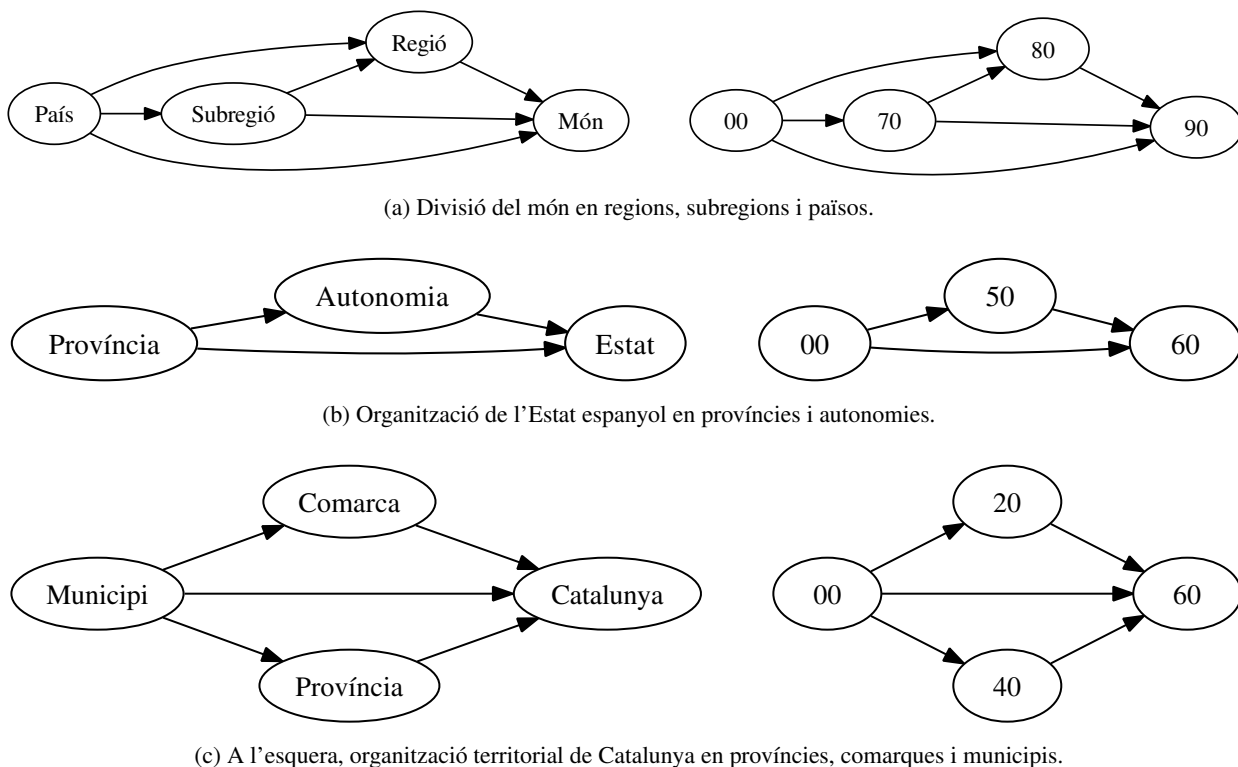


Figura 43: Exemples d'organitzacions i divisions territorials, amb unes possibles definicions d'identificadors interns: (a) Món (b) Espanya i (c) Catalunya.

**4.2.1.2 Disseny del paquet Territori** Per identificar els diferents tipus de subdivisions s'assigna, un identificador de dues xifres:

1. La primera xifra indica l'escala territorial del tipus de subdivisió; com més gran és el nombre més gran és l'escala.
2. La segona xifra enumera tipus de subdivisions que estan en la mateixa escala, començant per zero.
3. El territori base té l'identificador 00. No hi ha altres subdivisions en l'escala 0, ja que si fos així, aquestes s'haurien de formar per agrupacions del territori base.

Exemples:

- A la figura 43a es mostra la divisió del món en regions, subregions i països; es podrien utilitzar els identificadors següents: 90, món; 80, regió; 70, subregió; 00, país.
- L'organització espanyola (figura 43b) podria utilitzar els identificadors següents: 60, estat; 50, autonomia; 00, província.
- La figura 43c mostra l'organització de Catalunya i una possible identificació de les subdivisions (60, Catalunya; 40, província; 20, comarca; 00, municipi). Si s'hi introdueixen les vegueries i es considera que tenen la mateixa escala que les províncies, es podrien identificar amb el nombre 41, vegueria.

Les estructures organitzatives d'un territori són molt variables, així com el nombre de subdivisions i les relacions que mantenen entre si. Per abordar aquesta diversitat, tractem l'estructura organitzativa mitjançant dos grafs:

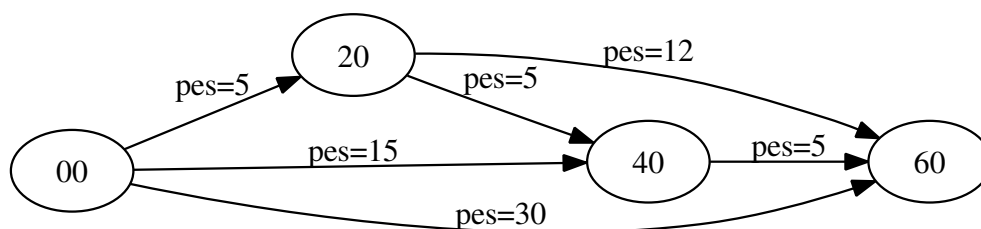


Figura 44: Estructura organitzativa de la divisió del planeta de la figura 43a, en que s'ha utilitzat una nomenclatura genèrica i s'ha assignat un pes per al càlcul de valors agregats.

- Un graf per a l'*organització territorial* format pels *tipus* de subdivisions territorials (nusos) i la seva relació jeràrquica (arestes). El coneixement d'aquesta estructura és necessari principalment per saber com agregar les dades de diferents subdivisions.
- Un altre graf format pel *conjunt de les divisions territorials* existents (nusos) i les relacions entre aquestes (arestes).

Tot seguit veurem cadascun d'aquests grafes.

**Graf de l'organització territorial** Tal com es veurà més endavant, els valors de les variables i dels indicadors estaran referenciats al territori base (territori00). Els resultats per a altres organitzacions del territori s'obtidran agregant els valors de territori00. Si l'estructura organitzativa del territori és prou senzilla, és probable que només hi hagi un possible camí per obtenir els valors agregats. Per exemple, per obtenir els valors d'una comarca de l'organització de la figura 43c, hauríem d'agregar els valors de tots els seus municipis. En canvi, si es volen els resultats agregats d'una variable per el món (figura 43a), no és evident com s'han de fer les agregacions, ja que hi ha quatre camins possibles: països->món, països->regions->món, països->subregions->món i països->subregions->regions->món.

El graf de l'organització territorial dóna una visió general de l'estructura i, un cop establert un pes per a cada relació jeràrquica, permet calcular el camí més favorable per fer les agregacions de valors. El valor del pes de cada relació s'ha de definir per a cada territori i la decisió final tindrà uns components pràctics i d'eficiència. Un cop definit els nusos, les arestes i els pesos, es pot obtenir el camí de menys pes entre un nus qualsevol i el nus base (00) aplicant-hi algorismes de xarxes complexes. Per obtenir el valor agregat per al nus final, s'hi agregen els resultats dels nusos del camí de menys pes. El resultat final de l'agregació de la variable serà el mateix sigui quin sigui el camí escollit finalment.

#### **Gestió de valors agregats: camí de menys pes entre un territori qualsevol i el territori base.**

Per obtenir els valors corresponents a organitzacions territorials diferents del territori base, cal fer agregacions successives dels valors entre els dos territoris en funció de l'estructura organitzativa del territori. Per fer aquestes agregacions, l'equip investigador assigna un pes relatiu a les relacions jeràrquiques dels territoris que permeti al sistema calcular el camí més eficient (és a dir, el que té menys pes) entre un territori i el territori base i executar les agregacions. La figura 44 reproduïx l'estructura organitzativa de la divisió del planeta de la figura 43a, però amb noms de territoris genèrics i assignant un pes a les relacions entre aquests.

La funció *dijkstra\_path* del paquet *NetworkX*<sup>14</sup> calcula el camí més curt entre dos nodes, a partir de la llista de arestes amb els pesos respectius. La figura 43a és una topologia de nodes, arestes i pesos de les arestes.

<sup>14</sup><http://networkx.lanl.gov>

Aquesta topologia la representem com una llista d'arestes amb el seu pes (entitats-mon-generic.list) per calcular els camins de menys pes:

```
# cat territori-mon-generic.list
Territori00 Territori20 5
Territori00 Territori40 15
Territori00 Territori60 40
Territori20 Territori40 5
Territori40 Territori60 5
Territori20 Territori60 12
# python
>>> import networkx as nx
>>> G=nx.read_weighted_edgelist('territori-mon-generic.list')
>>> print(nx.dijkstra_path(G,'Territori00','Territori60'))
['Territori00', u'Territori20', u'Territori40', u'Territori60']
>>> print(nx.dijkstra_path(G,'Territori00','Territori40'))
['Territori00', u'Territori20', u'Territori40']
>>>
```

La funció dóna els camins de menys pes següents:

- entre Territori00 i Territori60: Territori00->Territori20->Territori40->Territori60
- entre Territori00 i Territori40: Territori00->Territori20->Territori40.

**Graf del conjunt de les divisions territorials** Aquest graf ha de permetre relacionar la totalitat del territori. En altres paraules, donat un territori qualsevol, identificat pel nom o pel codi, el sistema ha de permetre identificar:

- El nivell de la subdivisió a què pertany.
- De quines subdivisions forma part.
- Els territoris que, agrupats, el constitueixen.
- Quins són els territoris adjacents o veïns.

Per desenvolupar aquest graf, ens basem en el protocol RDF del web semàntic (veure a l'annex B.4 els conceptes bàsics RDF).

El sistema *bofree* té definit l'espai de noms següent (*Namespace*) per a l'aplicació, les subdivisions territorials i les propietats de les subdivisions:

aplicació	http://bofree.cat/2011/
subdivisions	http://bofree.cat/2011/subdiv/
propietats	http://bofree.cat/2011/subdiv/prop/

Propietats de les subdivisions:

*belongs* pertinença d'un territori a una subdivisió.

*hasName* un territori té un nom.

*adjacent* un territori és veí d'un altre.

Cada implementació del sistema ha de definir un espai per al territori objecte del sistema d'informació:

- Espai per a la implementació d'un territori, en què *nomTerritori* és el nom del territori objecte del sistema d'informació.

```
@prefix terr: <http://bofree.cat/2011/subdiv/nomTerritori>
```

- Espai de noms per a cada tipus de subdivisió del territori, en què *subdiv* segueix la nomenclatura per a la identificació de subdivisions i *nomSubdiv* és el nom de la subdivisió.

```
@prefix subdiv: <http://bofree.cat/2011/subdiv/nomTerritori#nomSubdiv>
```

Si prenem com a exemple la implementació de l'aplicació a Catalunya, amb una estructura territorial com la de la figura 43c, podem concretar les variables dels espais de noms com ara:

```
@prefix terr: <http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya>
@prefix 60: <http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#cat>
@prefix 40: <http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#prov>
@prefix 20: <http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#com>
@prefix 00: <http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#mun>
```

Cada territori objecte d'estudi ha de definir els seus espais de noms i generar les seves llistes de triplets (subjecte, propietat, objecte) dels territoris. Si es disposa de la informació necessària (codis i noms de les diferents subdivisions del territori), el procés per generar la llista no és complicat.

A la figura 45 es mostra una vista parcial del graf RDF de Catalunya segons l'estructura organitzativa de la figura 43c. Les el·lipses són recursos, els quadrats són literals i les fletxes són propietats. A la taula 10 es mostra llista generada de triplets corresponents al graf, en què observem que:

- Les files que tenen en la columna Predicat el valor URIRef("bf:belongs") indiquen que el territori de la columna Subjecte pertany al territori de la columna Objecte.
- Les files que tenen en la columna Predicat el valor URIRef("bf:hasName") estan assignant al territori de la columna Subjecte el nom de la columna Objecte.

Per exemple, a la primera fila, el subjecte URIRef("00:251272") pertany a l'objecte URIRef("20:15") i, a la fila següent, el mateix subjecte URIRef("00:251272") té el nom Literal("Lles de Cerdanya"). Si hi substituïm els prefixos, tenim:

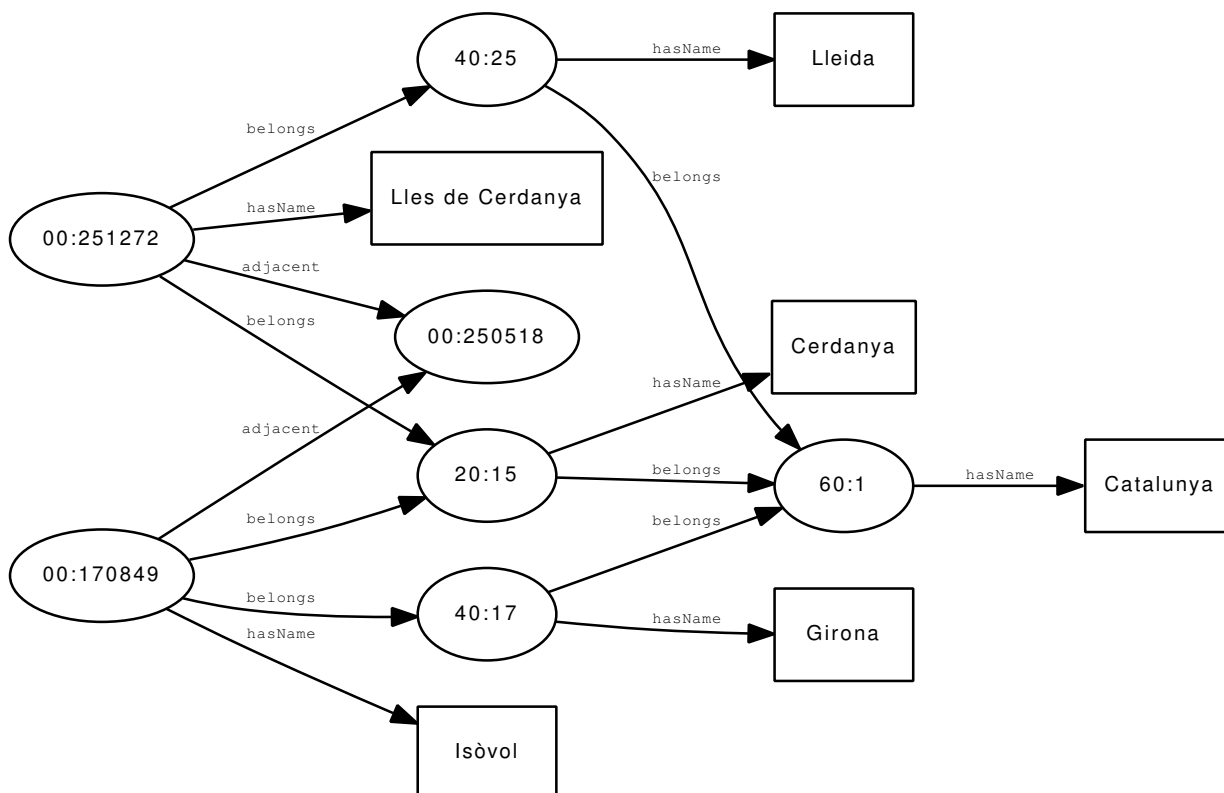


Figura 45: Graf RDF territori de l'estructura territorial de Catalunya segons l'estructura organitzativa de la figura 43c. Les el·lipses són recursos, els quadrats són literals i les fletxes són propietats.

Subjecte	Predicat	Objecte
URIRef("00:251272")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("20:15")
URIRef("00:251272")	URIRef("bf:hasName")	Literal("Lles de Cerdanya")
URIRef("00:251272")	URIRef("bf:adjacent")	URIRef("00:250518")
URIRef("00:251272")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("40:25")
URIRef("40:25")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("60:1")
URIRef("60:1")	URIRef("bf:hasName")	Literal("Catalunya")
URIRef("40:25")	URIRef("bf:hasName")	Literal("Lleida")
URIRef("40:17")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("60:1")
URIRef("40:17")	URIRef("bf:hasName")	Literal("Girona")
URIRef("00:170849")	URIRef("bf:hasName")	Literal("Isòvol")
URIRef("00:170849")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("20:15")
URIRef("00:170849")	URIRef("bf:adjacent")	URIRef("00:250518")
URIRef("00:170849")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("40:17")
URIRef("20:15")	URIRef("bf:hasName")	Literal("Cerdanya")
URIRef("20:15")	URIRef("bf:belongs")	URIRef("60:1")

Taula 10: Vista parcial de triplets (subjecte, predicat, objecte) de l'estructura territorial de Catalunya.



<http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#mun:251272>

pertany a <http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#com:15>

i

<http://bofree.cat/2011/subdiv/Catalunya#mun:251272>

es diu "Lles de Cerdanya"

Seguint el mateix procediment es poden descriure altres tipus d'organitzacions territorials. Les figures 34 i 35, són la representació gràfica dels triplets corresponents al Món i a Catalunya, sense incloure-hi els triplets corresponents a relacions "hasName". Per facilitar la visualització del graf de Catalunya, no s'hi han inclòs les relacions municipi->província i s'hi ha inclòs una relació fictícia, comarca->província que es mostra sempre que una comarca i una província tenen un municipi comú. Es tracta d'una relació fictícia, ja que una província no se subdivideix en comarques.

**4.2.1.3 Paquet Territori. Atributs i operacions.** Amb els mètodes per representar un esquema RDF utilitzant UML hem creat dues classes; d'una banda, la classe *Territori*, que correspon a l'entitat Territori i que s'associarà amb les altres entitats del sistema, i, de l'altra, la classe *TerritoriRdf*, que conté els triplets de subjecte, predicat i objecte del territori.

CLASSE TERRITORI	
Atributs	
<i>subDivisio</i>	codi identificació de la subdivisió territorial al què pertany el territori
<i>codi</i>	codi del territori
<i>nom</i>	nom del territori
Clau: <i>subDivisio+codi</i>	

CLASSE TERRITORI RDF	
Atributs	
subjecte	subjecte
predicat	predicat
objecte	objecte

## 4.2.2 Models conceptuals

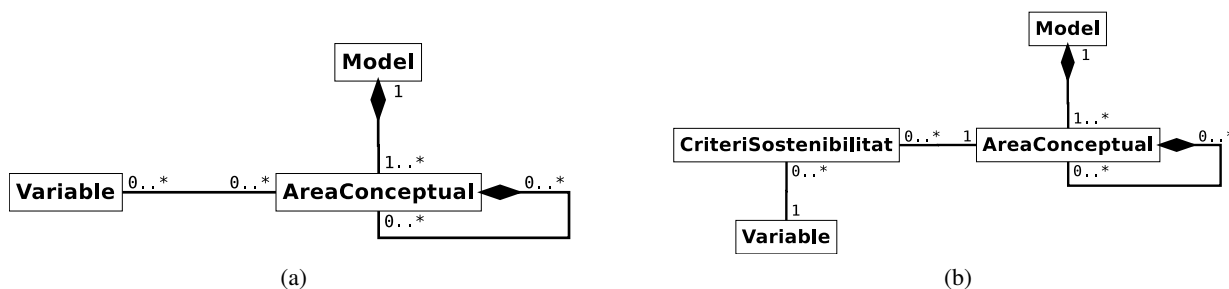


Figura 46: Esquema *Model*, *AreaConceptual* i *Variable*.

El sistema d'informació que estem dissenyant ha de permetre incloure-hi el nombre més gran possible de visions i objectius del que és la sostenibilitat, sense excloure'n cap a priori. Això vol dir que s'hi han de

poder integrar les múltiples variants de models conceptuals. A l'apartat 3.1 s'explica que una de les funcions principals d'un model conceptual és la classificació o agrupació dels indicadors en diferents àrees, sistemes o subsistemes. Hem anomenat aquestes agrupacions *Àrees Conceptuals* o, de forma simplificada, *Àrees*.

L'esquema d'aquesta base d'informació està format pels tipus d'entitats *Model*, *AreaConceptual* i *Variable* (figura 46a). Una instància de *Model* està constituïda per una o més instàncies d'*AreaConceptual* i una àrea ha d'estar en un model. La possibilitat d'establir subcategories o subgrups dins d'una àrea està representada en l'esquema per l'autocomposició del tipus *AreaConceptual*. Pel que fa a la relació *AreaConceptual* i *Variable*, una instància d'*AreaConceptual* està relacionada amb cap o més instàncies de *Variable* i, d'altra banda, una instància de *Variable* pot estar relacionada amb cap o més instàncies d'*AreaConceptual*. Concretant una mica més aquest darrer cas, veiem que:

- Una variable pot estar sense classificar en cap àrea del model.
- Una variable es pot classificar al mateix temps en dues o més àrees (vegeu el final de 3.1).

**4.2.2.1 Criteris de Sostenibilitat** A l'apartat 3.2.1 hem vist que es poden distingir dos tipus de variables: les variables independents i les variables dependents del model conceptual utilitzat. La diferencia entre ambdós tipus és que en les variables dependents s'han introduït, d'alguna forma, els valors dels criteris de sostenibilitat definits per un model de sostenibilitat concret, és a dir, hi ha una relació de dependència entre variable i criteri de sostenibilitat.

En l'esquema anterior, a la figura 46b s'han introduït el tipus *CriteriSostenibilitat* i les relacions amb *AreaConceptual* i *Variable*. D'aquesta forma, una instància de *CriteriSostenibilitat* està associada a una instància d'*AreaConceptual* i a una instància de *Variable*. Una variable de *Variable* pot estar associada a més d'una instància *AreaConceptual* a través de diferents instàncies *CriteriSostenibilitat*.

El tipus *CriteriSostenibilitat* tindrà un atribut *valorsReferencia*, que és una llista dels valors de referència dels models en funció dels seus objectius.

**4.2.2.2 Paquet Model. Atributs i operacions** A la figura 47 es mostra l'esquema de classes UML del paquet Model, amb les relacions entre si. A la taula 11 es pot consultar cada classe del paquet amb una descripció de cada atribut.

### 4.2.3 Variable

El tipus *Variable* conté el total de la població de les variables de l'estudi, siguin aquestes dependents o independents dels models conceptuals. Tenint en compte el que s'ha explicat a l'apartat 3.2.3 sobre les característiques de les variables, el concepte *Variable* es defineix amb els atributs i les operacions principals de la taula 12 i l'esquema UML de la figura 48, en què l'atribut *tipusValor* és una enumeració dels possibles tipus de valors de la variable (numèric, text, lògic, imatge) i l'atribut *temporalitat* és una enumeració amb les opcions anual o constant. A la taula 13 a la pàgina 92 es poden consultar totes les taules tipus enumeració de *bofree*. L'atribut *expressioCalcul* l'expliquem tot seguit.

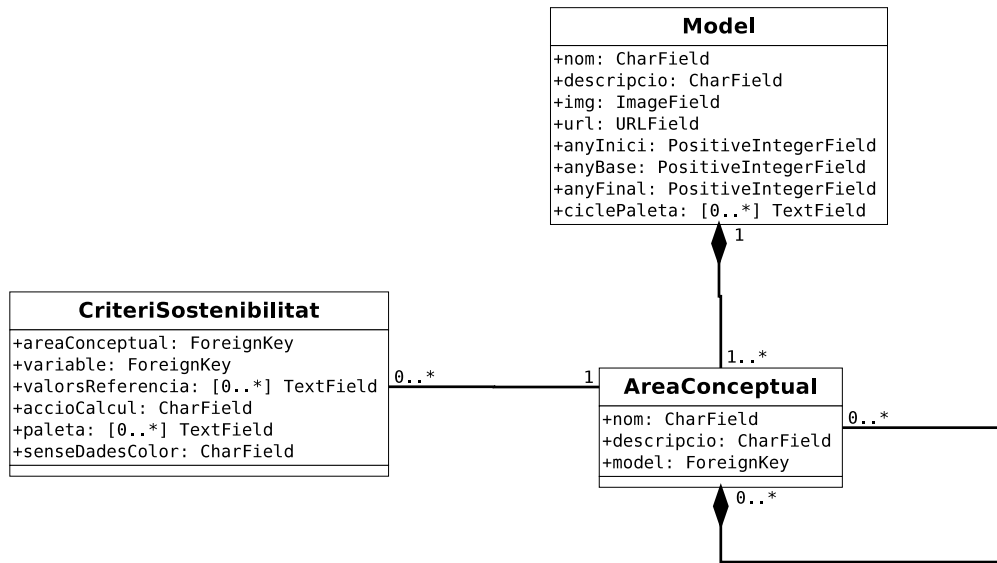


Figura 47: Esquema de classes UML del paquet Model.

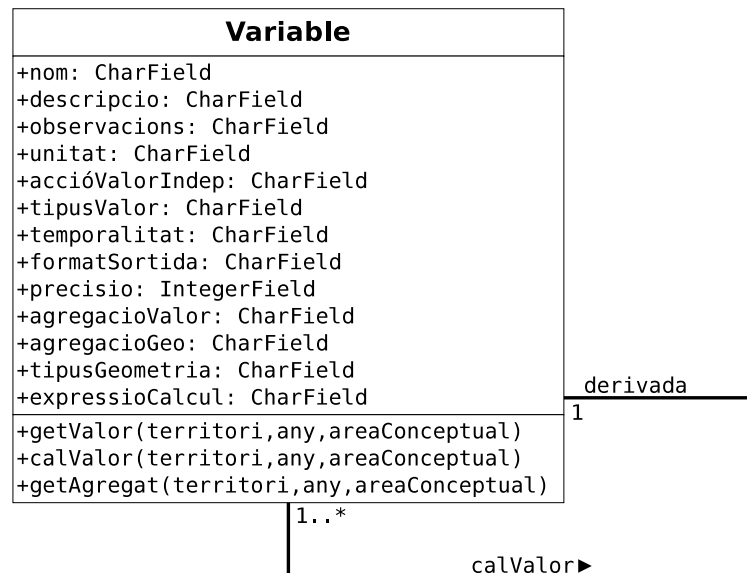


Figura 48: Esquema UML de la classe Variable del paquet Dades.

CLASSE MODEL	
Atributs	
<i>nom</i>	nom del model, és únic dins de la classe.
<i>descripció</i>	descripció extensa de les característiques del model.
<i>img</i>	enllaç a una imatge descriptiva del model.
<i>url</i>	enllaç URL a una font d'informació del model.
<i>anyInici</i> <i>anyFinal</i>	abast temporal de les sèries dades (vegeu 3.3.4).
<i>anyBase</i>	any de base o referent.
<i>ciclePaleta</i>	[0..*] cicle de la paleta de colors per sèries i gràfics circulars.

(a)

CLASSE AREA CONCEPTUAL	
Atributs	
<i>nom</i>	nom de l'àrea del model, és únic en el model.
<i>descripció</i>	descripció breu de l'àrea conceptual.
<i>model</i>	clau externa a la classe <i>Model</i> .
Clau: <i>model</i> + <i>nom</i>	

(b)

CLASSE CRITERI SOSTENIBILITAT	
Atributs	
<i>areaConceptual</i>	clau externa a la classe <i>AreaConceptual</i> .
<i>variable</i>	clau externa a la classe <i>Variable</i> .
<i>valorsReferencia</i>	[0..*] llista de valors de referència de la variable.
<i>accioCalcul</i>	enumeració <i>AccioCalcul</i> .
<i>paleta</i>	[0..*] paleta de colors per a mapes temàtics que utilitzen <i>valorsReferencia</i> com a llindars. Un color en sistema hexadecimal per línia o separat per punt i coma. Si hi ha $n$ <i>valorReferencia</i> , la paleta ha de tenir $n + 2$ colors. Si hi ha $n$ llindars, s'han d'introduir $n + 2$ trams.
<i>senseDadesColor</i>	color que cal utilitzar en els mapes temàtics quan no hi ha dades.
Clau: <i>areaConceptual</i> + <i>variable</i>	

(c)

Taula 11: Atributs del paquet Model.

Atributs	
<i>nom</i>	nom de la variable, indicador, etc. Ha de ser únic.
<i>descripció</i>	explicació d'aquesta variable.
<i>observacions</i>	observacions a tenir en compte.
<i>unitat</i>	unitats dels valors de la variable.
<i>tipusValor</i>	enumeració <i>TipusValors</i> .
<i>formatSortida</i>	format de sortida (nombre de decimals, notació exponencial, etc.).
<i>temporalitat</i>	enumeració <i>TemporalitatVariable</i>
<i>expressioCalcul</i>	expressió de càlcul per a variables derivades.
<i>precisio</i>	precisió dels càlculs. Dígits significatius.
<i>agregacioValor</i>	enumeració <i>AgregacioValor</i> .
<i>agregacioGeo</i>	enumeració <i>AgregacioGeo</i> .
<i>tipusGeometria</i>	enumeració <i>TipusGeometria</i> .
Operacions principals (consulteu totes les operacions a l'apartat 2.2.2)	
<i>getValor()</i>	retorna el valor de la variable per a un territori i un any determinats.
<i>calvalor()</i>	retorna el valor obtingut de l'expressió de càlcul d'un variable ( <i>Variable::expressioCalcul</i> ) per a un territori en un any determinat.
<i>getAgregat()</i>	retorna el valor o la geometria agregada de la variable per a un territori d'escala superior al tipus base, per a un any i, si s'escau, per a una àrea conceptual.

Taula 12: Atributs de la classe Variable.

**4.2.3.1 Variables derivades. Expressió de càlcul** Una part important dels valors utilitzats en un estudi es poden obtenir a través de funcions de càlcul a partir d'altres valors. La funció de càlcul pot ser tan senzilla com una ràtio (que inclou el concepte de valor índex, que mesura el canvi dels valors d'una variable respecte a un valor base) o un índex (un sol nombre que és una funció senzilla de dues o més variables, normalment una operació de suma ponderada, una multiplicació o l'obtenció d'un màxim), o tan complexa com el resultat d'un model de simulació (Gallopín i col., 1997). Habitualment al llarg dels treballs de recerca, els equips investigadors fan aquests tipus de càlculs mitjançant fulls de càlcul, si bé ells mateixos podrien fer prèviament el càlcul dels valors i introduir-los en el sistema d'informació, de manera que s'evitarien alguns dels inconvenients de l'ús de fulls de càlcul explicats a l'apartat 2.7.1.2. El sistema d'informació serà més complet i consistent si registra les fórmules i els procediments de càlcul dels valors de les variables. Així, en executar aquestes fórmules o programes, obtindrà els nous valors.

El procés de combinar variables mitjançant una equació o un programa de càlcul està definint una nova variable que hem anomenat *variable derivada*.

Per incorporar les variables derivades a l'esquema del sistema d'informació, tenim dues opcions:

- Interpretar aquesta variable de càlcul com un nou concepte d'un tipus de variable i introduir un nou tipus d'entitat (per exemple, *VariableDerivada*). Aquesta nova classe seria una subclasse de *Variable*.
- Establir una relació recursiva a *Variable*, de forma que una o més instàncies de la classe *Variable* estiguin relacionades amb una altra instància de la mateixa classe, mitjançant una expressió de càlcul.

Hem optat per la segona opció: introduir la relació recursiva mitjançant una operació *calValor*. Si aquesta

ENUMERACIÓ ACCIOCALCUL	
c-	calcular
rc-	llegir o calcular
rcu	llegir o calcular i desar valors
cu-	calcular i desar valors
r-	llegir valors
dc-	esborrar valors i calcular
d-	esborrar valors
ENUMERACIÓ AGREGACIOVALOR	
no	els valors de la variable no són agregables
suma	la funció d'agregació és la suma
conta	la funció d'agregació és un comptador
mitjana	la funció d'agregació es la mitjana
voc	agregar els VOC
ENUMERACIÓ AGREGACIOGEO	
no	els valors geomètrics de la variable no són agregables
unió	unió
agrupar	agrupar
intersec	intersecció
dif	diferència
dif_sim	diferència simètrica
convex	embolcall convex
voc	agregar els VOC
ENUMERACIÓ TIPUSVALOR	
num	tipus numèric
text	text
logic	tipus booleà
imatge	enllaç a imatge
ENUMERACIÓ TEMPORALITATVARIABLE	
sèrie	els valors de la variable són una sèrie temporal
constant	els valors de la variable són constants en el temps
ENUMERACIÓ TIPUSGEOMETRIA	
no	no és una variable geomètrica
frontera	es tracta de la geometria de la frontera territorial
mapa	permet la generació de mapes temàtics
altres	altres geometries

Taula 13: Classes tipus *Enumeració* de *bofree*.

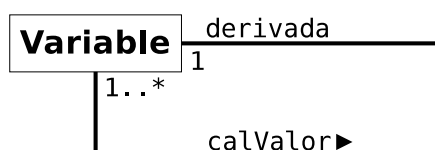


Figura 49: Relació recursiva *calValor*, entre variables i variables derivades.

relació existeix, es tracta d'una relació entre una o més variables i una variable derivada i hi haurà una expressió de càlcul per obtenir els valors de la variable derivada (figura 49). L'expressió de càlcul *expressioCalcul* és un nou atribut de *Variable*. Les variables que intervenen en l'operació de càlcul també poden ser variables derivades. Al llarg del treball, les variables derivades de vegades les anomenem variables de càlcul, ja que l'única diferència entre ambdós tipus de variables és l'existència d'una expressió de càlcul en l'atribut *expressioCalcul*. El mètode de càlcul de valors de variables a partir de l'expressió de càlcul s'explica amb detall a l'apartat 4.4.

Observem, per tant, que el tipus *Variable* conté el total de la població de les variables de l'estudi: variables i variables derivades, tant si són dependents com independents dels models conceptuals. La dependència d'una variable respecte a un model conceptual s'esdevé en el moment en què s'assigna a una àrea conceptual a través de *CriteriSostenibilitat*, tal com s'ha explicat a l'apartat 4.2.2.1.

**4.2.3.2 Mecànica del càlcul de valors** Abans de proposar un disseny del sistema en relació amb els valors, s'ha de resoldre una qüestió operativa relativa a la mecànica del càlcul de valors. Tenim diverses opcions.

Una opció és fer el càlcul de valors en temps real. És a dir, en el moment en què el sistema rep una petició d'obtenció de valors d'una variable derivada, ha d'executar l'operació. En aquest cas, s'obté una funcionalitat similar a la d'un full de càlcul amb els valors sempre actualitzats, ja que s'han de calcular al moment, però amb la contrapartida que el temps de resposta variarà proporcionalment a la complicació intrínseca del càlcul, el nombre de valors que s'han de calcular i la potència de càlcul del sistema.

Una alternativa al càlcul en temps real és executar un procediment que faci tots els càlculs de valors i els desi a la base de dades. Un cop executat el procediment general de càlcul, el temps de resposta serà el mateix per a tots els valors, calculats o no. L'inconvenient d'aquesta opció és que es perden alguns dels avantatges de l'execució en temps real. Per exemple, si posteriorment es modifiquen els valors inicials, el sistema continuarà mostrant els valors calculats anteriorment, o si es modifica l'expressió de càlcul, s'haurà d'executar de nou el procediment de càlcul i emmagatzemar els nous valors.

Una tercera opció, entre les dues anteriors, és deixar en mans de l'investigador, pel que fa a cada variable, la decisió de si els càlculs s'han de fer en temps real o no.

Segons si es calculen valors de variables derivades dependents o independents del model, és a dir, si les variables estan assignades a un criteri de sostenibilitat o no, el sistema *bofree* aplica el següent:

- En el cas de **variables derivades dependents** dels models, sembla clar que la millor opció és la darrera: deixar la decisió en mans de l'investigador. Aquesta opció augmenta la complexitat de *bofree*, però segueix la filosofia general de mantenir el nombre de constryiments imposats als investigadors al mínim. Aquesta opció requereix dissenyar *bofree* de forma que es puguin gestionar els valors calculats per a cada territori i segons el criteri de sostenibilitat.

L'opció de l'investigador es recull a l'atribut *accioCalcul* de la classe *CriteriSostenibilitat*, que està associada a la classe enumeració *AccioCalcul* de la taula 13.

- En el cas dels valors de **variables derivades independents**, s'ha optat per la primera opció, és a dir, calcular els valors en temps real. En primer lloc, perquè el nombre de variables pot ser molt elevat i fer atenció a quines variables s'han de calcular o s'han de desar podria ser la via d'entrada d'errors

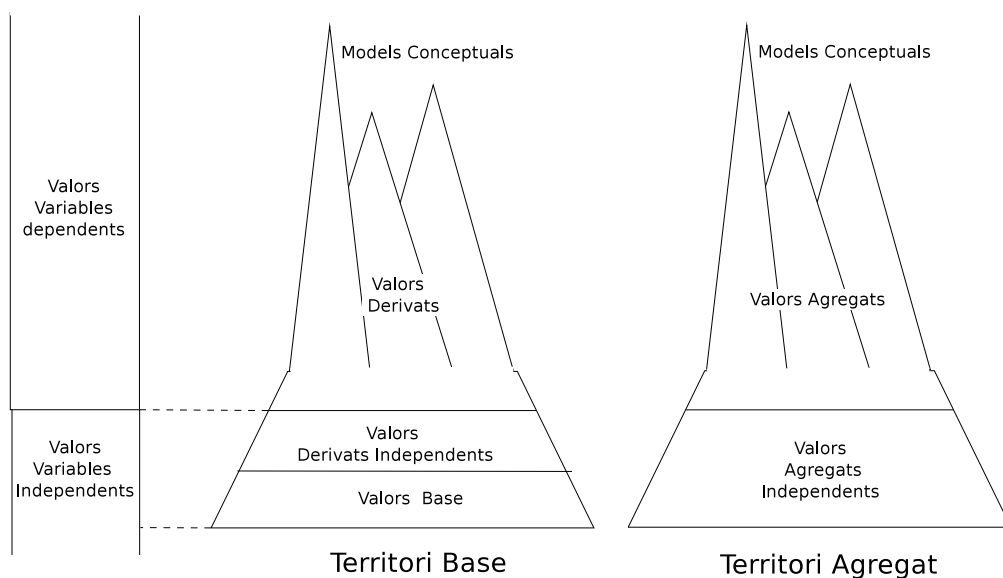


Figura 50: Els tipus d'entitats corresponents a valors, situats a les piràmides de variables: Valors Base, Valors Derivats Independents, Valors Derivats, Valors Agregats Independents i Valors Agregats. A l'esquerra, valors corresponents al territori base i a la dreta, els valors agregats de la resta de subdivisions territorials.

si no es té la precaució de recalculer tots els valors quan es modifica una expressió de càlcul. En segon lloc, en el cas que algun càlcul sigui massa lent per fer en temps real, l'investigador té l'opció de convertir la variable derivada independent en una variable dependent, assignant-la a un criteri de sostenibilitat, i gestionar el càlcul segons el cas anterior.

#### 4.2.4 Valors

A diferència del tipus *Variable*, que conté tota la població de variables del sistema d'informació, els valors es diferencien segons (fig. 50):

1. Valors del territori base i valors agregats a partir del territori base.
2. Valors de variables dependents o independents del model conceptual.<sup>15</sup>

Des del punt de vista del territori tenim:

- Valors del territori base:
  - Valors Base, que contenen tots els valors del territori base de variables independents del model conceptual.
  - Valors Derivats Independents, valors del territori base de variables derivades independents.
  - Valors Derivats, valors del territori base de variables derivades dependents del model conceptual.
- Valors de territori no base: valors agregats:
  - Valors Agregats Independents, valors agregats de variables derivades independents.

<sup>15</sup>Una variable és dependent si està assignada a una area conceptual, a través d'un criteri de sostenibilitat.



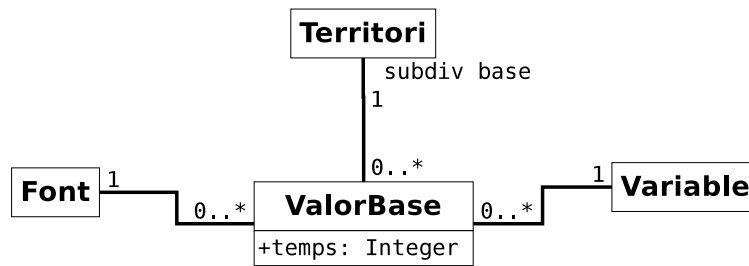


Figura 51: Associacions entre les classes *ValorBase*, *Variable*, *Territori* i *Font*.

- Valors Agregats, valors agregats de variables derivades dependents.

Des del punt de vista de les variables:

- Valors de variables independents: Valors Base, Valors Derivats Independents i Valors Agregats Independents.
- Valors de variables dependents: Valors Derivats i Valors Agregats.

**4.2.4.1 Valors Base** Definim el tipus d'entitat *ValorBase* com el concepte que conté tots els valors del territori base de variables independents del model conceptual.

Tenim quatre classes o tipus d'informació: *Variable*, *ValorBase*, *Territori* i *Font*, amb les associacions entre les classes mostrades a la figura 51. L'associació entre la classe *Variable* i la classe *ValorBase* ens diu que una instància de *Variable* té zero o més instàncies de la classe *ValorBase* (0..\*), és a dir, una variable està associada a un o més valors base, però pot existir una variable sense valors base associats. De la mateixa forma, un *Territori* té associats de zero a un nombre indeterminat de valors base i una *Font* està associada a zero o més valors base. Finalment, una instància de la classe *ValorBase* té associades una instància de la classe *Variable*, una instància de la classe *Territori* i una instància de la classe *Font*.

**4.2.4.1.1 Atributs de ValorBase** Els atributs de *ValorBase* es corresponen amb les característiques dels valors de les variables explicats a l'apartat 3.2.3: variable, territori, font, data i valor.

Tenint en compte que actualment els estudis de sostenibilitat utilitzen primordialment variables quantitatives, qualitatives i d'informació geogràfica, es pot simplificar el ventall de tipus de valors de les variables agrupant-ne algunes en el tipus text:

- Valors numèrics. Alguns gestors de bases de dades transformen els valors numèrics en caràcters abans d'introduir-los a les seves bases de dades. Aquest és el cas, per exemple, de SQLite, en què el tipus d'una dada està associada amb el valor mateix de la variable i no amb el tipus de la columna en què està desada. És a dir, en una mateixa columna es poden desar tipus de dades diferents.<sup>16</sup> Tenint en compte que les funcions de transformació de valors numèrics a text i viceversa són ràpides i no perden precisió, podem afegir els valors reals i enters al tipus text (el tipus complex no s'utilitza en l'anàlisi de la sostenibilitat). Val a dir que en la transformació s'ha de tenir en compte la internacionalització de l'aplicació en relació amb la utilització del separador decimal (punt o coma) que utilitza l'usuari i l'usat internament pel sistema.

<sup>16</sup><http://www.sqlite.org/datatype3.html>

- Les imatges, fotografies, dades ràster, etc., normalment no s’han d’emmagatzemar en una base de dades, sinó que es desen directament en un arxiu de disc i es deixa una referència a la base de dades del camí d’accés per accedir a l’arxiu (directori i nom de la imatge).
- Els tipus següents de valors es poden integrar, a la base de dades, com a tipus text :
  - Valors categòrics, que inclouen valors lògics: verdader, fals.
  - Dates.
  - Altres: enllaç a una pàgina web (URL), adreça de correu electrònic, etc.

Quant a valors vectorials, n’hi ha tres tipus bàsics: punt, línia i polígon. L’especificació “Simple Features for SQL” de l’OGC defineix, a més dels tipus anteriors, els tipus multipunts, multilínies i multipolígons i les col·leccions geomètriques, que han estat implementats en software lliure i són utilitzats per diferents entorns de desenvolupament.

En un estudi de sostenibilitat pot interessar desar el valor d’un sol punt (per exemple, a capital d’una zona geogràfica) o d’un conjunt de punts (a localització geogràfica de pous d’aigua, hospitals, escoles, etc.). Des del punt de vista del sistema d’informació, són tipus diferents de variables: punt i multipunt. Per simplificar els tipus, el tipus de variable punt es pot transformar amb facilitat en multipunts. El mateix fem amb els tipus línia i polígon, utilitzant multilínies i multipolígons. Aquests tres tipus de dades vectorials poden coexistir per a un mateix valor; per exemple, la variable “distribució hidrològica” pot tenir un valor format per multipunts (pous), multilínies (canals) i multipolígons (basses).

La llista de tipus anterior es converteix, per tant, en els tipus següents de variables que cal emmagatzemar a la base de dades:

- Text: que inclou decimals, categòrics, dates, referències a imatges i altres tipus d’informació (URL, correu, etc.).
- Dades vectorials:
  - Multipunts
  - Multilínies
  - Multipolígons

Finalment, cada valor pot tenir associada una informació particular que especifica alguna qüestió que ha de tenir en compte. Per exemple, la hipòtesi de càlcul del valor, les condicions d’ús, les estadístiques o els mètodes d’agregació utilitzats, etc. Aquesta informació pot provenir tant de la font de dades que proporciona el valor com del mateix procés d’estudi. Sempre que es consulta el valor d’una variable, s’ha de poder accedir a aquesta informació. Aquest atribut de valor l’anomenem *valorInfo*.

A la figura 52 es mostren les associacions entre les diferents classes que intervenen, així com les propietats de la classe *ValorBase*. Es pot observar que s’hi ha afegit la classe *GeoBase*, amb les propietats geogràfiques (multipunts, multilínies i multipolígons). La classe *GeoBase* és una subclasse de *ValorBase* i n’hereta les propietats. Una instància de *ValorBase* estarà associada a una instància de *GeoBase* si la instància té una referència geogràfica. Observem que a la classe *ValorBase* s’han fet els tres canvis següents: el rang

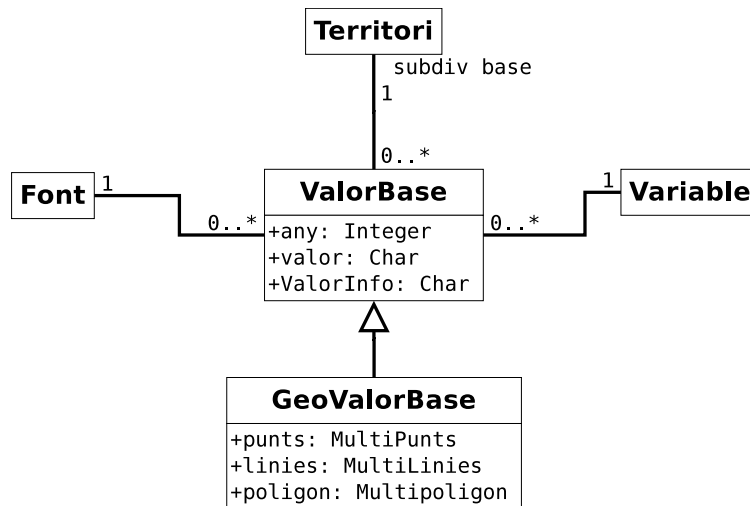


Figura 52: Associacions entre les classes *ValorBase*, *Variable*, *Territori* i *Font*, amb *GeoBase* com a subclasse de *ValorBase*.

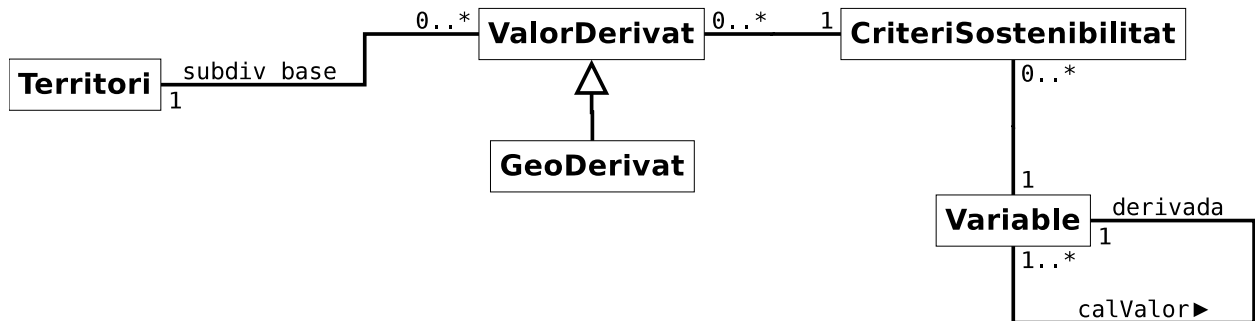


Figura 53: Esquema de relacions entre els tipus *Variable*, *CriteriSostenibilitat*, *ValorDerivat*, *GeoDerivat* i *Territori*.

temporal s’ha concretat en *any* com a tipus numèric enter; s’ha concretat l’atribut *valor* com a tipus caràcter, i, finalment, s’ha afegit *valorInfo* com a tipus caràcter.

Atributs de *ValorBase* que junts són camps clau que identifiquen unívocament una instància: variable, territori, font i any.

**4.2.4.2 Valors Derivats** Definim el tipus d’entitat *ValorDerivat* com el concepte que conté els valors del territori base de variables derivades dependents del model conceptual. Com que les variables derivades dependents són les que estan associades al tipus *CriteriSostenibilitat*, el tipus *ValorDerivat* està associat a *CriteriSostenibilitat*. Els atributs de *ValorDerivat* són els mateixos atributs que *ValorBase*, excepte pel fet que estan referenciats al criteri de sostenibilitat en lloc de a la variable. Aquesta classe es pot interpretar com un *buffer* o memòria cau de càlcul gestionada per l’usuari.

A *CriteriSostenibilitat* afegim un nou atribut, *acció*, amb les accions que cal fer per obtenir els valors de les variables derivades dependents. A la taula 14 s’exposa la llista de possibles accions que l’investigador pot escollir.

Finalment, de la mateixa forma que la classe *ValorBase* té una subclasse *GeoBase*, *ValorDerivat* té una subclasse *GeoDerivat* amb les propietats geogràfiques que es puguin derivar del càlcul dels valors: multipunts, multilínies i multipolígons.

Acció	Descripció	codi acció
Calcular	Calcular els valors en temps real.	c-
Llegir o calcular	Obtenir el valor o, si no existeix, calcular el valor.	rc-
Llegir o calcular i desar valors	Obtenir el valor o, si no existeix, calcular i desar el valor.	rcu
Calcular i desar valors	Calcular i desar el valor.	cu-
Llegir valors	Obtenir el valor.	r-
Esborrar valors i calcular	Esborrar els valors de la variable si existeixen i calcular-los de nou.	dc-
Esborrar valors	Esborrar els valors de la variable si estan desats.	d-

Taula 14: Possibles accions que l'investigador pot escollir per al càlcul de valors de variables derivades o per a l'agregació de valors. Els valors de variables derivades independents es desen a *ValorBase*; els valors de les variables dependents a *ValorDerivat*, i els valors agregats, a *ValorAgregat*.

A la figura 53 es presenta l'esquema de relacions entre els tipus *Variable*, *CriteriSostenibilitat*, *ValorDerivat* i *Territori*.

**4.2.4.3 Valors Agregats** A l'apartat 4.2.1 s'explica la problemàtica i el procediment que cal seguir per obtenir els valors de territoris d'altres escales a partir dels valors del territori base (*Territori00*). Per exemple, per obtenir els valors d'una variable en un continent a partir dels valors dels països, possiblement cal obtenir prèviament els valors agregats per subregions i, a continuació, agregar-los per regions.

En principi es pot agregar qualsevol tipus de valor d'una variable: numèric, lògic, de text, gràfic, etc. Els valors seran agregables en funció de les característiques de les variables agregables, que poden imposar procediments diferents d'agregació. Per exemple, per variables de tipus numèric, en alguns casos s'ha de fer la suma dels valors individuals i en altres casos convé fer una mitjana o, senzillament, comptar el nombre de valors existents.

Pel que fa als valors numèrics, definim cinc operacions d'agregació:

- Suma: el valor agregat és la suma de tots els valors individuals dels territoris en un nivell inferior per a un any determinat.
- Comptador: el valor agregat és el nombre de valors individuals existents dels territoris en un nivell inferior per a un any determinat.
- Mitjana: el valor agregat és el resultat de dividir els dos agregats anteriors, suma i comptador.
- Màxim: valor màxim dels valors dels territoris de nivell inferior.
- Mínim: valor mínim dels valors dels territoris de nivell inferior.

**Aggregació de valors de variables derivades** Les anteriors operacions d'agregació són vàlides per a tot tipus de variables; no obstant això, en les variables derivades, el mecanisme d'agregació variarà en funció de l'expressió de càlcul de l'atribut *càlcul*. Per exemple, suposant que s'ha definit una variable derivada

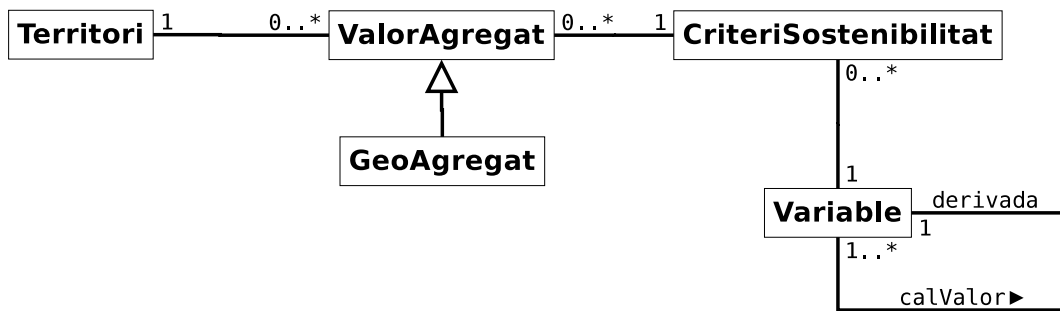


Figura 54: Generalització de l'esquema, en què el territori pot ser qualsevol territori diferent del territori base (00).

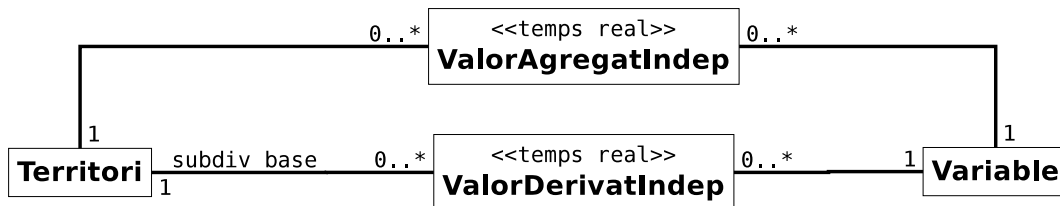


Figura 55: Tipus d'entitat *ValorAgregatIndep* i *ValorDerivatIndep* calculats en temps real i corresponents als valors de variables independents del model conceptual.

*densitatPoblacio*, amb l'operació de càlcul *poblacioTotal/superficie*, i que interessa obtenir la densitat de població per als territoris d'escala superior, ens trobem que les operacions anteriors d'agregació no són aplicables en aquest cas.

Per agregar valors de variables derivades, definim una sisena operació d'agregació que anomenem *agregació VOC* (variables operació de càlcul) i que consta de dos passos:

- En primer lloc, agregar de forma independent cadascuna de les variables de l'operació de càlcul. A l'exemple anterior, s'agregen per separar *poblacioTotal* i *superficie*.
- A continuació, executar l'expressió de càlcul amb els valors agregats anteriors.

Introduïm l'atribut *agregació* al tipus *Variable* per distingir les variables que no són agregables de les que ho són i el tipus d'agregació que s'ha d'aplicar. L'atribut l'associem a una enumeració formada per la selecció següent d'opcions: No agregable, Suma, Compte, Mitjana, Màxim, Mínim i VOC.

Introduïm el tipus d'entitat *ValorAgregat*, que conté els valors agregats de variables derivades dependents, és a dir, variables assignades a una àrea conceptual a través d'un criteri de sostenibilitat. *ValorAgregat* té els mateixos atributs que *ValorDerivat*, però s'hi afegeix l'atribut *agregació* amb el tipus de càlcul d'agregació (figura 54).

Els atributs de les classes *ValorBase*, *ValorDerivat* i *ValorAgregat* es poden consultar a la taula 15 a la pàgina següent.

**4.2.4.4 Valors Derivats i Agregats Independents** A l'apartat 4.2.3.2 s'ha explicat que els valors derivats independents del model conceptual es calculen en temps real, sense que l'investigador pugui escollir desfer o no els resultats. Per tant, a la base de dades no es desa cap valor d'aquest tipus. Aquests dos tipus d'entitats no existiran com a classes a la base de dades, ja que es calculen en temps real; no obstant això, aquest concepte s'inclou per a la completesa de la base d'informació (figura 55).

CLASSE VALORBASE. (NED: Valor00)	
Atributs	
<i>variable</i>	clau externa a la classe <i>Variable</i>
<i>territori</i>	clau externa a la classe <i>Territori</i>
<i>font</i>	clau externa a la classe <i>Font</i>
<i>any</i>	any del valor
<i>valor</i>	valor
<i>valorInfo</i>	informació a tenir en compte respecte el valor o al mètode d'obtenció.
Clau: <i>variable + territori + font + any</i>	
CLASSE VALORDERIVAT (NED: BufferCalcul00)	
Atributs	
<i>criteriSostenibilitat</i>	clau externa a la classe <i>CriteriSostenibilitat</i>
<i>territori</i>	clau externa a la classe <i>Territori</i>
<i>any</i>	any del valor
<i>valor</i>	valor
<i>dataentrada</i>	data d'actualització del càlcul del valor derivat
Clau: <i>criteriSostenibilitat + territori + any</i>	
CLASSE VALORAGREGAT	
Atributs	
<i>criteriSostenibilitat</i>	clau externa a la classe <i>CriteriSostenibilitat</i>
<i>territori</i>	clau externa a la classe <i>Territori</i>
<i>any</i>	any del valor
<i>agregació</i>	funció d'agregació
<i>valor</i>	valor
<i>dataentrada</i>	data d'actualització del càlcul del valor agregat
Clau: <i>criteriSostenibilitat + territori + any + agregació</i>	
SUBCLASSE GEOBASE, GEODERIVAT I GEOAGREGAT	
Atributs	
<i>agregat</i>	clau externa a la classe <i>ValorAgregat</i>
<i>polígons</i>	multipolígons
<i>línies</i>	multilínies
<i>punts</i>	multipunts

Taula 15: Atributs de les classes *ValorBase*, *ValorAgregat* i *ValorDerivat* i de les subclasses geomètriques.

Atributs	
<i>nom</i>	nom de la font de dades
<i>url</i>	enllaç URL de la font de dades
<i>prioritat</i>	prioritat de la font (0 = màxima prioritat, 99 = mínima prioritat)

Taula 16: Atributs de la classe Font.

Any	Valors			Valor retornat per prioritat de la font z>y>x
	Font X	Font Y	Font Z	
1999		170		170
2000		185	190	190
2001	225			225
2002	340	312		312
2003	345			345

Taula 17: Valors retornats pel sistema d'informació, per a un territori i variables determinats, segons la prioritat de les fonts de dades.

Definim el tipus d'entitat *ValorDerivatIndep* com el concepte que conté els valors calculats en temps real corresponents al territori base de variables derivades independents del model conceptual. Aquesta entitat té els mateixos atributs que l'entitat *ValorDerivat* (apartat 4.2.4.2).

Definim el tipus d'entitat *ValorAgregatIndep* com el concepte que conté els valors calculats en temps real corresponents a territoris no base de variables derivades independents del model conceptual. Aquesta entitat té els mateixos atributs que l'entitat *ValorAgregat* (apartat 4.2.4.3).

#### 4.2.5 Font de Dades

Entre les característiques possibles d'una font de dades, els atributs mínims necessaris per el funcionament del sistema són:

- Nom: nom de la font de dades.
- URL: adreça de l'enllaç d'internet.
- Prioritat: nombre enter que indica la prioritat relativa entre diferents instàncies de fonts de dades.

A l'apartat 4.2.4.1 s'ha explicat que una instància de *Valor* s'identifica unívocament per una *Variable*, un *Territori00*, una *Font* i un any. Veiem que podem identificar valors diferents d'una variable per a un territori en un any determinat, amb la condició que les fonts de dades siguin diferents. Des del punt de vista de l'investigador es pot tenir més d'un valor d'una mesura en una mateixa data i per a un mateix lloc, és a dir, valors repetits. Aquesta facilitat permet, per exemple, fer simulacions o proves del tipus "què passaria" si el valor d'unes dades fos diferent, sense necessitat de variar el valor de la dada original. L'únic requeriment és que els valors repetits vinguin de fonts de dades diferents. Per facilitar l'ús de valors "repetits" de diferents fonts es proposa assignar prioritats a les fonts de dades. D'aquesta forma el sistema retorna el valor de la font amb més prioritat. A la taula 17 es presenta un exemple dels valors retornats pel sistema d'informació, per a un territori i unes variables determinats, segons la prioritat de les fonts de dades.

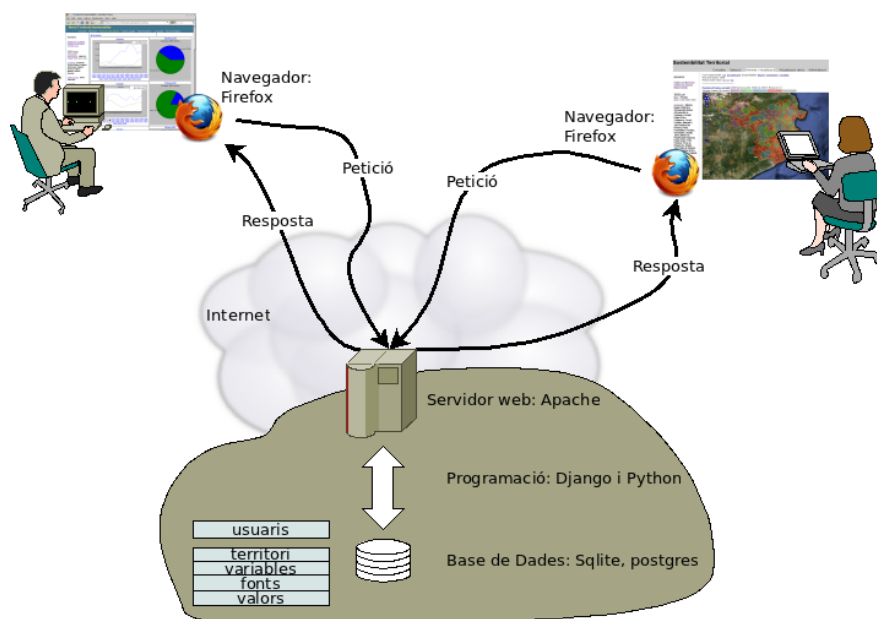


Figura 56: Funcionament esquemàtic de l'aplicació.

#### 4.2.6 Comparativa entre els models ODM i *bofree*

Si comparem els models de dades de *bofree* (figura 42 a la pàgina 81) i de l'*Observations Data Mode* (ODM) de CUAHSI Hydrologic Information System a l'apartat 1.4 a la pàgina 5 es poden destacar les similituds següents entre les taules d'ambdós sistemes, si més no, des del punt de vista conceptual, ja que a nivell d'atributs varien considerablement:

Model ODM	Model <i>bofree</i>
Valors observats	ValorBase, ValorDerivat i ValorAgregat
Variable	Variable
Localització punt de monitoratge	Territori
Fonts de dades	Fonts de dades

#### 4.3 Processos del sistema d'informació

El processos generals del sistema són la selecció de dades, la visualització de dades (consultes, gràfics, mapes temàtics, etc.), l'intercanvi de valors amb aplicacions externes i l'administració general (altes, baixes, etc. dels diferents components del sistema). S'han desenvolupat processos específics per a l'actualització de valors base, a causa de la gran quantitat d'instàncies a administrar, i per a l'obtenció de valors, que poden ser instàncies que pertanyen a diverses classes: valors base, valors derivats o valors agregats.

El procés de càlcul de valors d'una variable és un procés específic clau del sistema que ha requerit la definició d'un mètode desenvolupat *exprofesso*. Aquest procés es descriu a l'apartat 4.4 (Mètode de càlcul de valors de variables derivades).

A la figura 56 es pot veure esquemàticament el funcionament del sistema des del punt de vista de l'investigador. El sistema d'informació, format per la base de dades i els seus processos, està situat en un servidor connectat a la xarxa internet.



En un sistema multiusuari accessible per internet mitjançant navegador s'ha d'establir un sistema de control de les peticions dels usuaris i de les respostes del sistema. En el sistema desenvolupat s'han definit una sèrie de variables que seran persistents al llarg de les sessions d'un usuari amb el sistema d'informació. Per persistents entenem un conjunt de dades que es mantenen al llarg del temps, de forma que quan un usuari es torna a connectar, recupera la informació tal com estava en la darrera connexió que va fer des del mateix ordinador. El sistema utilitza galetes per fer aquesta funció. A les galetes es desa un número de sessió a partir del qual obtenen les dades de la darrera sessió desades al servidor.

#### 4.3.1 Selecció de dades

La selecció de dades és un dels processos fonamentals d'un sistema d'informació. En el cas de *bofree*, l'objectiu és poder seleccionar un conjunt de valors per, a continuació, fer algun tipus d'acció amb els valors escollits. La selecció de valors s'ha de poder fer combinant els diferents conceptes que formen el sistema d'informació, és a dir, marcs conceptuals, territoris, fonts de dades i variables. Com més graus de llibertat es permeti en la combinació dels diferents conceptes, més possibilitats de selecció de valors tindrà l'usuari. En el sistema *bofree* únicament s'imposen els constrenyiments següents durant el procés de selecció:

- Sempre hi ha d'haver un marc conceptual seleccionat i només un. Aquest constrenyiment implica que no es podran seleccionar, en un mateix procés, valors derivats i valors agregats provinents de diferents models conceptuals. Evidentment, l'investigador podrà obtenir valors de diversos models, però haurà d'executar processos successius de selecció i d'arxiu de valors amb els diferents models conceptuals.
- Només es poden seleccionar les instàncies de *Variable* que estan associades a una instància de *CriteriSostenibilitat*, és a dir, variables que estan assignades a una àrea conceptual. Aquest constrenyiment no seria necessari per a instàncies de *ValorBase*, però sí per a valors derivats i valors agregats, ja que estan associats a un criteri de sostenibilitat.

El procés de selecció de dades desa en la galeta de sessió de l'usuari les variables següents:

*triatmarc*    conté una instància de *Model*.

*triatterritori*    conjunt d'instàncies de *Territori*.

*triatscamp*    conjunt d'instàncies de *CriteriSostenibilitat*.

*triatfont*    conjunt d'instàncies de *Font*.

Els processos que necessiten un conjunt de valors consulten les variables anteriors i fan les operacions necessàries per obtenir els valors.

Observem que no es desa cap variable a la galeta que tingui relació amb l'espai temporal dels valors, l'any. L'espai temporal que utilitzarà el procés de selecció a l'hora de recuperar valors serà el rang d'anys especificat en els atributs *anyInici* i *anyFinal* de la instància de *Model* de *triatmarc*.

*triatfont* limita les instàncies de *ValorBase* a les associades a les instàncies de *Font* contingudes a *triatfont*. Si *triatfont* no conté cap instància de *Font*, el sistema assumeix que no hi ha cap restricció i aplica la prioritat de les fonts (vegeu 4.2.5), de forma que, donat un conjunt d'instàncies de *ValorBase* es detecten les

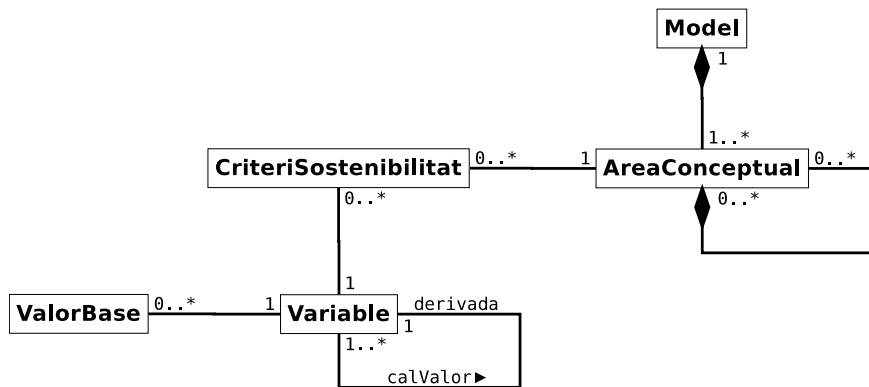


Figura 57: Selecció de variables. Es mostren les variables derivades i les variables base per a les quals hi ha valors base.

instàncies que tenen els atributs variable, territori i any iguals i s'eliminen totes excepte la instància que té la font amb més prioritat.

Dels quatre conceptes (marcs conceptuals, territoris, fonts de dades i variables), dos requereixen establir algun tipus de mecanisme per seleccionar instàncies: territoris i variables. Com hem vist abans, només es pot seleccionar un marc conceptual. La majoria de les vegades, la selecció de font de dades es deixarà guiar per la selecció automàtica de les fonts amb més prioritat; per seleccionar una o diverses fonts, és suficient presentar una llista de les instàncies de Font.

Selecció de variables. Com s'ha explicat, s'han de seleccionar instàncies de *Variable* associades a una instància d'*AreaConceptual*, a través d'una instància de *CriteriSostenibilitat* (figura 57). Per facilitar la selecció de les variables, l'usuari escull l'àrea conceptual i el sistema presenta una llista de variables assignades a aquella àrea conceptual. En el sistema *bofree* s'apliquen els criteris següents per mostrar les variables assignades a una àrea conceptual:

- Mostrar sempre les variables de càlcul, és a dir, les que tenen una expressió a l'atribut *expressioCalcul* de *Variable*.
- Mostrar del conjunt de variables que no són de càlcul únicament les tenen una o més instàncies de *ValorBase* associades, és a dir, mostrar les variables base per a les quals hi ha valors base. Si hi ha seleccionades algunes instàncies de Font, únicament es mostren els valors base associats a les fonts.

El sistema sempre mostra a l'usuari les variables juntament amb l'àrea conceptual a què pertanyen, de forma que no hi ha dubte de quina instància de criteri de sostenibilitat s'ha seleccionat.

Selecció de territoris. El sistema permet fer dues accions: d'una banda, filtrar divisions territorials, de forma que es mostrin únicament les que són d'interès per a l'usuari, i, de l'altra, seleccionar alguns dels territoris mostrats i/o aplicar nous filtres al territori. Recordem que el territori es descriu mitjançant dos grafs, un per a l'organització territorial i l'altre per al conjunt de les divisions territorials existents. Els territoris s'ordenen segons una jerarquia establerta en el primer graf i les subdivisions s'agrupen segons el segon graf. Es pot escollir qualsevol combinació d'escala territorial i, dins d'una mateixa escala, una o diverses subdivisions territorials.

Una selecció serà vàlida si els conceptes permeten identificar algun valor. Com a mínim, la selecció ha d'estar formada per una instància de *CriteriSostenibilitat* i una instància de *Territori* (la instància de *Model* per saber el rang temporal es pot deduir de la instància de *CriteriSostenibilitat*).

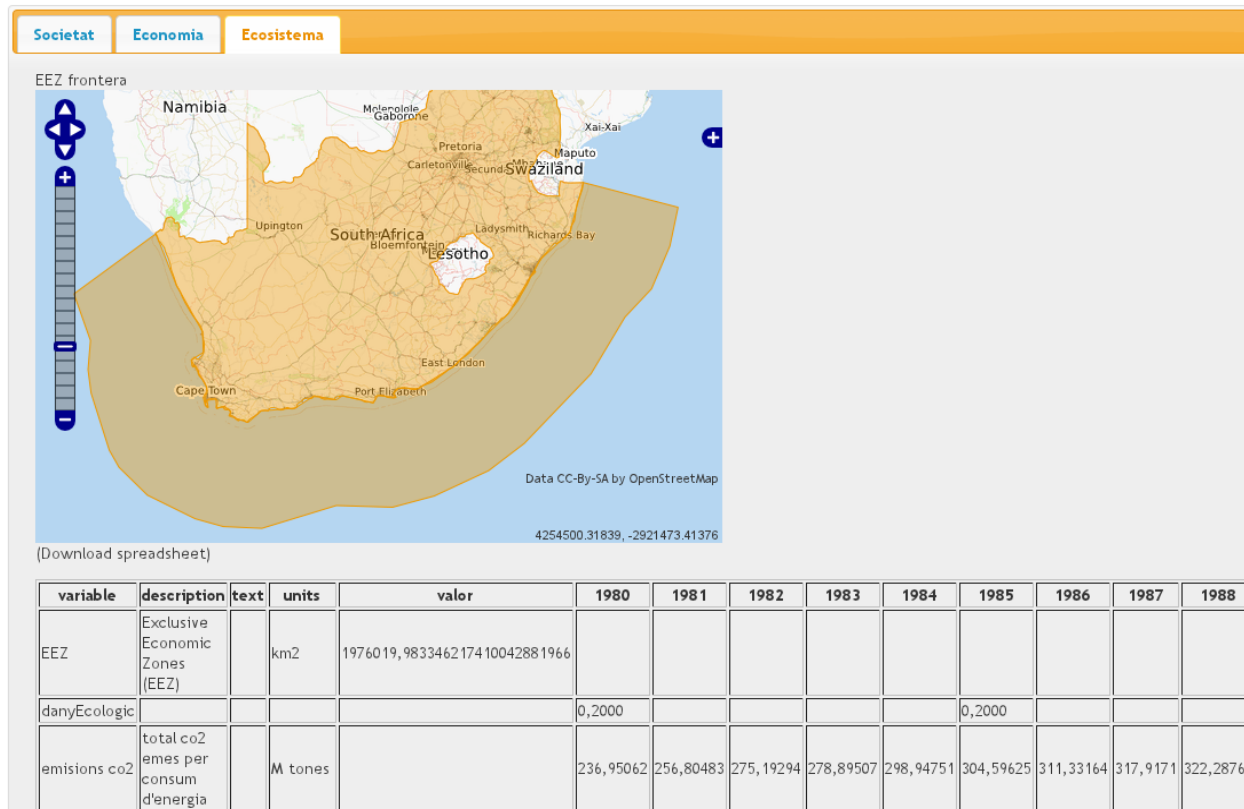


Figura 58: Consulta de les dades de Sudàfrica. Cada pestanya correspon a una àrea del model conceptual triat. En primer terme es mostren la informació geogràfica de les variables gràfiques (en el cas de la figura, la frontera i l'EEZ).

### 4.3.2 Visualització de dades

La visualització de dades és un dels mètodes de comprovació ràpida de resultats. Es poden visualitzar les dades mitjançant gràfics i mapes temàtics a partir d'una selecció de dades com la que s'ha explicat a l'apartat anterior o directament visualitzar les dades d'un territori. Aquest darrer opció l'anomenem *consulta territori*.

**4.3.2.1 Consulta territori** La consulta d'un territori permet visualitzar tota la informació disponible relacionada amb el territori, sense passar pel procés de selecció d'àrees conceptuals, variables o fonts de dades. Si el territori no és un territori base, el sistema *bofree* fa les agregacions necessàries tant de les variables geogràfiques com de les numèriques. A la figura 58 es mostra un exemple de consulta. La consulta està encapçada pel nom del model conceptual actiu i una pestanya amb el nom de cada àrea conceptual existent en el model.

A cada pestanya hi ha la relació de les variables i els valors corresponents i de les variables geomètriques associades a l'àrea. Tots els valors de les variables geomètriques es mostren superposats en un mateix mapa, però cadascun en una capa independent, de forma que es pot gestionar quins es mostren i quins no. Les variables no geomètriques es mostren a continuació en forma de taula. Cada variable ocupa una fila i les columnes en mostren el nom i la descripció. A la columna valor hi ha el valor si la variable no té temporalitat i, en el cas de les sèries temporals, hi ha una columna per a cada any segons els rangs temporals del model

# Sostenibilitat Territorial Girona

Consultes Selecció Informes i visualització Actualització valors Administració Navegador de dades

## REPORTS

[Gràfics per Municipis](#)  
[Gràfics per Camps](#)  
[Mapa Temàtic](#)

## SELECCIÓ

Marc : CST  
Anys: 1985 2006 2006

municipis : *Banyoles. Camós. Cornellà del Terri. Crespia. Esponellà. Fontcoberta. Palol de Revardit. Porqueres. Sant Miquel de Campmajor. Serinyà. Vilademuls.*

No s'ha triat cap font

Camps : *PBL\_ATU\_H. PBL\_ATU\_D.*

[Descarregar selecció](#)

Usuari: jordi  
Base de dades:  
gi-geo1007.db ex394

[totes les series](#)

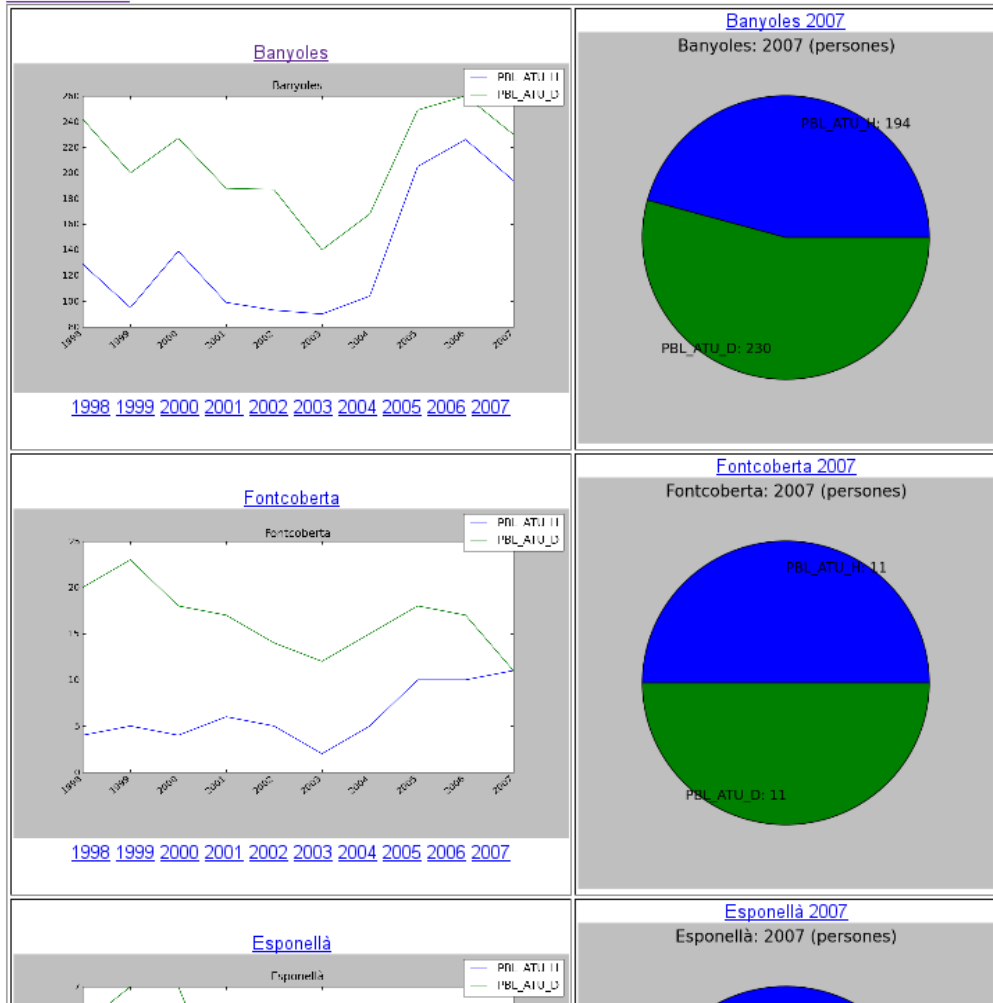


Figura 59: Visualització dels gràfics de sèries temporals i gràfics circulars, agrupats per territoris.

conceptual. La columna text es reserva per mostrar avisos a l'usuari; per exemple, si es produeixen errors a la sintaxi en les expressions de càlcul o errors matemàtics durant el càlcul.

Es pot descarregar un full de càlcul amb les dades de cada àrea conceptual.

**4.3.2.2 Sèries temporals i gràfics circulars** Es poden generar gràfics de sèries temporals i gràfics circulars organitzats per territoris o per variables (figura 59).

Per als gràfics organitzats per territoris, el sistema genera un gràfic per cada territori amb les sèries temporals de les variables seleccionades i un gràfic circular del darrer any en què hi ha dades, sempre que hi hagi com a mínim dues variables. A sota del gràfic de les sèries temporals es mostren els anys en què existeixen dades per a aquell territori.

Per als gràfics agrupats per variables es genera un gràfic per cada variable amb les sèries temporals de la variable per cada territori. Cada gràfic circular correspon a una variable, amb subdivisions segons els valors que té en cada territori.

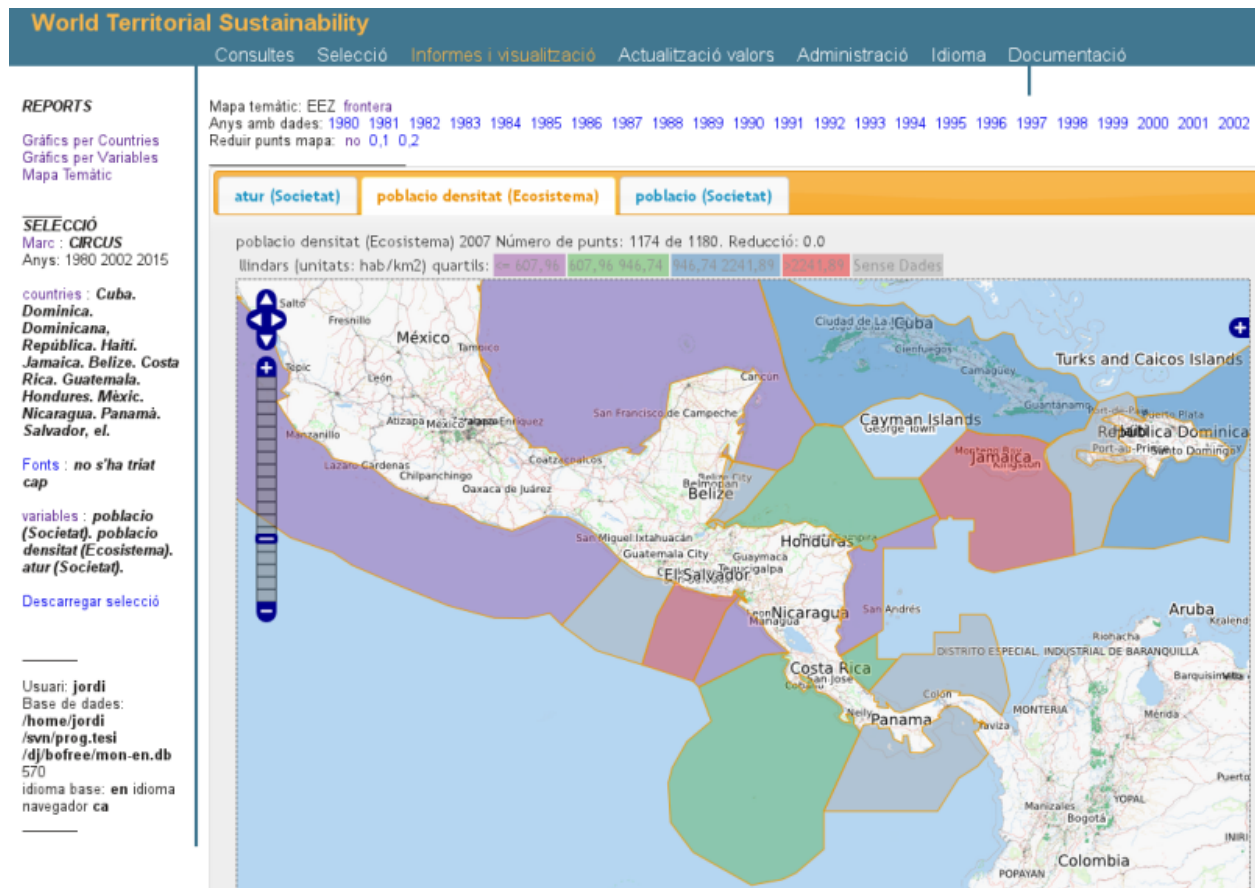


Figura 60: Mapa temàtic de les zones exclusives de pesca (EEZ) d'alguns països d'Amèrica Central, segons els quartils de la densitat de població.

La paleta de colors utilitzats per a cada sèrie o gràfic es defineix a nivell de model conceptual mitjançant l'atribut *ciclePaleta*.

**4.3.2.3 Mapes temàtics** Per a cada variable seleccionada es generen uns mapes temàtics compostos per una variable geogràfica dels territoris seleccionats; per exemple, frontera política, zones agrícoles, zones de pesca, etc. (figures 60 i 61). Cada mapa està situat en una pestanya titulada amb el nom de la variable i de l'àrea del model conceptual a què està assignada. Es poden generar mapes per a qualsevol dels anys de què existeixin dades i, inicialment, es mostra el de l'any de referència especificat pel model conceptual actiu.

**Variabls geogràfiques** Les variables geogràfiques que poden generar un mapa temàtic són les que tenen “frontera” o “mapa” a l'atribut *tipusGeometria* de *Variable*. Únicament hi ha d'haver una variable “frontera”, que marca la frontera territorial del sistema. Poden haver-hi tantes variables geogràfiques “mapes” com faci falta. El sistema genera inicialment els mapes temàtics basant-se en les geometries de la variable “frontera” i, posteriorment, es poden generar mapes per a qualsevol variable geomètrica del tipus “mapa”.

L'aplicació compon el mapa ajuntant totes les formes geomètriques, sense tractar les possibles superposicions de polígons. Si es generen mapes de regions extenses que engloben molts polígons o de polígons formats per molts punts, és possible que el navegador no disposi de suficient memòria per encabir el mapa generat. Per generar mapes d'aquest tipus es té l'opció d'aplicar una ràtio de reducció (0,1 i 0,2) que redueix el nombre de punts dels polígons. A l'annex B.3.3 es mostra l'efecte visual d'aquesta reducció.

# Sostenibilitat Territorial

Consultes Selecció Informes i visualització Actualització valors Administració

## REPORTS

[Gràfics per Municipis](#)  
[Gràfics per Camps](#)  
[Mapa Temàtic](#)

## SELECCIÓ

Marc: *Prueba*  
Anys: 1950 2007 2050

municipis : *Albons. Begur. Bellcaire d'Empordà. Bisbal d'Empordà, la. Calonge. Castell-Platja d'Aro. Colomers. Corçà. Cruïlles, Monells i Sant Sadurn de l'Heura. Fobça. Fontanilles. Forallac. Garrigoles. Gualta. Jafre. Mont-ras. Palafrugell. Palamós. Palau-sator. Pals. Parlavà. Pera, la. Regencós. Rupit. Sant Feliu de Guixols. Santa Cristina d'Aro. Serra de Daró. Tallada d'Empordà, la. Torrent. Torroella de Montgrí. Ullastret. Ullà. Ultramort. Vall-llobrega. Verges. Vilopriu. Agullana. Aiguaviva. Albanyà. Alp. Amer. Anglès. Arbúcies. Argelaguer. Armentera, l.*

Fons mapa temàtic: [cap](#) [GoogleHybrid](#) [GoogleSatellite](#) [Mapnik](#) [Osmarender](#) [CycleMap](#)  
Anys amb dades: 2008  
Reduir punts mapa: [no](#) [0.1](#) [0.2](#)

[Residuos \(Prueba societat\)](#) 2008 Numero punts: 36492 de 36915. Reducció: 0.1

llindars (unitats: t) quartils: 93- 286.9- 699.0- 2172.1 - 84484 Sense Dades

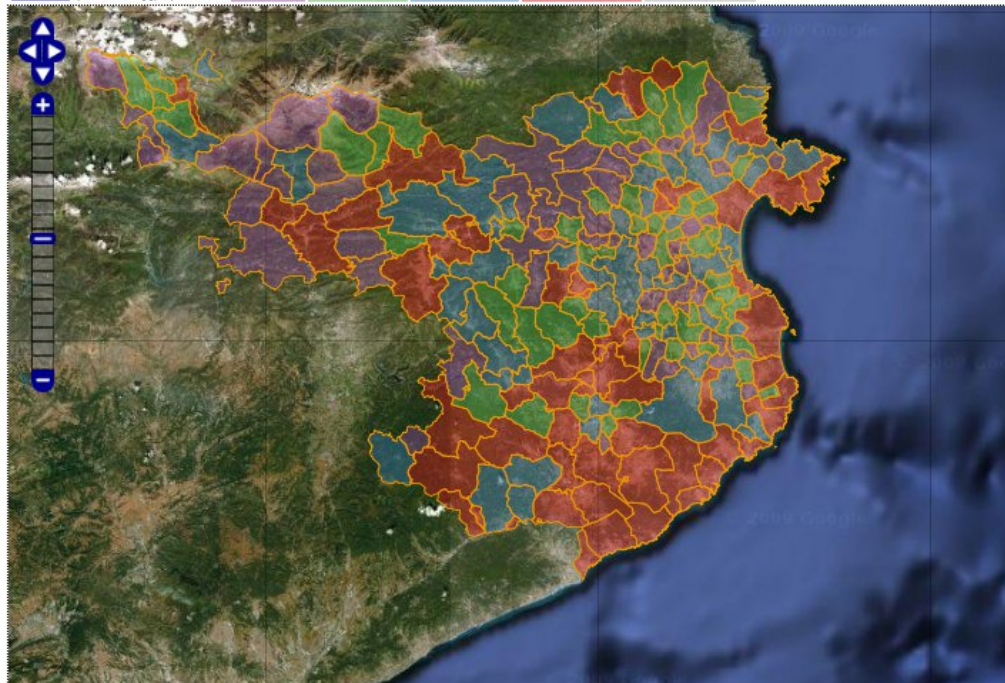


Figura 61: Mapa temàtic dels residus dels municipis de la província de Girona, segons quartils. El mapa de fons és de Google Satellite.

**Llindars i rangs de colors** Els llindars que cal aplicar es poden fixar per a cada variable i àrea conceptual mitjançant l'atribut *valorsReferencia* de *CriteriSostenibilitat*. Un cop generat el mapa, es poden escollir quins llindars es mostren i es té l'opció de mostrar les variables geomètriques que no tenen dades.

El rang de colors que s'aplica a cada rang de valors de referència es defineix a l'atribut *paleta* de *CriteriSostenibilitat*.

**Mapes fons** Un cop generat el mapa, es pot escollir el mapa de fons que es vol utilitzar (opció marcada amb un signe + a la dreta del mapa). Es poden usar mapes d'OpenStreetMap (Mapnik, Osmarender o CycleMap) o de Google (Hybrid i Satellite). Es recomana utilitzar els mapes d'OpenStreetMap, ja que són *open data* sota llicència *Creative Commons*. També es té l'opció de deixar el mapa sense fons.

### 4.3.3 Intercanvi de valors amb aplicacions externes

A l'apartat anterior s'han explicat les eines de visualització del sistema *bofree* i a l'apartat 4.4 s'explica el procés de càlcul per a l'obtenció de valors. Aquestes dues eines proporcionen unes funcionalitats bàsiques de visualització i càlcul de valors de variables integrades amb els models conceptuals i el territori. Actualment, el desenvolupament d'eines informàtiques especialitzades en aquests dos àmbits, el de la visualització de dades i el del càlcul, és molt important i sistemàticament sorgeixen nous desenvolupaments. Per poder usar-les amb el sistema *bofree* s'han de desenvolupar mecanismes d'intercanvi de dades, que facilitin la importació i exportació de valors.

Cadascuna de les eines externes requereix mecanismes d'intercanvi específics, utilitzant protocols o estàndards propis dels seus àmbits. En el sistema *bofree* es proposen inicialment els dos mecanismes següents d'exportació de dades a partir de qualsevol selecció de dades:

- Exportació en format CSV de qualsevol selecció de dades, de forma que es puguin incorporar a un full de càlcul o es pugin importar en altres desenvolupaments.
- Exportació en format DSPL (*Dataset Publishing Language*, (Google, 2010, en línia)), que permet exportar i visualitzar les dades en GPDE (*Google Public Data Explorer*, (Google, 2011, en línia)). El GPDL és un llenguatge similar a l'estàndard SDMX (*Statistical Data and Metadata Exchange*), desenvolupat per diverses organitzacions internacional (Eurostat, Banc Mundial, etc.) per l'intercanvi de dades estadístiques (SDMX, 2011, en línia). La diferència bàsica és que és més fàcil d'utilitzar, ja que es basa en XML i en CSV, en lloc d'utilitzar únicament XML (Spencer, 2011, en línia). A la figura 71 a la pàgina 135 es mostra un exemple de visualització de dades mitjançant GPDE.

La importació de dades al sistema *bofree* es fa mitjançant el format CSV, tal com s'explica en el procés d'alta massiva de valors base de l'apartat 4.3.4.

### 4.3.4 Processos d'actualització de valors. Administració del sistema.

El sistema *bofree* permet fer els procediments habituals de manteniment del sistema d'informació: altes, baixes, modificacions i consultes dels diferents components del sistema. Per això es basa en les funcionalitats que actualment proporcionen les eines de desenvolupament, que generen els processos anteriors directament

World Territorial Sustainability. Administration	
Documentació	
Site administration	
<b>Auth</b>	
Groups	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Users	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
<b>Dades</b>	
Data sources	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Semantical web sources	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Values	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Variables	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
<b>Marc</b>	
Categorizations	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Frameworks	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Variable categorizations	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
<b>Scripts</b>	
Scripts	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
<b>Territori</b>	
Countries	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Regions	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>
Subregions	<a href="#">+ Add</a> <a href="#">Change</a>

**World Territorial Sustainability. Administration**

Documentació  
Home > Dades > Variables > capacitat carrega(c)

### Change variable

**Name:**   
No usar els caracters % ? # > < / \ ' "

**Description:**

**Units:**

**Tipus:**

**Decimals:**   
Decimal places

**Observations:**

**Swlink:**  [+](#)

**Fòrmula de càlcul:**   
k: reference=0  
danyEcologic: danyEcologic  
anyBase: 1970  
P0: poblacio|year=1970  
any: year

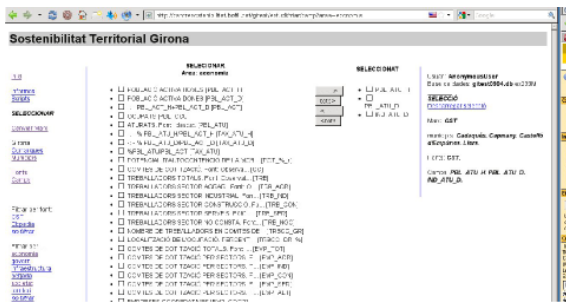
Consultar documentació. Camp de càlcul.

**Tipus de variable:**   
Si la variable té una variació temporal anual o té un va

**Agregar:**

Figura 62: A l'esquerra llista de classes dels sistemes d'informació. A la dreta, modificació de les dades d'una variable.





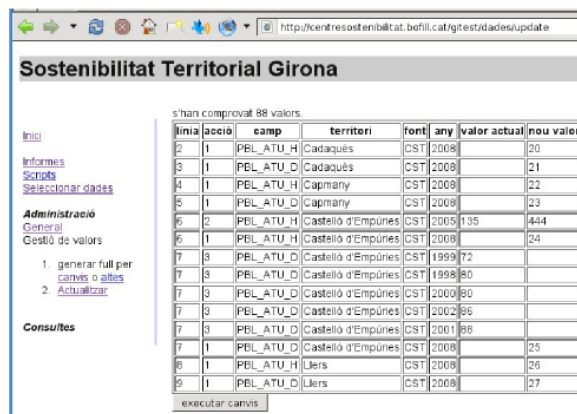
Seleccionar territoris, variables i fonts de dades

A1	territori.municipi.nom	dades.camp.nom	dades.font.nom	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	territori.municipi.nom	dades.camp.nom	dades.font.nom	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
2	Cadaqués	PBL_ATU_H	CST	18	10	10	22	18	22	11	28	30	26
3	Cadaqués	PBL_ATU_D	CST	32	23	36	33	20	25	26	25	31	30
4	Capmany	PBL_ATU_H	CST	4	3	3	3	4	4	4	7	2	1
5	Capmany	PBL_ATU_D	CST	9	8	10	8	6	4	3	9	10	5
6	Castelló d'Empúries	PBL_ATU_H	CST	58	40	46	40	42	56	46	135	177	159
7	Castelló d'Empúries	PBL_ATU_D	CST	80	72	80	88	86	96	85	173	215	214
8	Llers	PBL_ATU_H	CST	14	6	7	2	8	8	6	12	7	9
9	Llers	PBL_ATU_D	CST	4	8	14	10	15	11	7	18	16	13

Descarregar full de càlcul

K6	territori.municipi.nom	dades.camp.nom	dades.font.#	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	territori.municipi.nom	dades.camp.nom	dades.font.# <td>1998</td> <td>1999</td> <td>2000</td> <td>2001</td> <td>2002</td> <td>2003</td> <td>2004</td> <td>2005</td> <td>2006</td> <td>2007</td> <td>2008</td>	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
2	Cadaqués	PBL_ATU_H	CST	18	10	10	22	18	22	11	28	30	26	20
3	Cadaqués	PBL_ATU_D	CST	32	23	36	33	20	25	26	25	31	30	21
4	Capmany	PBL_ATU_H	CST	4	3	3	3	4	4	4	7	2	1	22
5	Capmany	PBL_ATU_D	CST	9	8	10	8	6	4	3	9	10	5	23
6	Castelló d'Empúries	PBL_ATU_H	CST	58	40	46	40	42	56	46	444	177	159	24
7	Castelló d'Empúries	PBL_ATU_D	CST	80	72	80	88	86	96	85	173	215	214	25
8	Llers	PBL_ATU_H	CST	14	6	7	2	8	8	6	12	7	9	26
9	Llers	PBL_ATU_D	CST	4	8	14	10	15	11	7	18	16	13	27

Afegir, modificar i esborrar valors.



Pujar el full de càlcul. Comprovar els canvis.

Figure 63: Procès d'administració de valors mitjançant fulls de càlcul.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	territory.country.code	data.variable.name	data.source.name	1980	1981	1982	1983	1
2								
3								
4								

(a) Full de càlcul amb les capçaleres generades per fer altes massives de dades

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	countries	variables	sources	1969	1970	1971	1972	197
2	Australia and New Ze	poblacio homes (Societat)		6170191	6291977	8017209	6685153	829657
3	Australia and New Ze	poblacio (Societat)		12263014	12507349	15968015	13303664	1653146
4	Australia and New Ze	poblacio dones (Societat)		6092823	6215372	7950806	6618511	823488
5	Itàlia	poblacio homes	UN Statistics Division: 1971-1994 1996-2007 JB: 1995			26476223	26588093	2675867
6	Itàlia	poblacio (Societat)	Càlcul			54136547	54381345	54751405
7	Itàlia	poblacio dones	UN Statistics Division: 1971-2007			27660324	27793252	27992783

(b) Full de càlcul generat per descarregar dades

Figura 64: Fulls de càlcul generats pel sistema per altes masives i per descarregar dades.

de l'estructura de dades. Per exemple, a la figura 62 podem veure l'alta o modificació de la llista de classes dels sistemes d'informació i de les dades d'una variable.

La gestió de valors base es pot fer utilitzant les funcionalitats que actualment proporcionen les eines de desenvolupament. No obstant això, en el cas del tipus d'entitat *ValorBase*, la gran quantitat d'instàncies que cal administrar en un estudi, que poden ser centenars de milers de valors, fa poc viable aquest enfocament. Per això s'han desenvolupat dos processos específics l'un per l'actualització i l'altre per a l'alta massiva de valors.

### **Procés per a l'actualització de valors base**

1. L'usuari fa una selecció de dades que contingui els valors que vol actualitzar i descarregar les dades en un full de càlcul.
2. L'usuari actualitza les dades del full de càlcul, modificant, afegint i/o esborrant valors. A continuació puja el full de càlcul modificat al sistema.
3. El sistema compara cel·la a cel·la els valors del full de càlcul amb els valors de la base de dades (figura 63), i registre les diferències en unes variables temporals:
  - Si la cel·la està en blanc i hi ha la instància *ValorBase* a la base de dades, registra la instància per poder-la esborrar.
  - Si el valor de la cel·la és diferent a la instància de *ValorBase*, registre el nou valor i la instància per poder-a actualitzar.
  - Si el valor de la cel·la no existeix a la BDD, crea una instància amb els atributs necessaris de *ValorBase* per donar-los d'alta (territori, variable, font, any, valor).
4. El sistema presenta a l'usuari la llista de canvis que es farà a la base de dades i en demana la confirmació per dur-los a terme.

**Procés d'alta massiva de valors base:** A partir d'una selecció de dades formada per territoris, variables i fonts de dades, es descarrega un fitxer en format CSV amb les capçaleres de columnes del full de càlcul configurades, de forma que només cal introduir les dades en les files. A la figura 64a hi ha un exemple del full generat; el nom de les columnes es genera a partir de les paraules clau del sistema generades en l'idioma de la implementació.

## **4.4 Mètode de càlcul de valors de variables derivades**

### **Procés d'obtenció de valors**

En els apartats anteriors s'ha explicat que els valors poden ser instàncies que pertanyen a diverses classes, valors base, valors derivats o valors agregats. També és possible que no siguin una instància d'una classe, sinó que s'hagin de calcular en temps real.

El procés que gestiona l'obtenció de valors ha d'establir els fluxos de treball entre la petició d'un valor d'una variable d'un territori, per a una data i per a un model conceptual concrets, i l'obtenció del valor. Els factors clau per al disseny del procés són:

- Distinció del tipus de territori. Si és un territori de nivell superior al territori base, es procedeix a l'agregació de valors tenint en compte les relacions jeràrquiques entre territoris per calcular el camí més eficient.
- Distinció del tipus de variable. Si no és una variable derivada, el valor es pot obtenir directament de *ValorBase*. Si és una variable derivada, es calcula el valor a partir de l'expressió de càlcul, de manera que s'obtenen els valors de referència si la variable està assignada a una àrea conceptual.
- Recursivitat. El càlcul s'executa de forma recursiva, de manera que si una variable derivada depèn d'altres variables derivades, es calculen prèviament aquestes darreres.
- Context execució. Durant el procés de càlcul, els valors que no estiguin unívocament identificats s'identifiquen a partir del context en què s'executa el càlcul.
- Emmagatzematge. Gestió de l'emmagatzematge de valors derivats segons les accions programades (esborrar, modificar o desar).

S'han definit una sintaxi per descriure el contingut de l'atribut *expressioCalcul* de la variable (vegeu apartat 4.2.3.1). Al contingut l'anomenem *expressió de càlcul* (EC) i està format per dos seccions l'*operació de càlcul* (OC) i les *variables de l'operació de càlcul* (VOC). La primera conté la definició de l'operació de càlcul a fer i la segona la definició de les variables que intervenen en el càlcul.

Tot seguit exposem la sintaxi d'EC, OC i VOC i el procés recursiu de càlcul implicat. A l'annex ( C.2) es descriu el procés general d'obtenció de valors anomenat *getValor* així com les operacions:

- *getAgregat*, que gestiona l'obtenció, càlcul i l'actualització de valors agregats.
- *valorNumAgregat*, agrega els valors numèrics d'una variable en un territori i any.
- *calValor*, calcula el valor a partir de l'EC per a un territori i un any.

La darrera operació es basa en la metaprogramació, és a dir, un programa que escriu un programa, concretament en l'execució dinàmica d'expressions que contenen instruccions de programació. Es tracte de generar, en temps real, els programes que s'han d'executar juntament amb les dades necessàries.

#### 4.4.1 Expressió de càlcul

Definim l'expressió de càlcul (EC) com una estructura que permet calcular el valor d'una variable. Els tipus de dades del valor obtingut poden ser numèrics, de text o geomètrics (punts, línies, polígons). L'EC s'estructura en dues seccions:

- La primera secció l'anomenem *operació de càlcul* (OC). L'OC conté l'equació o el programa que es pot executar per obtenir els valors per a un territori i un any.
- La segona secció l'anomenem *variables de l'operació de càlcul* (VOC); és una llista de variables que intervenen en l'equació o el programa especificat a l'OC. Les variables d'aquesta llista poden referenciar qualsevol tipus de valor: *ValorBase*, *ValorDerivat*, *ValorAgregat*, valors de referència de *CriteriSostenibilitat*, valors de context del càlcul, etc.

---

**Algorisme 1** Sintaxis d'una expressió de càlcul d'una variable de càlcul.

---

```
<operació de càlcul>
<nom VOC>: <identificació valor>
<nom VOC>: <identificació valor>
...
```

---

A l'algorisme 1 es mostra la sintaxi d'un EC d'una variable de càlcul. La secció <operació de càlcul> contindrà l'OC i, separada per una línia en blanc, comença la secció amb la llista de les VOC. Cada variable de la llista de VOC està formada per un nom <nom VOC> i separat per dos punts verticals (:), una expressió que identifica un valor.

---

**Algorisme 2** Percentatge de dones respecte la població total.

---

$$PD * 100 / (PD + PH)$$

PD: PoblacioDones  
PH: PoblacioHomes

---

Per exemple, l'algorisme 2 calcula el percentatge de dones respecte a la població total; és una EC que conté l'OC  $PD * 100 / (PD + PH)$  amb les VOC *PD* i *PH*.

El procés de calcul de variables derivades, simplificadament, és el següent:

1. Obtenir els valors de cada variable VOC.

En l'algorisme de l'exemple, obtenim *PoblacioHomes*, 2.300 i *PoblacioDones*, 2.400.

2. Substituir els valors anteriors en la OC.

L'operació  $PD * 100 / (PD + PH)$  serà  $2400 * 100 / (2400 + 2300)$

3. executar programa o *script*.

El que dona un resultat de 51.

#### 4.4.2 Operació de Càlcul

---

**Algorisme 3** Sintaxi de una OC d'un programa.

---

```
<programa>
return resultat

<VOC>: <identificació valor>
<VOC>: <identificació valor>
...
```

---

L'OC pot ser o una equació o un programa. Si és un equació, aquesta s'ha de escriure en línia; si es un programa es poden utilitzar les línies que facin falta. A l'algorisme 3 es presenta la sintaxis d'una EC en que l'OC és un programa; el resultat final de l'EC es retorna en la variable *resultat*, que conté una llista amb els resultats de valor, punts, línies i polígons.

Les OC formades per un programa també permeten escriure equacions i es podria utilitzar únicament programes. S'ha considerat convenient incloure els dos, programes i equacions, en tant en quan la resolució

pràctica d'ambdós casos és, des del punt de vista computacional, diferent. En el cas d'una equació, cal executar una sola instrucció i capturar el resultat directament en una variable; en canvi en el cas d'un programa, cal establir un entorn per executar-lo, capturant i redirigint les sortides normals del sistema així com els possibles errors. El càlcul basat en una equació és més eficient, clar i segur, que el basat en un programa. Per contra, el programa, tot i que és menys eficient i menys segur (requereix establir més nivells de seguretat dins del sistema informàtic), té una gran potencialitat per resoldre càlculs complicats.

La sintaxi dels programes i de les equacions depenen del software desenvolupament escollit, els exemples que es presenten més endavant suposen un desenvolupament de l'aplicació basat en el software de l'apartat 5.4.

---

**Algorisme 4** Sintaxi de la OC d'una geometria.

---

<Operació de Càlcul>  
punts: <Operació de Càlcul Geomètrica>  
linies: <Operació de Càlcul Geomètrica>  
polígons: <Operació de Càlcul Geomètrica>

<VOC>: <identificació valor>  
<VOC>: <identificació valor>  
...

---

**Operació de càlcul geomètrica** Quan l'OC és una equació que calcula una geometria, s'afegeix un prefix del tipus de geometria resultant: "punts:", "línies" o "polígons". Si no es posa cap prefix, el tipus de resultat serà el de l'atribut *Variable::tipusValor* de la instància de l'EC. L'algorisme 4 presenta la sintaxi d'una EC quan intervenen geometries.

A l'annex B.3, s'exposa el tipus de dades geomètriques, les relacions que es poden establir entre dues geometries i les operacions entre geometries que generen una nova geometria.

En el sistema *bofree* les operacions geomètriques es realitzen entre una o diverses variables amb valors que tenen subtipus geomètrics associats. Les operacions bàsiques possibles són les següents:

- Funcions de superposició entre dues geometries:
  - Unió (ajuntar tots els punts)
  - Intersecció (punts comuns)
  - Diferència (punts no compartits per una de les geometries)
  - Diferència simètrica (punts no compartits)
- Embolcall convex (*convex hull*), obté el polígon que conté tots els punts.
- Distància entre dues geometries.
- Longitud del perímetre d'una geometria.
- Centre geomètric.
- Àrea.

		Territori Base	Territori Agregat
Variable dependent		Valor derivat	Valor agregat
Variable independent	derivada	Valor derivat independent	Valor agregat independent
	no derivada	Valor Base	

Taula 18: Valors en funció del territori i del tipus de variable.

#### 4.4.3 Variables Operació de Càlcul

La secció de VOC de l'EC conté una línia per cadascuna de les variables que intervenen en l'operació, amb el format,

<VOC>: <identificació valor>
------------------------------

a on <VOC> és el nom de la variable utilitzada en l'OC i <identificació valor> és una expressió que identifica un valor.

Els valors identificats per l'expressió poden ser de tres tipus:

1. Valors referenciats al territori.
2. Valors de referència dels criteris de sostenibilitat.
3. Valors contextuais. Són valors temporals o territorials existents en el moment d'executar el càlcul.

**4.4.3.1 Valors referenciats al territori** La taula 18 resumeix els tipus de valor que es poden identificar en funció del territori i de la variable. L'algorisme 5 especifica la sintaxi per identificar qualsevol dels valors del quadre. Les opcions s'indiquen entre claudàtors []. A l'algorisme hi ha una línia per cada element per facilitar la lectura; en la pràctica els elements s'escriuen en una sola línia separats per una barra vertical (|).

---

**Algorisme 5** Sintaxis per identificar valors ( [] s'indiquen opcions). En 'EC s'escriuen en una sola línia separats per una barra vertical (|).

---

<VOC>:

```
[ variable = ] Variable :: nom
[ area = AreaConceptual :: nom ]
territori = [ nom subdivisió : ] [ Territori :: nom, Territori :: codi ]
any [= valor, +valor_enter, -valor_enter, =anyBase, =anyInici,
    =anyFinal ]
[ font = Font :: nom ]
[ geo = [ punts, linies, poligons ] ]
```

---

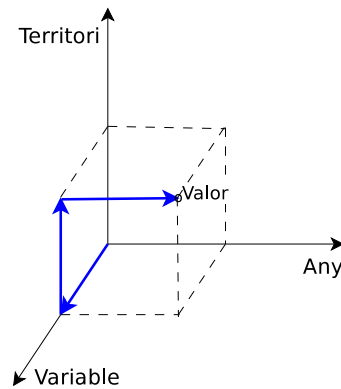


Figura 65: Identificació dels valors independents del model.

---

**Algorisme 6** Percentatge de població femenina de Girona l'any 2005 segons la font de dades Idescat.

---

$$PD * 100 ./ (PH + PD)$$

PH: variable = poblacioHomes | territori = Girona | any = 2005 | font = Idescat

PD: variable = poblacioDones | territori = Girona | any = 2005 | font = Idescat

---

**Valors de variables independents del model conceptual** Són valors del tipus *ValorBase*, *ValorDeriva- tIndep* i *ValorAgregatIndep*. Per identificar el valor cal saber la variable, el territori i l'any (figura 65):

Variable s'identifica amb el nom (*Variable::nom*).

Territori s'identifica a partir de la subdivisió i el nom, o del codi (*Territori::subdiv* i *Territori::nom* o *Territori::codi*).

Any pot ser un any obtingut contextualment (s'explica en l'apartat 4.4.3.3) o un any determinat.

Si la variable identifica un valor base i hi ha més d'una font de dades que proporciona el valor, el sistema identificarà el valor de la font amb més prioritat. Es pot identificar la font a utilitzar especificant:

Font la font de dades s'identifica amb el seu nom (*Font::nom*.)

Per indicar que es vol recuperar un atribut geomètric, s'introdueix el qualificador "geo" amb el tipus d'atribut geomètric. Si s'omet, s'entén que es recupera un valor no geomètric.

**Valors de les variables dependents del model conceptual.** S'identifiquen de la mateixa forma que els valors anteriors, afegint l'àrea conceptual en que està situada la variable. S'identifiquen valors del tipus *ValorAgregat* i *ValorAgregatIndep*.

### Exemples

- L'algorisme 6, l'EC retorna el percentatge de població femenina de Girona l'any 2005 segons la font de dades Idescat.

---

**Algorisme 7** Percentatge de la població de dones respecte la població de dones de la província de Girona.

---

$PD * 100. / PD_{provincia}$

PD: variable = poblacioDones

PD<sub>provincia</sub>: variable = poblacioDones | territori = provincia:Girona

---

**Algorisme 8** Exemple d'EC amb dades geomètriques.

---

punts: sec.union(pri.union(par))

poligons: sec.convex\_hull(pri.union(par))

par: variable = parvularis | geo=punts

pri: variable = escoles primaria | geo=punts

sec: variable = escoles secundaria | geo=punts

---

- L'algorisme 2, retorna el percentatge de població femenina de Girona, servirà per qualsevol territori, any i font; aquestes es deduirán del context d'execució del càlcul ja que les variables VOC no especifiquen l'any, el territori ni la font.
- L'algorisme 7, calcula el percentatge de la població de dones respecte la població de dones de la província de Girona. Observem que *PD<sub>provincia</sub>* fa referència a un territori no base (província) i per tant s'obté un valor agregat.
- L'algorisme 8 presente un exemple geomètric que defineix una variable per obtenir els punts de situació d'equipaments educatius i el polígon que els conté:
  - Les VOC són parvularis (*par*), escoles de primària (*pri*) i escoles de secundària (*sec*). D'aquestes variables s'obté els punts de distribució (*geo = punts*).
  - L'operació de càlcul de punts (punts:) fa una agrupació dels punts de la situació d'equipaments educatius (parvularis i escoles de primària i secundària): unió de *par* amb *pri* i el resultat unit amb *sec*.
  - L'operació de càlcul de polígons (polígons:) primer agrupa els punts de primària i parvularis *pri.union(par)*. Al resultat afegeix els punts de secundària i calcula el polígon que fa d'embolcall: *sec.convex\_hull(pri.union(par))*.

**4.4.3.2 Valors de referència dels criteris de sostenibilitat.** Els valors de referència dels criteris de sostenibilitat, són una llista ordenada de valors (*CriteriSostenibilitat::valorsReferencia*). Per identificar el valor és necessari identificar l'àrea Conceptual, la variable i l'índex dins de la llista. La sintaxi es presenta a l'algorisme 9. Per identificar un valor dins de la llista s'utilitza un índex.

---

**Algorisme 9** Sintaxis per a identificar un valor de referència d'un criteri de sostenibilitat.

---

```
<valor referencia criteriSostenibilitat >:  
  variable = Variable::nom  
  areaConceptual = AreaConceptual::nom  
  valorReferencia [= index]
```

---



---

**Algorisme 10** Semàfor indicador de  $CO_2$  amb valors de referència que depenen de l'àrea conceptual.

---

```
if contaminacio < referencia1 :
    v="verd"
elif contaminacio > referencia2 :
    v="vermell"
else :
    v="groc"
resultat=v
return resultat

contaminacio: CO2
referencia1: CO2 | area = Mediambient | index = 1
referencia2: CO2 | area = Mediambient | index = 2
```

---

**Exemple:** l'algorisme 10 és una EC que calcula un semàfor indicador de  $CO_2$  amb valors de referència que depenen de l'àrea conceptual. Es retorna un color diferent segons el resultat de la comparació del valor de  $CO_2$  amb els valors de referència *referencia1* i *referencia2*, corresponents al primer i al segon índexs de la variable  $CO_2$  de l'àrea conceptual Mediambient.

**4.4.3.3 Valors contextuais** A vegades serà necessari introduir en l'expressió de càlcul valors de variables que depenen del context temporal o del territori. S'han previst les variables contextuais següents per utilitzar-les en les operacions de càlcul.

- Variables contextuais temporals:
  - *any* - any per al qual s'està fent el càlcul
  - un any relatiu a un any determinat. És a dir,  $\pm n$  anys d'un any determinat
  - rang d'anys d'un model conceptual:
    - \* *anyBase*. Any base del model conceptual
    - \* *anyInici*. Any inici
    - \* *anyFinal*. Any final
- Variable contextual de territori. Hi haurà valors de variables que hauran de variar en funció del territori. Es poden utilitzar els noms genèrics del territori o la seva traducció per identificar-los: 00, 20, etc. o la seva traducció, per exemple, "municipi", "comarca", etc.

**4.4.3.4 Context identificació** La identificació dels valors se simplifica si es té en compte el context del procés de càlcul. El procés de càlcul s'inicia amb el coneixement de la variable derivada (Vd), el territori (T) i l'any (A). Per obtenir els valors de les variables de l'operació de càlcul (VOC), cal especificar els elements que es troben fora del context; com ara, quan es necessita obtenir un valor de referència del model conceptual o el valor d'una altra variable. Les VOC poden identificar: valors de referència, valors agregats i valors del territori base:

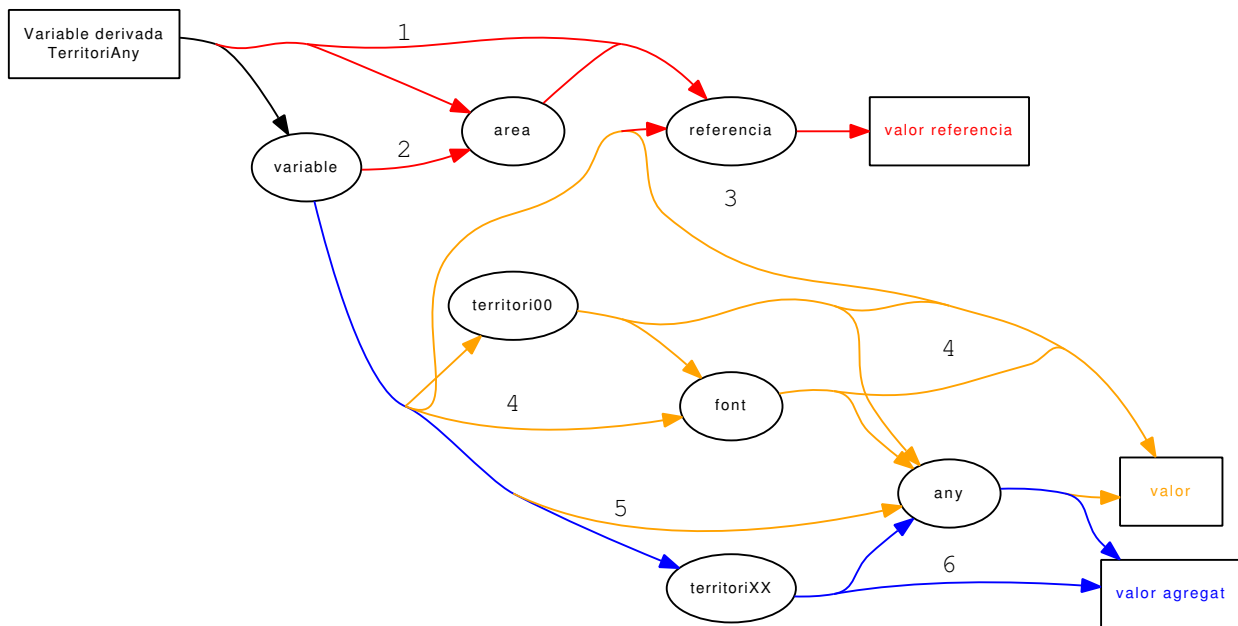


Figura 66: Donada una Variable derivada, un territori i un any, camins possibles per obtenir els valors de les VOC. En vermell, blau i taronja els camins per obtenir valors de referència, valors agregats i valors del territori base, respectivament.

- Valors de referència. Els valors de referència o criteris de sostenibilitat depenen de la variable, del model, de l'àrea dins del model i del número d'índex. El model conceptual no es necessari especificar-lo ja que sempre hi ha un model seleccionat abans de realitzar un càlcul, i només cal especificar l'àrea conceptual si la variable es troba en més d'una àrea.
- Valors agregats. Cal especificar de quina variable i per quin territori s'ha d'agregar. Si no s'especifica un any, s'utilitzarà el valor de A. Si s'especifica l'any, aquest pot ser relatiu al valor de A (any+1, any-1, etc. veure:4.4.3.3).
- Valors del territori base. Cal especificar de quina variable. Si no s'especifica cap més element, s'utilitzarà el territori T, la font amb més prioritat i l'any A.

A la figura 66 s'han representat els camins possibles per obtenir valors agregats (blau), valors del territori base (taronja) i valors de referència (vermell). La figura enumera els camins dels exemples següents:

1. Obtenir valor de referencia amb index 1 de la variable derivada (Vd)

VOC:  $index = 1$

2. Valor de referencia amb index 2 de la variable densitat població en l'àrea Societat

VOC:  $densitat\ població \mid area = Societat \mid index = 2$

3. Valor de la variable PIB.

VOC: PIB

4. PIB segons la font Banc Mundial

VOC:  $PIB \mid font = Banc\ Mundial$

5. PIB del any anterior a A

VOC:  $PIB \mid any - 1$

6. PIB agregat de la regió territori Europa Est l'any 1990

VOC:  $PIB \mid territori = regio : Europa\ Est$

Durant l'execució del càlcul, s'utilitza els valors de Vd, T i A pels elements no especificats.

Com a exemples es mostren la definició de la variació anual de la població de dones (fig. 11), la variació lineal de la producció, en funció de l'increment anual i dels anys transcorreguts des de l'any base del model conceptual actiu (fig. 12) i el càlcul de taxes diferents en funció del territori i de la seva situació geogràfica (fig. 13).

#### 4.4.4 Càlcul recursiu

Durant el procés de càlcul (vegeu figures 90i 91), el sistema ha d'obtenir els valors de les VOC abans de poder resoldre l'expressió de càlcul. Per obtenir aquests valors, haurà de consultar la variable corresponent per saber si es tracta d'una variable derivada o no. Si ha d'obtenir valors d'una variable derivada, haurà de resoldre l'expressió de càlcul corresponent; al contrari, si es tracta d'una variable no derivada, podrà obtenir els valors dels valors base. Possiblement també haurà d'obtenir els valors de referència i les variables de context temporals i territorials que puguin intervenir en el càlcul.

Es produeix, per tant, un càlcul en cadena en què unes variables depenen d'altres variables. Aquesta cadena continua fins al moment que s'obté un valor directament com a valor base; a partir d'aquest punt es poden resoldre de forma recursiva la resta de càlculs de valors.

Per facilitar el seguiment de les equacions de càlcul, el sistema bofree permet generar un graf que mostra les variables que hi intervenen. El gràfic es pot generar per qualsevol variable de càlcul en temps real a partir de la informació de la base de dades. A partir d'aquest gràfic l'usuari visualitza cadascuna de les variables del càlcul, les equacions usades i els valors de referència o constants que hi intervenen. Aquests gràfics també faciliten a l'investigador la detecció d'errors en les fórmules o en les identificacions de valors o variables, ja que el sistema informa del tipus d'error i marca en negreta la posició on es troba.

---

**Algorisme 11** EC de la variació anual de la població de dones.

---

$(PD - PD_{anterior}) * 100 / PD_{anterior}$

PD: PoblacioDones

PDanterior: PoblacioDones | any-1

---

---

**Algorisme 12** Variació lineal de la variable producció, en funció de l'increment anual i dels anys transcorreguts des de l'any base del model conceptual actiu.

---

$p * (1 - incrementAnual * (anyInici - anyActual))$

p: produccio | any = anyBase

incrementAnual: index = 1

anyActual: any

anyInici: anyBase

---

---

**Algorisme 13** Taxes en funció del territori i situació regional.

---

```
if cont=='Africa':
```

```
    taxa=0,010
```

```
    if pais=='Sud Africa': taxa=0,005
```

```
elif cont=='Europa' or regio=="America Nord": taxa=0,005
```

```
else: taxa=0,008
```

```
resultat=taxa
```

```
return resultat
```

```
cont: continent
```

```
regio: regio
```

```
pais: pais
```

---

---

**Algorisme 14** Capacitat de càrrega d'un territori.

---

$P0 * (k - (danyEcologic * (any - anyBase)))$

k: reference=0

danyEcologic: danyEcologic

anyBase: 1970

P0: poblacio | year=1970

any: year

---

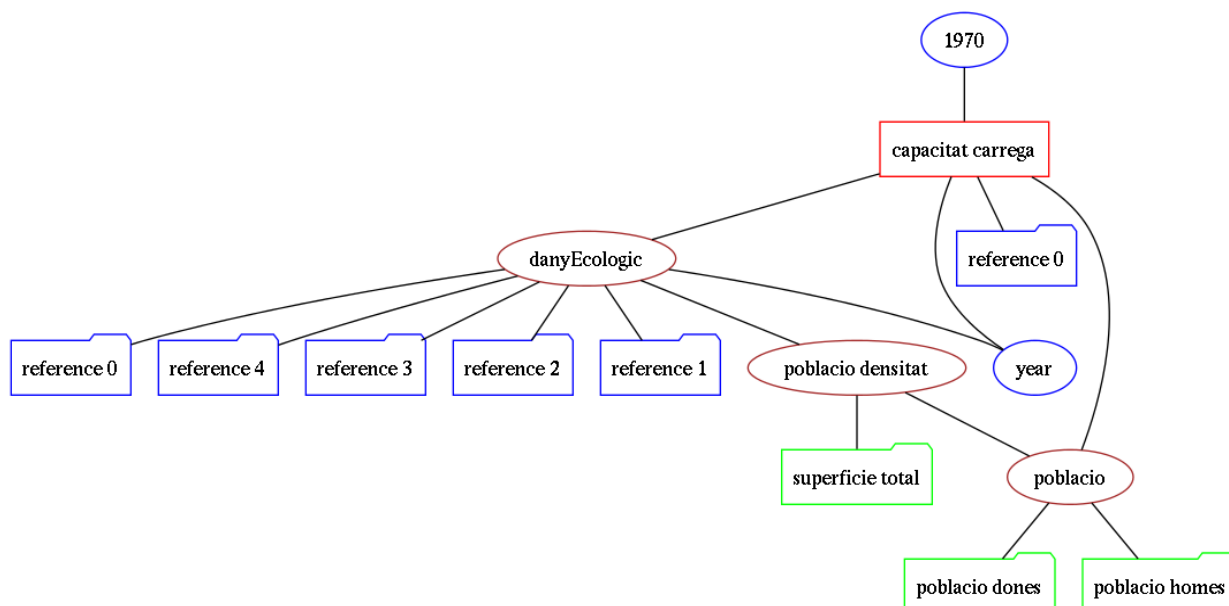


Figura 67: Variables que intervenen en el càlcul de la capacitat de càrrega d'un territori.

Per exemple, a la figura 67, es pot veure l'esquema de les diferents variables que intervenen en el càlcul dels valors d'una variable:

- El requadre vermell mostra la variable inicial que es vol calcular.
- Les el·lipses de color marró mostren les variables derivades necessàries.
- En blau es mostren els valors de referència, els valors constants i els valors de context.
- En verd es mostren les variables base.

En l'exemple de la figura, la variable a calcular és la capacitat de càrrega d'un territori, segons l'expressió de càlcul de l'algorisme 14.

Per calcular la capacitat de càrrega, el sistema haurà de calcular prèviament els valors de *danyEcologic* i *població*, per a l'any de què es vol fer el càlcul. Sense entrar en els detalls de l'EC de *danyEcologic*, mitjançant la figura 67 veiem que aquest es calcula a partir de la variable *població densitat* i de les cinc variables de referència de *danyEcologic*. Per tant, abans de calcular el valor de *danyEcologic* s'haurà de calcular el valor de *població densitat*. Al seu torn, *població densitat* depenen de les variables *població* i *superfície total*. Aquesta darrera variable, segons es pot veure a la figura, és una variable base i, per tant, se'n poden obtenir els valors directament de la base de dades. En canvi, *població* és una variable derivada que depen de *població dones* i *població homes*, que també són variables base.

A partir de tenir els valors de *població dones* i *població homes* es pot remuntar la cadena per obtenir els valors dependents: es pot obtenir el valor de *població*, que permet obtenir *població densitat*, que permet obtenir *danyEcologic*, que permet obtenir, finalment, *capacitat càrrega*.

## Resum

En els capítols anteriors s'ha exposat i aprofundit en els conceptes de models conceptuals, variables, fonts de dades i en les estructures de les organitzacions territorials. En aquest capítol es descriu el desenvolupament

del sistema d'informació, tot exposant el disseny de la base d'informació i els processos associats.

A nivell general, el disseny imposa el constrenyiment d'afavorir la màxima diversitat possible, considerant sempre que els usuaris són els experts en el seu camp, no el sistema, i que és a ells a qui cal traslladar, sempre que sigui possible, les decisions.

El procés de càlcul de valors és el punt clau sobre el qual s'ha sustentat la solució de disseny proposada. Aquest procés és el que permet, d'una banda, definir un sol tipus de Variable, en què internament es poden distingir variables base i variables derivades, amb les variables de referència incloses en el tipus criteris de sostenibilitat i, d'altra banda, disgregar els valors en diferents tipus (base, derivats, independents, agregats, etc.)

Per poder dur a terme aquest càlcul dels valors de les variables derivades, s'ha definit una sintaxi per descriure i executar l'expressió de càlcul. Aquesta expressió de càlcul està formada per l'operació de càlcul a executar i per les variables que intervenen en l'operació. El procés que executa el càlcul és un procés recursiu que té en compte a cada iteració el tipus de territori, el tipus de variables i el context d'execució, així com l'emmagatzematge de valors.

Es defineixen tres paquets o agrupacions de classes: Models, Dades i Territori. El constrenyiment concret per cada paquet és:

- Territori: generalització a diferents estructures territorials.
- Model conceptual:
  - Poder utilitzar més d'un model conceptual, sense limitar-se a un sol model.
  - Concurrència de models conceptuals, de manera que puguin utilitzar les mateixes dades.
- Dades:
  - Variables definides i modificables al llarg de la realització dels estudis.
  - Ampliació dels tipus de dades utilitzables (p.e. categòriques o text).
  - Càlcul de valors d'indicadors a partir d'altres dades.

El *territori* queda definit per un territori base que divideix el territori en àrees més petites de manera que agrupant-les totes s'obté la totalitat del territori. Les altres subdivisions del territori estan formades per agrupacions del territori base o per agrupacions de territoris de subdivisions d'escala inferior, que cobreixen la totalitat del territori, i respecten les fronteres. L'estructura territorial resultant està formada per dos grafos:

- Organització territorial: formada pels tipus de subdivisions territorials (nudos) i la seva relació jeràrquica (arestes). A partir del pes de cada relació jeràrquica, s'obté el camí de menys pes per agregar dades de diferents subdivisions.
- Relació entre territoris: formada pel conjunt de les divisions territorials existents (nudos) i les relacions entre aquestes (arestes). A partir d'un territori qualsevol, aquest graf permet identificar el nivell de la subdivisió a què pertany, quins territoris el constitueixen, quins territoris són veïns, etc.

El desenvolupament d'aquest graf es basa en el protocol RDF del web semàntic.

Els *models* estan constituïts per àrees conceptuals que classifiquen variables i per criteris de sostenibilitat que fixen els valors de referència, objectius... del model. El sistema està dissenyat de manera que cada model té associades unes àrees conceptuals, i els criteris de sostenibilitat relacionen una variable amb una àrea conceptual i un conjunt de valors de referència.

Pel que fa al disseny de les *dades*, s'ha tingut en compte que:

- Existeixen variables derivades que obtenen els seus valors a partir d'un procés de càlcul en què poden intervenir altres variables i/o valors de referència.
- Les variables derivades que estan associades a un criteri de sostenibilitat, és a dir, que estan dins d'una àrea conceptual d'un model, són variables dependents del model i els seus valors resultants també.
- Els valors base són els valors de les variables independents del territori base.

el que dóna un disseny de dades a on:

- Hi ha un tipus variable, que conté les variables derivades.
- El territori base té tres tipus de valors: valors base, valors derivats dependents i valors derivats independents.
- La resta de subdivisions territorials tenen dos tipus de valors: els agregats independents i els agregats dependents.

Els valors poden ser numèrics, text, categòrics... o valors vectorials (multipunts, multlínies i multipolígons). El càlcul de variables derivades es pot realitzar en temps real o no, a criteri de l'investigador.

Es poden agregar valors de qualsevol tipus de variable quan l'operació a fer (suma, mitjana, etc.) es troba definida. Si ens atenim a les variables derivades, s'ha d'introduir una operació específica, que consisteix en l'agregació prèvia de les variables que intervenen en el procediment de càlcul abans de la seva execució.

Es pot tenir més d'un valor en una mateixa data i territori sempre vinguin de fonts de dades diferents. El sistema retornarà el valor de la font de dades amb més prioritat.

Per concloure, s'han definit els processos generals de selecció de dades, visualització de dades (consultes, gràfics, mapes temàtics, etc.), d'intercanvi de valors amb aplicacions externes i administració general (altes, baixes... dels diferents components del sistema), i processos específics per a l'actualització de valors base i descàrrega de valors.





## 5 Aplicació pràctica

En el capítol anterior s'ha exposat el desenvolupament del sistema d'informació *bofree*; a partir d'uns cons-trenyiments generals inicials s'han explicat la base d'informació definida, els principals processos que hi intervenen i el mètode dissenyat per resoldre el càlcul de valors.

En aquest capítol expliquem qüestions pràctiques del desenvolupament i presentem diversos casos d'aplica-ció pràctica.

Malgrat que la tesi es presenta separada per capítols consecutius, cal remarcar que el desenvolupament de l'aplicació i el desenvolupament teòric han anat de la mà, formant un cicle d'aprenentatge en què teoria i pràctica es creen mútuament. L'objectiu ha estat disposar de prototips prou desenvolupats que permetin posar a prova idees i teories. Els criteris per escollir el software de desenvolupament i el procés de progra-mació aplicat són principalment pràctics; en aquesta elecció, l'experiència prèvia de l'autor o la senzillesa en l'aprenentatge de les diferents eines han estat factors de pes, si bé també cal destacar els factors ètics, ja que s'ha utilitzat exclusivament software protegit amb una llicència lliure.

### 5.1 Desenvolupament

A l'annex B.2 es presenten les metodologies i models més destacats per dur a terme el desenvolupament d'aplicacions i prototips. Per l'aplicació pràctica s'ha seguit un mètode que s'aproxima a l'Agile Programming (Beck i col., 2001). La diferència principal respecte a la tesi és que no hi ha un equip de desenvolupadors ni un client, sinó un investigador (l'autor) que crea models, desenvolupats successivament, amb la finalitat d'avaluar funcionalitats concretes en què les qüestions d'ergonomia o de documentació queden en segon terme i algunes altres, com el lliurement de versions, no tenen rellevància i no es tenen en compte. L'enfocament principal és disposar de prototips prou desenvolupats que permetin posar a prova idees i teories.

De les dimensions vertical i horitzontal del prototipat de Nielsen (1993), s'ha incentivat el prototipatge vertical. És a dir, elaborar el software necessari per avaluar les funcionalitats menys evidents i les que només es poden verificar amb un model en funcionament.

Les diferències principals entre el desenvolupament teòric explicat en els apartats anteriors i el prototip desenvolupat es poden resumir en l'aprofundiment funcional del prototip i en qüestions de nomenclatura de classes, atributs i operacions.

#### **Aprofundiment horitzontal i vertical dels prototips.**

Quant a les funcionalitats horitzontals del prototip, es proporcionen les necessàries per a una aplicació d'aquest tipus. En concret, hi ha les funcionalitats de consulta, selecció, informes, actualització de valors i administració, que inclou els procediments d'altres, baixes, etc. de les diferents classes de l'aplicació (variables, models, usuaris, etc.).

Pel que fa a l'aprofundiment vertical, amb l'objectiu d'afinar el disseny de la base de dades i estudiar el rendiment del sistema s'ha incentivat el següent:

- Processos de càlcul de valors en temps real de variables a partir d'expressions de càlcul, tant de valors base com de valors agregats.

- Integració de:
  - Models conceptuals en l'estructura d'informació, a través dels criteris de sostenibilitat.
  - Tipus de valors numèrics, textos i geometries multi-polígon. Han quedat en segon terme altres tipus de dades com ara lògics, enllaços o geometries de punts i línies.
- Utilització d'estructures territorials RDF funcionals.
- Generació de mapes temàtics i sèries temporals.
- Extracció i actualització massiva de valors a través de fulls de càlcul.
- Accés remot via internet a un servidor mitjançant un navegador. Ús de sistemes de bases de dades interns que ocupen pocs recursos del sistema i que són fàcils de transportar i copiar.

Pel que fa a l'estructura territorial, ha experimentat importants variacions fins al prototip final; aquest incorpora una part de les funcionalitats RDF del territori explicades a l'apartat 4.2.1, però només utilitza quatre subdivisions (00, 20, 40, 60).

### **Nomenclatura interna del prototip**

En la nomenclatura utilitzada durant el desenvolupament de la tesi s'ha considerat important intentar utilitzar noms de classes, atributs i operacions coherents. En canvi, la mateixa dinàmica del desenvolupament no permet mantenir o garantir aquesta coherència sense incórrer en una penalització quant al temps i els esforços dedicats al desenvolupament. Per aquesta raó, la nomenclatura presentada en el desenvolupament de la tesi varia respecte a la del prototip (vegeu annex C). Al llarg de l'exposició es continuarà utilitzant la nomenclatura habitual de la tesi, però cal tenir en compte les equivalències de l'annex quan se consulta el codi del prototip.

## **5.2 Esquema URL**

La figura 68 mostra l'esquema en arbre de l'organització en URL del prototip desenvolupat. A la figura no es mostren la part inicial de la URL que correspon al protocol (http:) ni el nom de domini del web. El domini depèn de la implementació i, en el cas del prototip, pot ser local per fer proves (http://localhost/), o estar situat en un servidor, per exemple, http://bofree.net/. El prototip és multi idioma, en català, castellà i anglès, i algunes parts de la URL s'adapten a l'idioma de la implementació (p.e. territori, territorio o territory).

El primer nivell de l'esquema URL de la figura 68:

/consultes /territori consulta de les dades disponibles del territori i les agregacions territorials (/v). Index de territoris d'un territori no base (/i).

/dades descàrrega de dades, actualització masiva de valors base i generació del gràfs de variables derivades.

/estudi

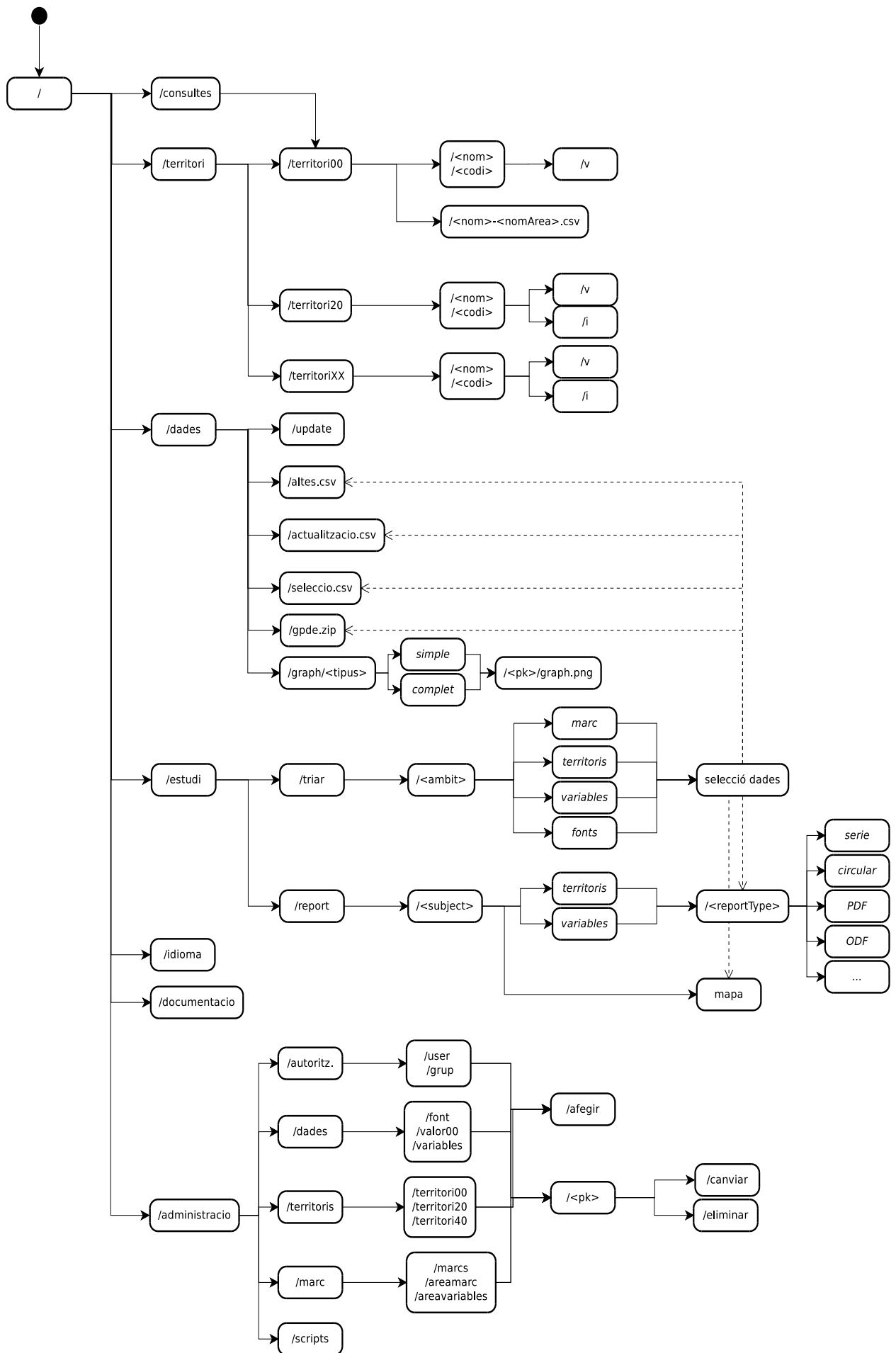


Figura 68: Esquema en arbre de l'organització en URL del prototip desenvolupat.

`/tria` selecció de dades del sistema (variables, territoris, fonts, etc.) que s'utilitza al llarg de la connexió. Vegeu la línia de punts de la figura entre “selecció dades” i altres operacions.

`/report` generar informes, mapes temàtics i gràfics.

`/administracio` administració general (altes, baixes, etc.) del sistema.

`/idioma` consultar i canvi l'idioma del navegador i consultar de les taules de correspondències de paraules clau i de tipus de territori segons l'idioma (vegeu exemples a la taula 21 de l'annex).

`/documentacio` documentació en línia.

L'estructura de les adreces permet genera accessos que faciliten la utilització i comunicació d'enllaços directes a consultes, territoris, variables, etc. Les URL s'adapten de forma dinàmica als canvis del sistema d'informació, és a dir, si es varia el nom d'una variable o el codi d'un territori, les adreces també varien.

Les pàgines web es generen de forma dinàmica a partir del contingut de la URL. Per exemple, el enllaç següent fa una consulta del territori per nom del territori `http://mon.bofree.net/territori/00/Alemanya/v/`, el sistema compara la URL anterior amb una serie d'expressions regulars definides i obté informació sobre l'acció a fer i quina operació l'ha de realitzar. En el cas anterior, la URL concorda amb l'expressió regular

`' territori / (?P<tipusTerr >.* ) / (?P<nom >.* ) / v / $ ', ' territori . views . viewTerritori '`

en què:

<code>/territori/00/Alemanya/v/</code>		
<code>^%s/' % getrealTerritori (' territori ' )</code>	<code>territori</code>	la funció <code>getrealTerritori</code> tradueix els noms dels territoris de la implementació en noms interns dels sistema, que usa en català
<code>(?P&lt;tipusTerr &gt;.* ) /</code>	<code>00</code>	tipus de territori: base
<code>(?P&lt;nom &gt;.* ) /</code>	<code>Alemanya</code>	nom del territori
<code>v /</code>	<code>v</code>	acció a fer: visualització
<code>territori . views . viewTerritori</code>		operació que fa l'acció

Per descarregar un full de càlcul en format csv, amb les dades d'un territori per a una àrea conceptual, com ara `/territori/00/Andorra-Ecosistema.csv`, l'expressió regular que concorda és

`(?P<tipusTerr >.* ) / (?P<nom >.* ) - (?P<nomarea >.* ) . csv $ ', ' dades . views . csvAreaTerritori '`

i s'executa la operació

`dades . views . csvAreaTerritori`

### 5.3 Implementacions i estudi de models

S'han fet implementacions pràctiques del prototip amb dades corresponents als països del món, i als municipis de Girona i de Catalunya. També s'han dut a terme proves d'integració de metodologies proposades per projectes de recerca per a l'estudi de la sostenibilitat com ara els projectes FP7 SMILE o FP6 DECOIN (Desenvolupament i Comparació d'Indicadors de Sostenibilitat) i l'aplicació de funcions concretes com ara la funció logística Verhulst per els països del món.

D'una banda, les implementacions han permès corroborar la facilitat d'adaptació del sistema a diferents territoris, sense més limit que l'existència d'una organització territorial. Per altre, els estudis de models validen que el mètode dissenyat per calcular variables derivades del sistema *bofree* és factible i versàtil, i s'adapta a objectius o visions de diferents models conceptuals.

#### 5.3.1 Implementacions

**5.3.1.1 Girona i Catalunya** La primera versió del prototip amb dades reals es va fer amb el suport del Centre per a la Sostenibilitat Territorial de Girona (CST) *Centre per a la Sostenibilitat Territorial de Girona* (2009), que va facilitar l'accés a la seva base de dades. El CST realitza estudis de sostenibilitat de Girona a nivell municipal i comarcal.

Es van fer diversos processos per incorporar al sistema *bofree* les dades dels municipis de Girona, que el CST té en un extens full de càlcul. Es van incorporar dades de 221 municipis i 9 comarques, utilitzant el model conceptual del CST (vegeu model a l'apartat 27a a la pàgina 50), que consta de sis àrees conceptuals. En total es van definir 217 variables amb 142.852 valors base corresponents als anys 1983-2008. El nombre de valors base és elevat, ja que es van utilitzar variables derivades. Les dades gràfiques dels límits municipals i caps de municipi de Catalunya es van obtenir de l'*Institut Cartogràfic de Catalunya* (2010) i les codificacions i els noms dels municipis, comarques i províncies de Catalunya (2011).

En els apartats anteriors s'han mostrat alguns exemples de dades provinents d'aquesta implementació, com ara el mapa temàtic de residus dels municipis de la província de Girona del 2008 (figura 61) o la vista parcial de les sèries temporals i els gràfics circulars de la població de dones i d'homes en atur per a alguns municipis (figura 59 a la pàgina 106).

La implementació va permetre avaluar la primera versió del prototip en un cas real. Tant el rendiment del sistema com el disseny proposat de variables, valors, territori i models va resultar satisfactori.

A pesar de ser una primera implementació del prototip, el disseny de la base de dades de Catalunya s'ha actualitzat a mesura que evolucionava el disseny general del sistema *bofree*, incorporant els canvis produïts, de forma que la implementació actualment utilitza la darrera versió del prototip. Aquest fet reforça la validesa del disseny inicial i la seva evolució, ja que els canvis en el sistema *bofree* han estat adaptables a la implementació, sense provocar una obsolescència de les dades.

**5.3.1.2 Món** La segona implementació té l'objectiu de disposar d'una implementació complementària a l'anterior, però partint de zero en quan informació que s'incorpora. Es va escollir com a territori el món, i com a subdivisions territorials les regions (continents), subregions i els països (que seràn el territori base). S'escull aquesta configuració territorial per dues raons: són territoris coneguts per a tothom i les dades es poden obtenir amb relativa facilitat. Aquesta implementació facilita comprovar els procediments d'alta masiva

de valors, comprovar els processos de càlcul de variables derivades i agregades (numèriques i geomètriques), comparar resultats, etc.

El procés d'obtenció i integració de dades del món ha estat el següent:

- Fonts de dades utilitzades: les fronteres geogràfiques dels països s'han obtingut de les *dataset* proporcionades per Sandvik (2011); les fronteres geogràfiques de les Zones Econòmiques Exclusives (EEZ) s'han obtingut de Flanders Marine Institute (2011); Catalunya (2011), la llista de països en català codificats en ISO2; les diferents codificacions de països existents de Cloford.com (2011); les dades numèriques s'han obtingut principalment de les Nacions Unides (Nacions Unides, 2011).
- S'han creat les variables següents (no derivades): Frontera territorial, Exclusive Economic Zones (EEZ), Atur dones, Atur homes, Emissions  $CO_2$ , PIB a preus constants, Precipitació anual i Superfície dels països.
- Altres processos i accions per a la integració de dades: procediments per traduir codis de països entre diferents normatives (FIPS, ISO2, ISO3, etc.), incorporar dades de les Nacions Unides, etc. (vegeu apartat C.3 de l'annex).

A partir de les variables anteriors s'han creat diverses variables derivades d'estudi:

- població
- índex atur dones (algorisme 15)
- variació anual de població en %, base 1990 (16)
- semàfor variació població b. 1970
- precipitació *per capita*
- densitat de població

La base de dades està formada per 246 països organitzats en 23 subregions i 6 regions. S'ha donat d'alta 4 marcs conceptuals amb un total de 9 àrees. Hi ha 64 variables (incloent-hi variables derivades), amb 21.810 valors base i 9 fonts de dades.

A les figures 69 i 70 es mostren els mapes temàtics dels quartils de l'Índex d'atur de la dona (15) i de la població immigrada l'any 2006 a l'Empordà.

Al text es poden veure alguns altres resultats gràfics; per exemple, el mapa temàtic de les zones exclusives de pesca (EEZ) d'alguns països d'Amèrica Central, segons els quartils de la densitat de població (figura 60 a la pàgina 107), la consulta de les dades de Sudàfrica (figura 58 a la pàgina 105) o les sèries temporals de l'evolució de la població aplicant la funció logística de Verhulst per a diversos països (figura 76).

A la figura 71 es pot veure una imatge de l'exportació d'una selecció de dades al GPDE (Google, 2011, en línia).

Aquesta implementació mostra que els processos de suport d'alta massiva de valors són valuosos, i un complement important al laboriós treball de recopilació de dades. S'han avaluat el càlcul de valors de variables derivats, a diferents escales territorials, tant a temps real com desant els resultats a la base de dades.

---

**Algorisme 15** Índex atur de la dona.

---

$$(D+1)/(H+1)$$

D: atur dones

H: atur homes

---

---

**Algorisme 16** Variació anual de població en %, base 1990

---

$$(P_{actual} - P_{anterior}) * 100 / P_{1990}$$

P<sub>actual</sub>: població

P<sub>anterior</sub>: població | any-1

P<sub>1990</sub>: població | any=1990

---

Anys amb dades: [1981](#) [1986](#) [1991](#) [1996](#) [1998](#) [1999](#) [2000](#) [2001](#) [2002](#) [2003](#) [2004](#) [2005](#) [2006](#) [2007](#)  
Reduir punts mapa: [no](#) [0.1](#) [0.2](#)

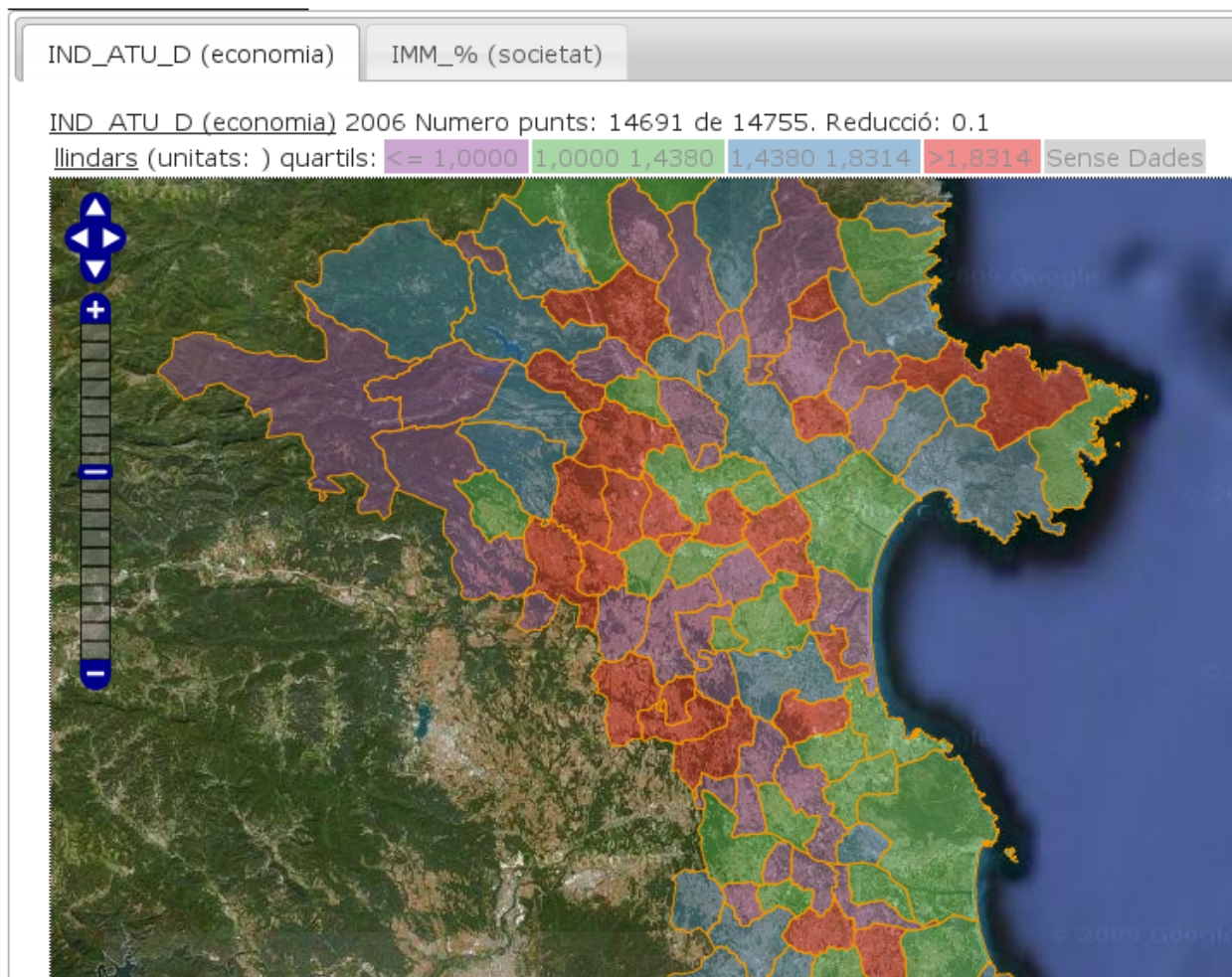


Figura 69: Quartils de l'Índex d'atur de la dona als municipis de l'Empordà l'any 2006.

Anys amb dades: [1981](#) [1986](#) [1991](#) [1996](#) [1998](#) [1999](#) [2000](#) [2001](#) [2002](#) [2003](#) [2004](#) [2005](#) 2006 [2007](#)  
Reduir punts mapa: [no](#) [0.1](#) [0.2](#)

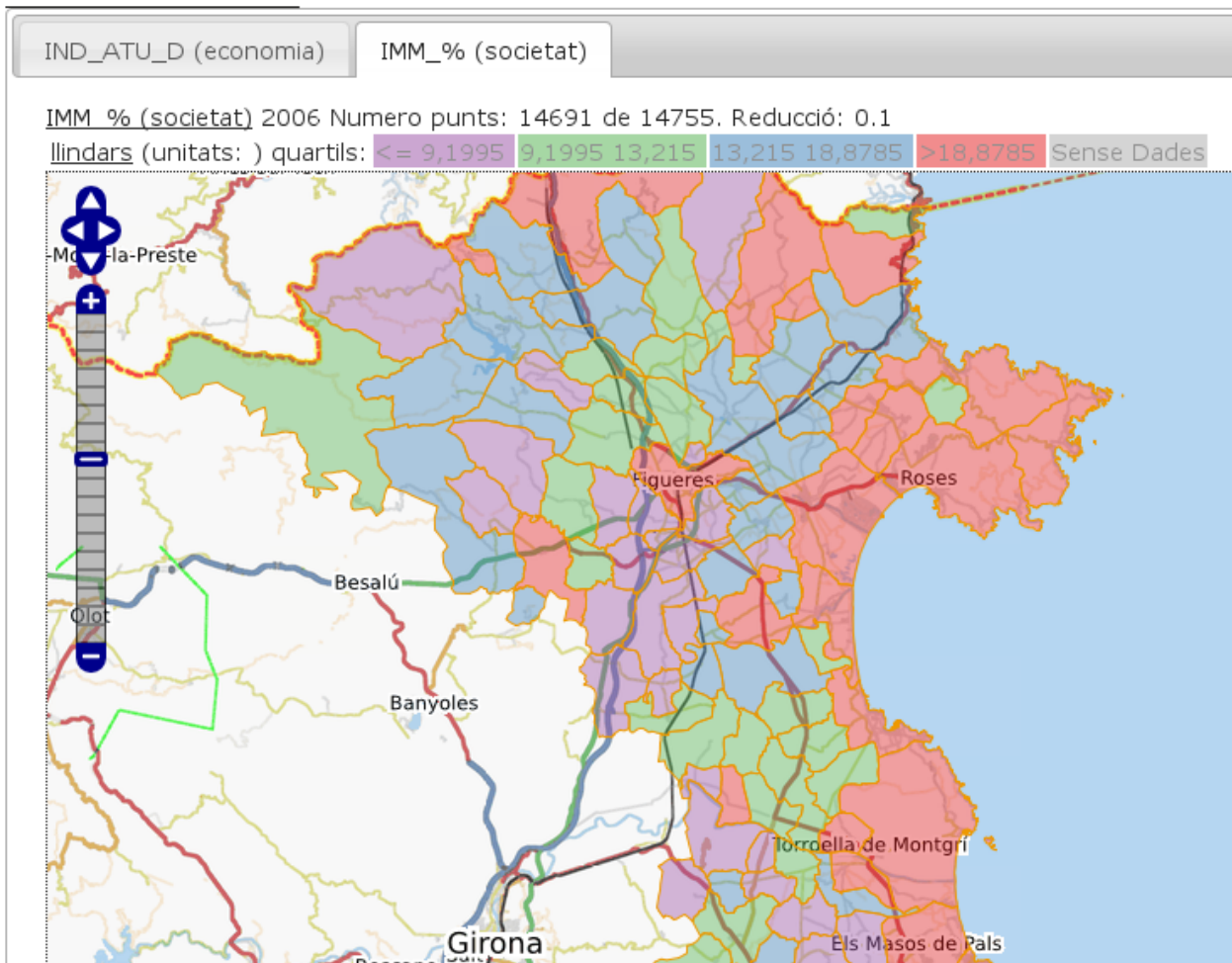


Figura 70: Quartils del percentatge de població immigrada a l'Empordà el 2006.



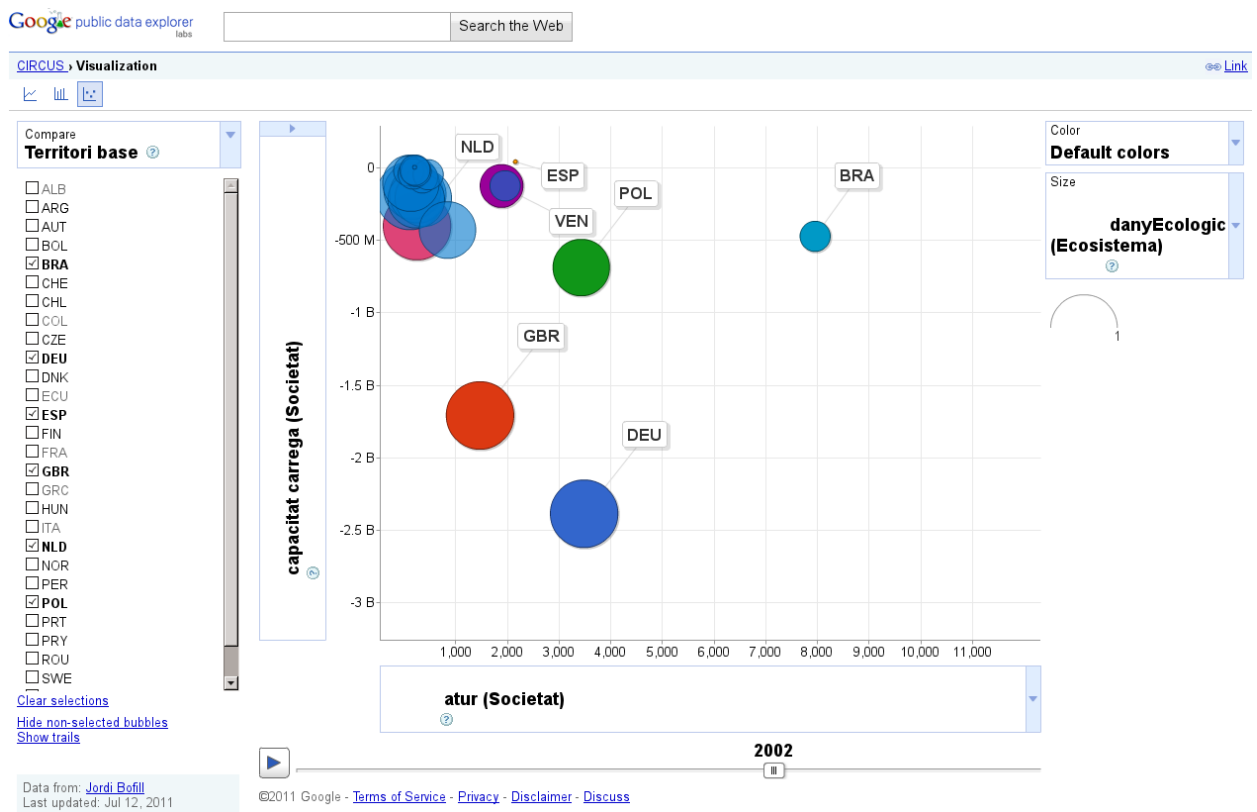


Figura 71: Visualització d'una selecció de dades mitjançant el GPDE.

El càlcul de variables en temps real, mostra que el temps de resposta és proporcional a la profunditat del càlcul (nombre de variables derivades concatenades recursivament), al nombre d'anys de les sèries temporals i al nombre de territoris que intervenen. Els temps d'espera són raonables tenint en compte el nombre de dades i càlculs que es demanen al sistema i, fent servir memòria intermèdia de càlcul, es pot treballar còmodament de forma interactiva.

### 5.3.2 Estudi de models

A continuació es presenten els casos pràctics desenvolupats per comprovar la viabilitat del sistema bofree i la seva adaptació a diferents necessitats d'estudi de models.

El primer és l'estudi de la funció logística de Verhulst. Després d'exposar un resum de la base teòrica d'aquesta funció, es desenvolupa un exemple pràctic per mostrar com el mètode de càlcul de bofree s'adapta a les necessitats de diferents models conceptuals. S'utilitza la implementació del món per mostrar el resultats obtinguts.

El segon estudi ha estat avaluar com s'adapta el sistema bofree a un projecte de recerca. S'escollit el projecte SMILE, un projecte FP7 "Ciències socioeconòmiques i humanitats" enfocat a l'estudi i desenvolupament d'eines d'anàlisi d'indicadors.

**5.3.2.1 Funció logística Verhulst** La funció logística de Verhulst és un model que s'utilitza per descriure l'evolució de diferents sistemes socials, biològics i econòmics (Yukalov, Yukalova, i Sornette (2009)):

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \left[ 1 - \frac{N(t)}{K} \right]$$

On  $N(t)$  és la mesura que caracteritza el sistema,  $r$  és la taxa de creixement i  $K$  és la capacitat de càrrega.

L'equació logística es pot utilitzar per modelitzar el creixement de la població. Per exemple, suposant que la taxa de reproducció és proporcional a la població existent i a la quantitat de recursos existents, llavors la solució de l'equació anterior és (Khamisi, 1999):

$$P(t) = \frac{KP_0e^{rt}}{K + P_0(e^{rt} - 1)} \quad (1)$$

on  $P(t)$  és la població en l'instant  $t$  i  $P_0$  la població inicial. Independentment del valor inicial de la població, la població s'aproxima asimptòticament a  $K$ .

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = K$$

Si es considera que la capacitat de càrrega no és una constant que descriu la disponibilitat dels recursos, sinó que aquests recursos poden variar a causa de l'activitat dels individus del sistema, tenim (Yukalov, Yukalova, i Sornette (2009)):

$$K(t) = A + BN(t - \tau) \quad (2)$$

on  $A$  és la capacitat de càrrega preexistent, i  $BN(t - \tau)$  representa l'impacte que tenen les activitats dels individus sobre els recursos, i que fa variar la capacitat de càrrega del sistema en funció del temps. L'impacte no és instantani, sinó que es produeix amb un retard que depèn del temps de reproducció dels individus  $\tau$ .

### Cas pràctic d'un model de l'evolució de la població.

Es vol estudiar *població logística de Versulst* dels diferents territoris a partir de l'equació 1, considerant que la capacitat de càrrega (equació 2) varia amb la quantitat i densitat de població, però sense retard en el temps de reproducció ( $\tau$ ).

El model de població parteix del coneixement de la població anual entre els anys  $t_0$  i  $t_1$ , de la superfície i un índex de fragilitat de l'ecosistema corresponen a cada territori ( $f$ ). Aquest darrer índex té un valor entre zero (mínima fragilitat) i  $\infty$  (màxima fragilitat), si un territori no té definit un valor per l'índex, es pren un valor estàndard ( $f_e$ ). En el nostre estudi, els diferents models conceptuals poden assignar un pes general a l'índex de fragilitat ( $p_f$ ). A partir de les dades anteriors s'obtenen el rati de creixement de la població i la densitat de població.

Es defineix un índex de danys ecològics, que és una funció lineal de la densitat de població del territori. El model ha de tenir en compte que a partir d'un determinat any ( $t_2$ ), es produeix una millora tecnològica o social que redueix els danys ecològics deguts a la densitat de població, aquesta millora pot ser degut, per exemple, a una major eficiència energètica o a canvis en la consciència social envers el medi ambient.

En el model, la *capacitat de càrrega* ( $K$ ) varia en el temps en funció de la població i del dany ecològic en el territori, segons l'equació:

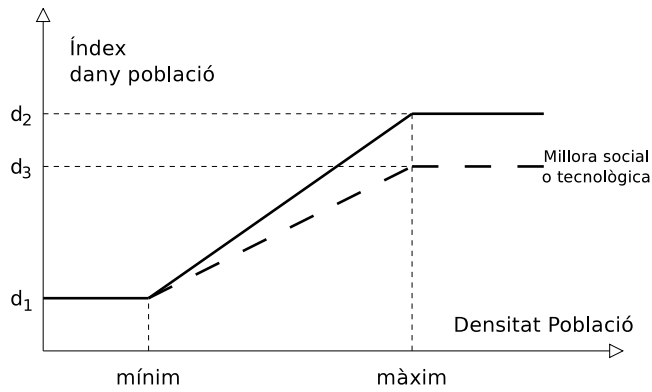


Figura 72: Índex de dany degut a la densitat de població ( $d$ ).

$$K(t) = P_0(1 - r(t - t_0))(k_0 - e) \quad (3)$$

a on:

$P_0$  població inicial ( $P_0$ )

$r$  rati creixement de la població, corresponen a la mitjana aritmètica de les variacions anuals de població entre els anys  $t_0$  i  $t_1$ .

$k_0$  índex capacitat de càrrega inicial

$e$  dany ecològic.

Observem que  $P_0(1 - r(t - t_0))$  és la variació anual de la població segons el rati  $r$ , i que la capacitat de càrrega inicial ( $k_0$ ) disminueix en funció  $d$ , que representa el dany ecològic. El *dany ecològic* ( $e$ ) el definim com

$$e = d * f * p_f \quad (4)$$

a on:

$d$ : índex de dany degut a la densitat de població (figura 72). Entre un mínim ( $x_{min}$ ) i un màxim ( $x_{max}$ ) de densitats, el valor d'aquest índex de dany és lineal. Per densitats inferiors al mínim o superior el màxim, l'índex de danys es manté constant als valors mínim ( $d_1$ ) o màxim ( $d_2$ ), respectivament. Una millora tecnològica o social (per exemple per una major eficiència energètica o canvi en la consciència social) disminueix el valor màxim de l'índex ( $d_3$ ).

$f$ : índex fragilitat de l'ecosistema corresponen a cada territori. Té un valor entre zero (mínima fragilitat) i ú (màxima fragilitat). Si un territori no té definit un valor per l'índex, es pren un valor estàndard ( $f_e$ ).

$p_f$ : pes global de l'índex de fragilitat, assignat per cada model conceptual.

Per estudiar l'evolució de la població segons aquest model, s'han creat tres models conceptuals (A, B i C). Cadascun dels models pot utilitzar estratègies diferents per ajustar els seus paràmetres, en funció dels seus

		Models		
		A	B	C
Rang d'anys població coneguda	$t_0 - t_1$	1980 - 2005	1995 - 2005	1995 - 2005
Any canvis tecnològics o socials	$t_2$	2012	2012	2015
Any límit càlculs	$t_3$	2040	2040	2040
Capacitat de càrrega inicial	$k$	2,0	1,8	1,5
Valor estàndard fragilitat	$f_e$	0,5	0,7	1,0
Pes de l'índex de fragilitat	$p_f$	0,4	0,5	1,0
Índex de dany degut a la densitat de població				
	$x_{min} \rightarrow d_1$	50 -> 0,0	50 -> 0,0	50 -> 0,1
	$x_{max} \rightarrow d_2$	1000 -> 0,3	1000 -> 0,3	1000 -> 0,5
	$x_{max} \rightarrow d_3$	1000 -> 0,2	1000 -> 0,2	1000 -> 0,3

Taula 19: Valors de referència utilitzats pels model conceptuals A, B i C

objectius. L'ajust dels paràmetres en general es farà utilitzant aplicacions externes. A la taula 19 es mostren els paràmetres de cada model.

Els tres models utilitzen els mateixos valors en quan a les densitats de població mínima i màxima ( $x_{min}$  i  $x_{max}$ ), any de referència ( $t_2$ ) i any límit ( $t_3$ ). El model C assigna uns valors més conservadors des d'un punt de vista ecològic que el model B, i aquest que el model A.

Els models A i B coincideixen l'any en que hi ha canvis tecnològics ( $t_2$ ), en la capacitat de carrega inicial ( $k$ ) i en els màxims de l'índex de dany degut a la densitat de població ( $d_1$ ,  $d_2$  i  $d_3$ ) però es diferencien en quan als valors estàndard i pes de l'índex de fragilitat ( $f_e$  i  $p_f$ ), el rang d'anys de població coneguda ( $t_0 - t_1$ ) i l'any límit dels càlculs ( $t_3$ ). El model B assigna uns valors més conservadors des d'un punt de vista ecològic que el model A.

El model C retrasa l'any dels canvis tecnològics o socials, estableix un capacitat de carrega inicial menor i augmenta els valors estàndard i pes de l'índex de fragilitat, i els màxims de l'índex de dany degut a la densitat de població. El model C és un model més conservador que el model B.

**Aplicació al territori Món** Les equacions corresponents a l'estimació de població logística de Verhulst (1), la capacitat de càrrega (3) i el dany ecològic (4) s'han introduït en el sistema *bofree* com a variables amb les expressions de càlcul dels algorismes 17, 18 i 19 respectivament. A les figures 73 i 74 es mostren els grafs simples i complets del procés de càlcul de la població de Verhulst a partir dels algorismes definits en el sistema *bofree*.

A la figura 75 es mostren per cada model les sèries temporals de Espanya de població, població segons Verhulst i capacitat de càrrega. El valor de fragilitat assignat es de 1,0. S'observa com hi ha una disminució més ràpida de la capacitat de càrrega en els models com més conservadors són. En el cas del model A, l'any 2040 la capacitat de carrega encara està lluny de la intersecció amb l'estimació de població Verhulst; en canvi, en el model B, les dues línies s'han aproximat molt. En el model C, la capacitat de càrrega s'ha sobrepassat a partir de l'any 2032. En el model C les millores tecnològiques o socials fan augmentar considerablement la capacitat de càrrega en comparació al altres models per què la diferència de valor  $d_2 - d_3$  és el doble que els altres models; amb aquest augment es retrasa uns anys la intersecció amb la població però no varia el pendent de la capacitat de càrrega.

A les figures 76, 77 i 78 per cada model es mostren els resultats obtinguts per els països següents: Argentina,

---

**Algorisme 17** Expressió de càlcul corresponen a l'equació de la població logística 1.

---

```
((({K}*{P0}*Decimal(str(math.exp({ poblacioVariacio }*({ anyActual}-{
anyBase })))))/ ({K}+{P0}*(Decimal(str(math.exp({ poblacioVariacio }*({
anyActual}-{anyBase })))) - 1 ))) if {anyActual}>={anyBase} else ''
```

```
P0: poblacio | year=anyR
K: capacitat carrega
anyBase: year=anyR
poblacioVariacio: poblacio variacio mitjana
anyActual: year
```

---

---

**Algorisme 18** Expressió de càlcul de la capacitat de càrrega segons l'equació 3.

---

```
(({P0}*(1-({ variacioPoblacio }*({ anyActual}-{anyBase }))))*({k}-{
danyEcologic })) if {anyActual}>={anyBase} else ''
```

```
k: reference=0
variacioPoblacio: poblacio variacio mitjana
danyEcologic: danyEcologic
P0: poblacio | year=anyR
anyActual: year
anyBase: year=anyR
```

---

---

**Algorisme 19** expressió de càlcul del dany ecològic segons l'equació 4

---

```
if f.is_nan(): f=fe
densitat=P0*(1+taxaCreixementPoblacio*(anyActual-anyBase))/(sup*10)
if anyActual>=anyMillora: danyMax=danyMaxMillorat
if densitat.is_nan(): dany=danyMin
elif densitat<densitatMin: dany=danyMin
elif densitat>densitatMax: dany=danyMax
else: dany=(densitatMax-densitat)*(danyMax-danyMin)/(densitatMax-
densitatMin)
return f*pf*dany
```

```
f: fragilitat
fe: fragilitat | reference=0
pf: fragilitat | reference=1
P0: poblacio | year=anyR
anyBase: year=anyR
anyMillora: poblacio verhulst | reference=0
sup: superficie total
taxaCreixementPoblacio: poblacio variacio mitjana
densitatMin: reference=0
danyMin: reference=1
densitatMax: reference=2
```

---

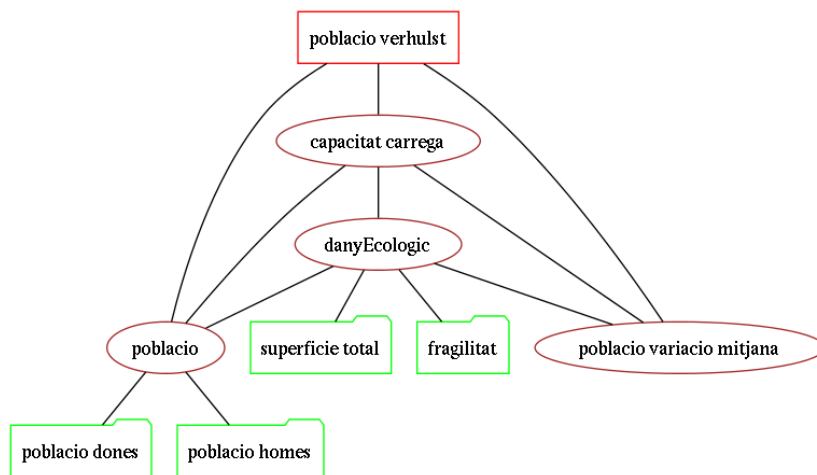


Figura 73: Graf del procés de càlcul de la població logística de Verhulst.

Austràlia, Espanya, Islàndia, Romania, El Salvador, Senegal, Tailàndia. L'elecció dels països es basa en els criteris següents:

- Sèries de dades de població completa per tots els anys entre 1970 i 2007.
- Distribució geogràfica, de forma que com a mínim hi ha un país de cada continent.
- Incloure algun país amb poc augment de població o que ha experimentat una disminució (Romania).
- Incloure alguns països ecològicament fràgils (Islàndia i Austràlia).

Els valors de fragilitat assignats són per a fer les proves són Austràlia 1,3; Argentina 1,1; Tailàndia 0,6 i Espanya: 1,0. El altres països utilitzen el valor de fragilitat estàndard de cada model ( $f_e$ ).

S'observa com la capacitat de càrrega i l'increment de població disminueix més ràpidament en tots els països si el model conceptual usa uns valors alts en els paràmetres ecològics. En la figura 78 es pot observar com el canvi tecnològic produeix un augment de la capacitat de càrrega, però aquest augment no fa variar la pendent de la línia, sinó només retrassa un poc l'any d'intersecció de la població de Verhulst.

Podem resumir que l'estudi de la població logística de Verhulst corrobora que el mètode dissenyat per càlculs de variables derivades mitjançant l'execució dinàmica d'expressions és factible i versàtil, ja que ha premès introduir diferents tipus d'equacions, valors de referència i condicionaments en el càlcul, alhora que es podien adaptar als objectius o visions de diversos models conceptuals.

**5.3.2.2 FP7 Projecte SMILE** El projecte SMILE Vehmas(coord.) (2011), un projecte FP7 "Ciències socioeconòmiques i humanitats", es basa en el treball previ dut a terme en el projecte FP6 DECOIN (Desenvolupament i Comparació d'Indicadors de Sostenibilitat). Es tracta d'una recerca enfocada a l'estudi i desenvolupament d'eines d'anàlisi d'indicadors. Una de les característiques principals d'aquestes eines és la descomposició en diferents indicadors de sostenibilitat i la interpretació dels factors descompostos com a forces motrius (*drivers*) a favor o en contra de la sostenibilitat.

A l'annex D a la pàgina 194 s'explica el projecte FP7 SMILE i, de les tres eines del projecte, s'explica amb detall l'ASAtool com a cas pràctic d'integració de mètodes de càlcul existents en el sistema *bofree*.

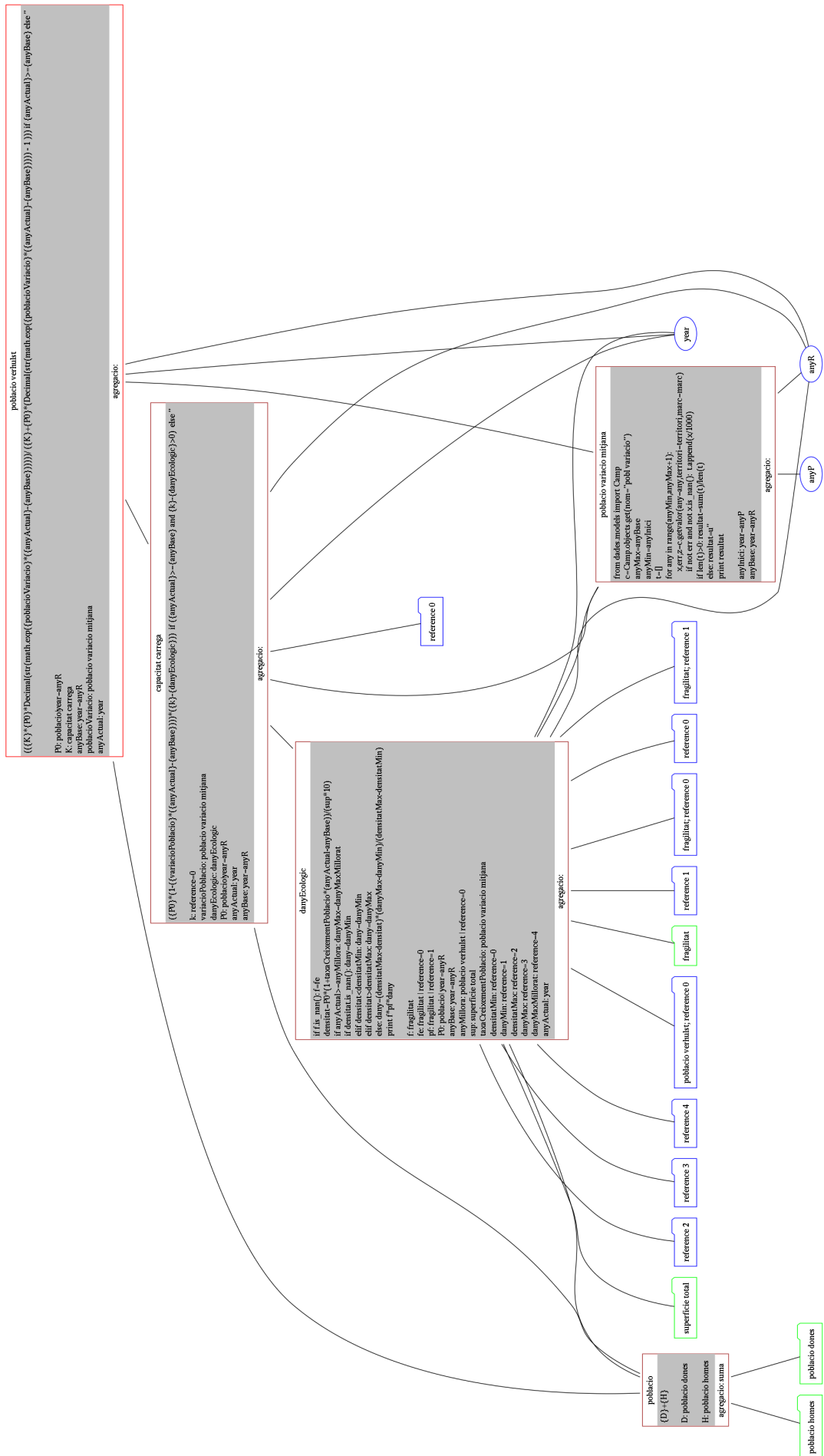
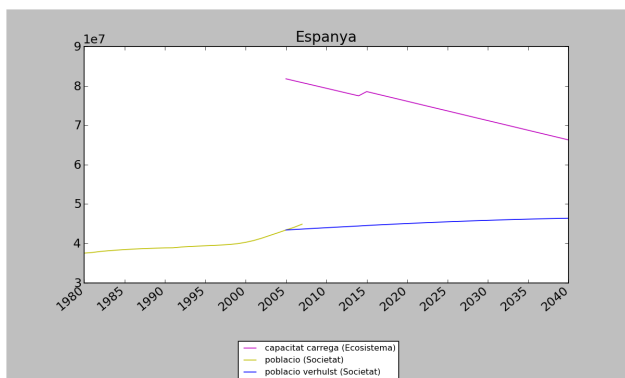
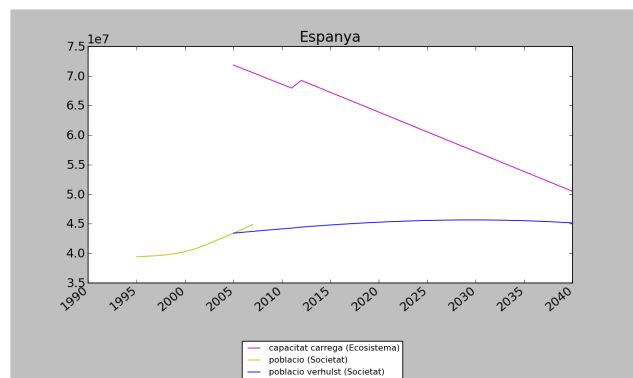


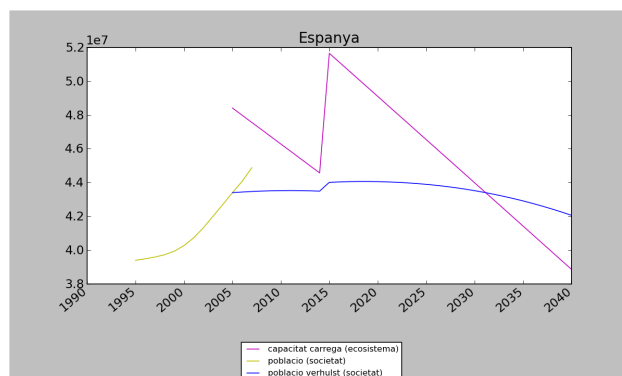
Figura 74: Graf complet del procés de càlcul de la població logística de Verhulst.



(a) Model A



(b) Model B



(c) Model C

Figura 75: Sèries temporals per Espanya de la població real, evolució de la població segons Verhulst i la capacitat de càrrega segons els models A, B i C.



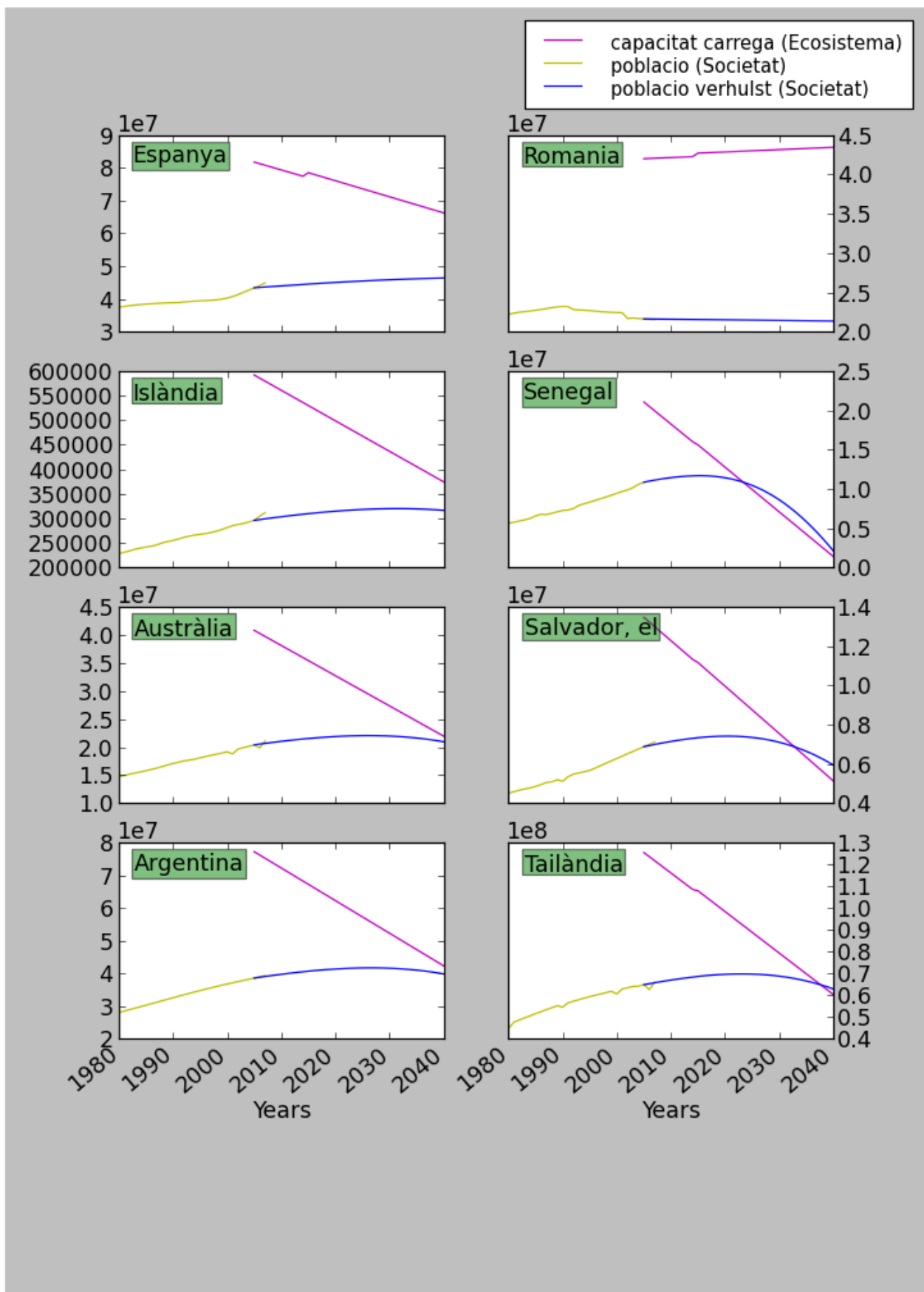


Figura 76: Model conceptual A: capacitat de càrrega, població i estimació de població Verhulst per alguns països del món.

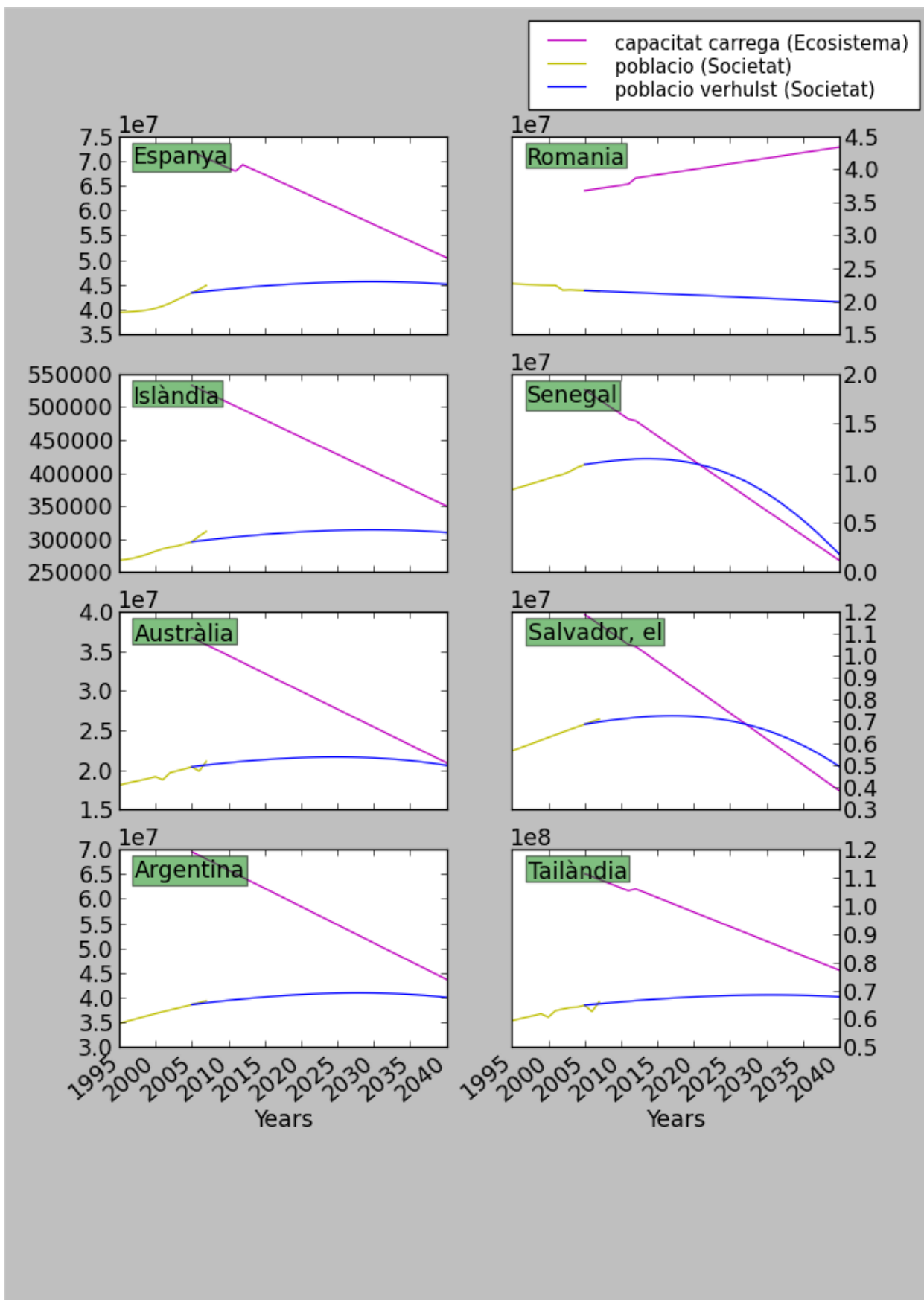


Figura 77: Model conceptual B: capacitat de càrrega, població i estimació de població Verhulst per alguns països del món.

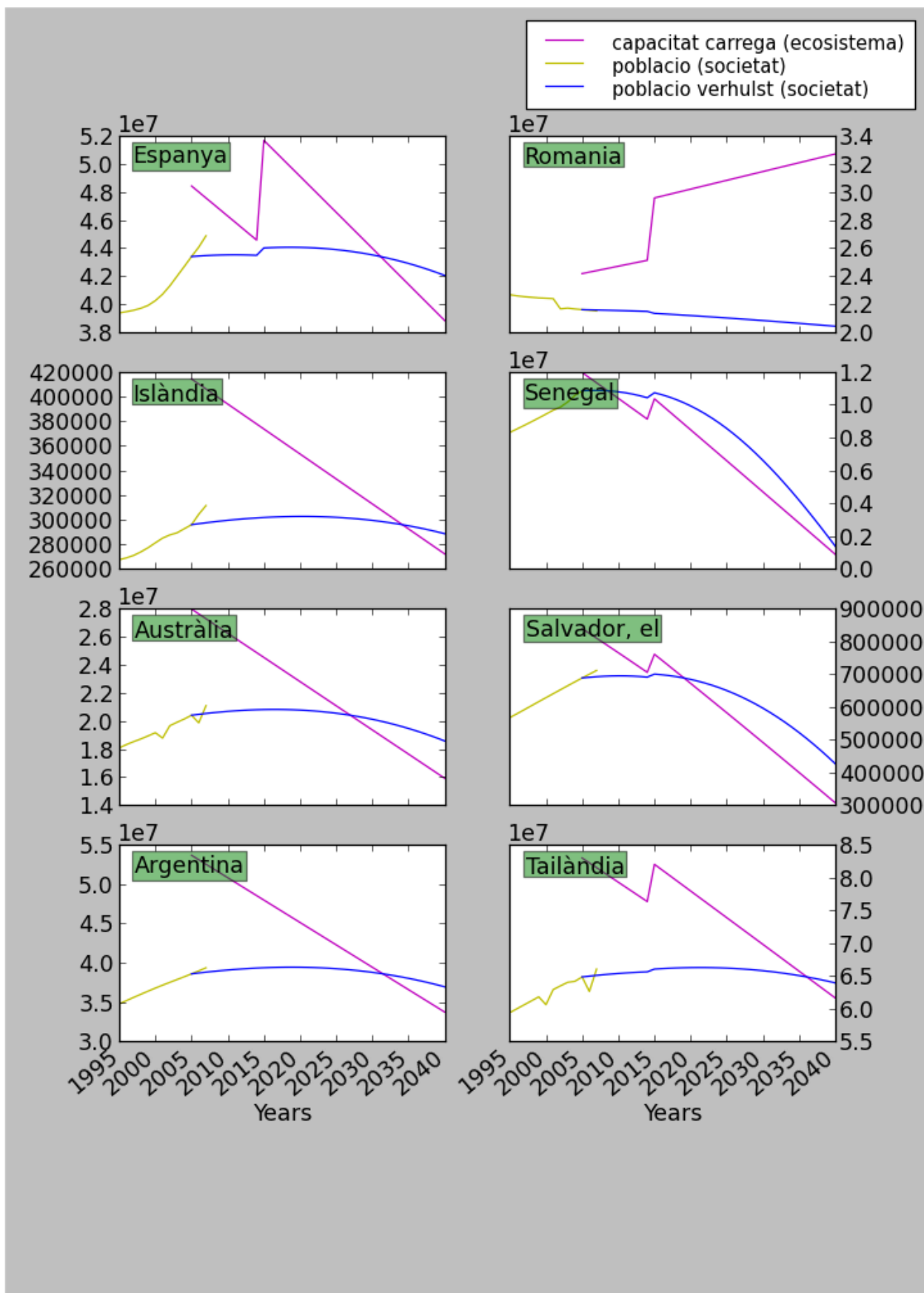


Figura 78: Model conceptual C: capacitat de càrrega, població i estimació de població Verhulst per alguns països del món.

L'exemple exposat per SMILE facilita un full de càlcul en què es desenvolupa el procés de descomposició ASA de les emissions de  $CO_2$  procedents de la crema de combustible:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{TPES} \times \frac{TPES}{FEC} \times \frac{FEC}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP \quad (5)$$

on,

$TPES$  és el subministrament total d'energia primària

$FEC$  és el consum final d'energia

$GDP$  és el producte interior brut a preus constants

$POP$  és la quantitat de població en els països estudiats

**Incorporació dels càlculs ASA al sistema d'informació** La pregunta que ens fem és la següent: és possible utilitzar el sistema *bofree* com a plataforma d'implementació d'eines d'anàlisi?

Per respondre a la pregunta, fem l'exercici de reformular l'*ASA-type decomposition equation* en el sistema *bofree*, utilitzant les equacions de D.2 a la pàgina 196 i els procediments del full de càlcul Excel del treball de recerca. La reformulació realitzada a *bofree* la considerem vàlida si el resultat final i els resultats intermedis són iguals, sense perdre precisió, als proporcionats per l'eina Excel.

Les variables en el sistema d'informació, les reanomenem de la forma següent:

- $V, X_1, X_2, X_3, X_4$  les anomenem  $CO_2, TPES, FEC, GDP$  i  $POP$
- Valors en el temps  $t = 0$  de  $V, X_1, X_2, X_3$  i  $X_4$  com a  $CO_2b, TEPSb, FECb, GDPb$  i  $POBb$
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  i  $\lambda_4$  com  $La, Lb, Lc$  i  $Ld$

i utilitzem els operadors  $*$  i  $/$  com a símbols de multiplicació i divisió.

L'equació 8 per a quatre factors és:

$$CO_2 = CO_2/TPES \times TPES/FEC \times FEC/GDP \times GDP/POP \times POP$$

Les equacions utilitzades per ASA s'han introduït seguint els passos intermedis fets en el full de càlcul d'ASAtool. D'aquesta forma les equacions de la contribució dels factors 9 es transformen en:

$$\begin{aligned} CO_2/TPES &= Ra * ((CO_2/TPES) - (CO_2b/TPESb)) \\ TPES/FEC &= Ra * Rab * ((TPES/FEC) - (TPESb/FECb)) \\ FEC/GDP &= Ra * Rb * Rbc * ((FEC/GDP) - (FECb/GDPb)) \\ GDP/POP &= Ra * Rb * Rc * Rcd * ((GDP/POP) - (GDPb/POPb)) \\ POP &= Ra * Rb * Rc * Rd * (POP - POPb) \end{aligned}$$

on:

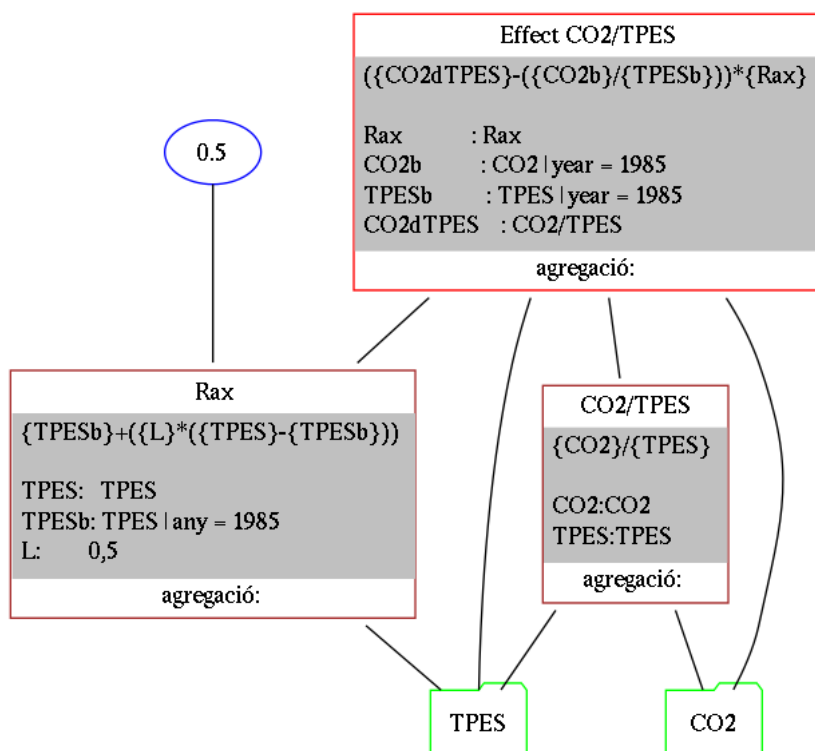


Figura 79: Graf de càlcul complet de l'equació  $CO_2/TPES$ .

$$\begin{aligned}
 Ra &= CO_2b/TPESb + (1 - La) * (CO_2/TPES - CO_2b/TPESb) \\
 Rb &= TPESb/FECb + (1 - Lb) * (TPES/FEC - TPESb/FECb) \\
 Rc &= FECb/GDPb + (1 - Lc) * (FEC/GDP - FECb/GDPb) \\
 Rd &= GDPb/POPb + (1 - Ld) * (GDP/POP - GDPb/POPb) \\
 Rax &= TPESb + La * (TPES - TPESb) \\
 Rab &= FECb + Lb * (FEC - FECb) \\
 Rbc &= GDPb + Lc * (GDP - GDPb) \\
 Rcd &= POPb + Ld * (POP - POPb)
 \end{aligned}$$

En el sistema d'informació,  $abs()$  és la funció valor absolut i, per tant, la fórmula per calcular  $\lambda$  de  $La$  serà la següent:

$$\begin{aligned}
 La &= \frac{abs((CO_2/TPES) - (CO_2b/TPES))}{(abs((CO_2/TPES) - (CO_2b/TPESb)) + abs((TPES - TPESb)/TPESb))}
 \end{aligned}$$

anàlogament per a  $Lb$ ,  $Lc$  i  $Ld$ .

A tall d'exemple, la variable de càlcul  $Effect\ CO_2/TPES$  de *bofree* fa el càlcul de l'equació  $CO_2/TPES$  anterior segons el graf de càlcul complet que es mostra a la figura 79. De forma anàloga, les variables de càlcul  $Effect\ TPES/FEC$ ,  $Effect\ FEC/GDP$ ,  $Effect\ GDP/POP$  i  $Effect\ POP$  fan el càlcul de  $TPES/FEC$ ,  $FEC/GDP$ ,  $GDP/POP$  i  $POP$ , respectivament. A la figura 80 es mostra el graf de càlcul simple de l'equació  $GDP/POP$ .

També s'hi mostren els algorismes de la variable  $POP$  en el sistema *bofree*, corresponents a l'equació  $X_4$  de 9 a la pàgina 196 (algorisme 20), l'algorisme de la variable  $Ra$  (algorisme 21 a la pàgina següent).

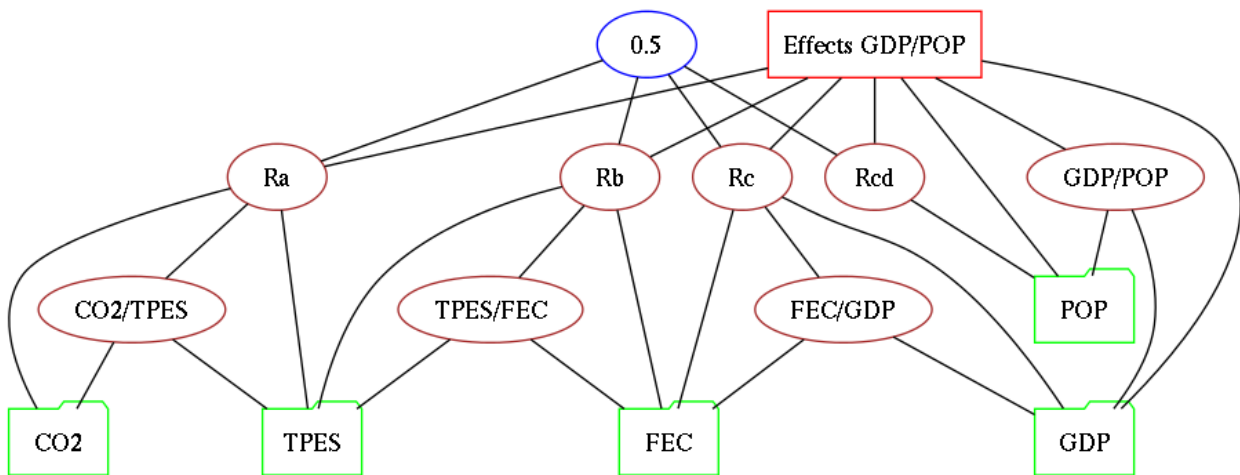


Figura 80: Graf de càlcul simple de l'equació  $GDP/POP$ .

---

**Algorisme 20** Variable POP en el sistema *bofree*, corresponent a l'equació  $X_4$  de 9 a la pàgina 196.

---

$$Ra * Rb * Rc * Rd * (POP - POPb)$$

Ra : Ra  
 Rb : Rb  
 Rc : Rc  
 Rd : Rd  
 POP : POP  
 POPb : POP | year = 1985

---



---

**Algorisme 21** Variable  $Ra$  de l'algorisme 20, amb lambda 0,5.

---

$$(CO2b / TPESb) + (1 - L) * (CO2dTPES - (CO2b / TPESb))$$

CO2b: CO2 | any = 1985  
 TPESb: TPES | any = 1985  
 CO2dTPES: CO2/TPES  
 L: 0,5

---

**Resultat** Un cop definides les variables en el sistema *bofree* i fets els càlculs, es comprova que els resultats són idèntics als que proporciona l'Excel de l'ASAtools. Podem concloure que el cas pràctic exposat en el projecte SMILE funciona perfectament en el sistema *bofree*.

És més, si es disposessin de les dades inicials (CO2, TPES, etc.) per a les implementacions dels prototips Món o Girona, es podrien obtenir amb facilitat els resultats de descomposició per qualsevol dels territoris i per a qualsevol any.

A l'article de Vehmas i col. (2008), en l'autoavaluació de l'eina i pel que fa a la facilitat d'ús, explica que canviar l'any de referència és potser el punt més feble de l'enfocament de ASA. Nosaltres afegim que també s'hauria trobat problemàtic aplicar el full a múltiples territoris.

## 5.4 Software de desenvolupament, base i complementari

Es poden cercar moltes raons per seleccionar un software en lloc d'un altre, però una de les de més pes és l'expertesa que es tingui en cada un. De tots els components de software que intervenen, el llenguatge de programació escollit condiona de forma important la resta d'opcions de software que es volen utilitzar, en reduir el nombre de candidats possibles, per exemple, en els marcs de desenvolupament, les bases de dades o les rutines matemàtiques.

Entre les àmplies possibilitats existents per a l'elecció de software lliure, hem optat per un conjunt format per:

- software de desenvolupament principal:
  - Llenguatge de programació Python (Python i Foundation, 2010, en línia).
  - Marc de desenvolupament d'aplicacions web Django (Django i team, 2011, en línia).
- software base:
  - Base de dades Sqlite (Hipp, 2011, en línia) amb Spatialite Furieri (2011).
  - Sistema operatiu GNU/Linux (GNU Project i altres, 2011, en línia).
  - Servidor web Apache (McCool, 2011, en línia).
- software complementari:
  - Generació de gràfics, Matplotlib (Hunter i D. 2011, en línia).
  - Generació de mapes, OpenLayers (OpenLayers i Team, 2011, en línia) i s'han utilitzat els mapes d'OpenStreetMap OpenStreetMap contributors (2011).
  - Rutines matemàtiques, SciPy (Jones, Oliphant, Peterson, i col., 2011–, en línia).
  - Llibreria JavaScript per generar html, JQuery jQuery team (2006).
  - Llibreria RDF, per a gestió i arxiu de triplets: RdfLib Krech (2011) i el *fork* Fonseca (2011).
  - DSPL Tools command-line utilities (Google (2010). La llibreria s'ha modificat de forma que crea fitxers en memòria utilitzables per *bofree*.
  - Documentació, Sphinx Brandl (2011).
  - Fulls de càlcul, LibreOffice (LibreOffice, 2011, en línia).
  - Entorn integrat de desenvolupament, Eric <http://eric-ide.python-projects.org/index.html>

Position May 2011	Position May 2010	Delta in Position	Programming Language	Ratings May 2011
1	2	↑	Java	18.160%
2	1	↓	C	16.170%
3	3	=	C++	9.146%
4	6	↑↑	C#	7.539%
5	4	↓	PHP	6.508%
6	10	↑↑↑↑	Objective-C	5.010%
7	7	=	Python	4.583%
8	5	↓↓↓	(Visual) Basic	4.496%
9	8	↓	Perl	2.231%
10	11	↑	Ruby	1.421%
11	12	↑	JavaScript	1.394%

Taula 20: Índex TIOBE maig del 2011. Indicador de la popularitat dels llenguatges de programació.

### Llenguatge de programació Python

A la taula 20 es mostra l'índex TIOBE dels llenguatges de programació<sup>17</sup> BV (2011). Els llenguatges script més utilitzats són Perl, Python i Ruby. Tots tres tenen moltes similituds.

Python és un llenguatge de programació d'alt nivell de propòsit general. Guido van Rossum el va crear el 1991. Combina una potència remarcable amb una sintaxi clara i entenedora. Molt sovint es compara amb altres llenguatges com ara Java, Tcl, Perl o Scheme. Utilitza sagnats com a delimitadors de blocs, fet poc freqüent als llenguatges de programació. Una altra de les característiques d'aquest llenguatge és la tipificació dinàmica i la capacitat per interpretar el codi en temps d'execució, a diferència d'altres llenguatges com ara C, que ho fan en temps de compilació.

Hi ha bastant software desenvolupat per usar en l'àmbit científic, des de classes per gestionar matrius multidimensionals fins a eines per a l'anàlisi de dades climàtiques, passant per software neuronal, estudi de xarxes complexes, etc.<sup>18</sup>, a més del que s'ha desenvolupat utilitzant C, C++ o Fortran, però que disposa d'interfícies a què s'accedeix des de Python (per exemple, R amb Rpy).

El software es distribueix amb una llicència lliure, la *Python Software Foundation License*, compatible amb la llicència GNU GPL (GNU Project, 2011, en línia).

### Marc de desenvolupament d'aplicacions web Django

Un marc de desenvolupament d'aplicacions web és una plataforma de software que està dissenyada per donar suport al desenvolupament de llocs web dinàmics, aplicacions web i serveis web. L'entorn té com a objectiu alleujar la sobrecàrrega associada a les activitats comunes dutes a terme durant el desenvolupament

<sup>17</sup>L'índex TIOBE és un indicador de la popularitat dels llenguatges de programació creat per l'empresa TIOBE, especialitzada en l'avaluació i el seguiment de la qualitat del software. L'índex s'actualitza una vegada al mes i les qualificacions es basen en el nombre d'enginyers qualificats a tot el món, els cursos realitzats, etc., i s'utilitzen els motors de cerca de Google, MSN, Yahoo, Wikipedia i YouTube per obtenir informació. Cal notar que l'índex TIOBE no és un indicador de quin és el millor llenguatge de programació ni de quin és el llenguatge amb més línies de codi escrites. [http://www.tiobe.com/index.php/tiobe\\_index](http://www.tiobe.com/index.php/tiobe_index).

<sup>18</sup>Un dels llocs per consultar el software científic disponible per a l'entorn de Python és [http://www.scipy.org/Topical\\_Software](http://www.scipy.org/Topical_Software)



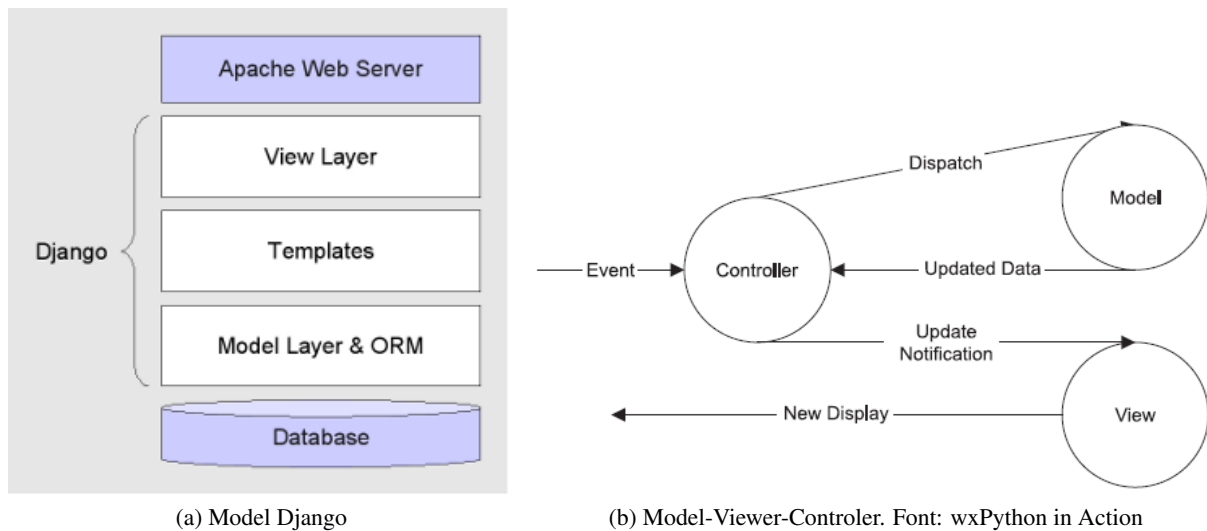


Figura 81: Funcionament d'un model MVC.

web. Per exemple, els marcs proporcionen llibreries de software d'accés a bases de dades i entorns per dissenyar plantilles i per gestionar la comunicació entre l'aplicació i l'usuari.

Django és un marc que facilita el desenvolupament dels processos del sistema situats entre el servidor web i la base de dades (figura 81a). Aquest software segueix el patró model-vista-controlador (MVC), desenvolupat l'any 1979. Les tres parts principals d'aquest patró són (Reenskaug, 1979):

1. El model: representació de la realitat, formada per un conjunt d'objectes estructures.
2. La vista: representació visual del model.
3. El controlador: l'enllaç entre l'usuari i el sistema.

Per Holovaty i Kaplan-Moss (2008), aquesta forma de desenvolupament permet independitzar el codi que defineixen les dades i el seu accés (el model) de la sol·licitud de ruta lògica (el controlador), que al seu torn és independent de la interfície d'usuari (la vista). Un avantatge clau d'aquest enfocament és que els components estan dèbilment acoblats, és a dir, els canvis en un dels components no implica necessàriament haver de fer canvis en els altres components.

El funcionament d'un model MVC és, essencialment, el de la figura 81b, en què un procés "controlador" rep uns *events* (per exemple, la petició d'un gràfic o l'actualització d'unes dades) que generen una demanda sobre el "model" (per exemple, determinades taules de la base de dades), que lliura al controlador la informació demanada i, al seu torn, envia el resultat processat al procés "vista" perquè generi una vista (per exemple, una pagina web) que s'envia al servidor web. En la implementació de Django, el controlador i el *view* del model MVC s'anomenen *view* i *template*, respectivament.

Django, facilita un entorn de treball estructurat que segueix el principi DRY (Don't Repeat Yourself), segons el qual cada fragment de coneixement d'un sistema ha de tenir una única representació inequívoca i autoritzada.<sup>19</sup> A Django es poden crear projectes i aplicacions. Les aplicacions poden ser independents dels projectes, de forma que una aplicació es pot utilitzar en més d'un projecte. Les aplicacions tenen els elements i les funcions següents:

<sup>19</sup><http://c2.com/cgi/wiki?DontRepeatYourself>

- Models, que contenen les definicions de la base d'informació (tipus d'entitats, atributs, operacions, etc.).
- *view*, amb els programes que processen i gestionen les peticions dels usuaris.
- *templates*, amb les plantilles de la informació que es presentarà en el navegador de l'usuari.
- urls, amb l'estructura de les adreces URL que utilitzarà l'usuari per comunicar-se amb el sistema.
- Altres: formularis, administració, processadors contextuais, etc. Un conjunt de programes que permeten configurar diversos aspectes de l'aplicació com ara l'entrada i validació de dades, la forma de presentar la informació de determinades dades o la definició de les variables de context.

El software es distribueix amb una llicència lliure, la *BSD license*, compatible amb la llicència GNU GPL (GNU Project, 2011, en línia).

### **Base de dades Sqlite**

Sqlite és un sistema de gestió de bases de dades (DBMS) que té la particularitat que està totalment contingut en un únic fitxer. A diferència d'altres bases de dades relacionals com ara Mysql o Postgresql, no requereix tenir un procés de sistema ni tampoc necessita una gestió d'usuaris externa. Juntament amb Spatialitees poden definir tipus de dades geomètriques.

El software és de domini públic, compatible amb la llicència GNU GPL (GNU Project, 2011, en línia).

### **Resum**

L'objectiu del desenvolupament pràctic és la disposició de prototips prou desenvolupats que permetin verificar les solucions de disseny proposades. Horitzontalment el prototip proporciona les funcionalitats de consulta, selecció, informes, actualització de valors i administració, que inclou els procediments d'altres, baixes... de les diferents classes de l'aplicació (variables, models, usuaris, etc.). En l'aprofundiment vertical s'han incentivat els processos de càlcul de valors en temps real, la integració de models conceptuals, la integració de valors numèrics, text i geometries multipolígon, la utilització d'estructures territorials RDF, la generació de mapes temàtics i sèries temporals, i l'accés remot al sistema amb navegador.

Les tres implementacions pràctiques del prototip ha estat: els països del món, els municipis de Catalunya i els municipis de Girona..

El desenvolupament del prototip i les seves implementacions han permès, entre d'altres:

- Avaluar la base d'informació i els processos de càlcul fet servir dades reals.
- L'adaptació del sistema a diferents organitzacions territorials,
- Verificar els processos d'alta massiva de valors
- Comprovar el rendiment: El càlcul de variables en temps real mostra que els temps d'espera són raonables tenint en compte el nombre de dades i els tipus de càlculs que es demanen al sistema. Fent servir memòria intermèdia de càlcul, es pot treballar còmodament de forma interactiva.

El resultat ha estat que la base d'informació i els processos s'adapten a dades reals de diferents organitzacions territorials, tot usant processos d'alta massiva. El temps de resposta del càlcul de variables és proporcional a la profunditat del càlcul (nombre de variables derivades concatenades recursivament) amb uns temps d'espera raonables tenint en compte el nombre de dades i càlculs que es demanen al sistema. L'ús de la memòria intermèdia de càlcul facilita el treball interactiu.

S'han portat a terme dos estudis de models com a casos pràctics per validar el sistema enfront de dos escenaris diferents.

En el primer cas s'ha comprovat que tres models conceptuals diferents poden estudiar el mateix tema, compartir les mateixes dades introduint cadascun els seus judicis de valor de forma transparent. El cas d'estudi és l'evolució de la *població logística de Versulst* de distints territoris considerant que la capacitat de càrrega varia en el temps en funció de la població i del dany ecològic. El dany ecològic està en funció de la densitat de població, de la fragilitat de l'ecosistema i el pes assignat per cada model conceptual a l'índex de fragilitat.

Aquest cas pràctic ha permès corroborar que el mètode dissenyat per càlculs de variables derivades del sistema és factible i versàtil, ja que ha admès introduir diversos tipus d'equacions, valors de referència i condicionants en el càlcul, alhora que es podien adaptar als objectius o visions de models conceptuals diferents.

El segon estudi ha estat avaluar com s'adapta el sistema a un projecte de recerca real recent. Es tracta del cas pràctic del projecte SMILE, un projecte FP7 "Ciències socioeconòmiques i humanitats" encarat a l'estudi i desenvolupament d'eines d'anàlisi d'indicadors. D'aquest estudi, s'extreuen principalment dues conclusions:

- el sistema s'adapta amb facilitat obtenint resultats idèntics
- s'obtenen millors funcionalitats, ja que un cop definides les variables i disposant de les dades, es poden obtenir resultats de descomposició per qualsevol territori (països, comarques, municipis, etc.) i per qualsevol any.

Finalment, s'ha assolit l'objectiu de validar la proposta mitjançant prototips desenvolupats utilitzant exclusivament software lliure, concretament el software usat ha estat Python (llenguatge de programació), Django (marc de desenvolupament d'aplicacions), SQLite (base de dades) i d'altre software complementari (generació de mapes, gràfics, rutines matemàtiques, etc.).



## 6 Conclusions

Fins ara els investigadors per fer estudis de sostenibilitat s'han basat primordialment en dos tipus de sistemes, els enfocats a proveir dades tot mantenint una coherència entre les observacions, valors, fonts i localització; i els sistemes enfocats a l'avaluació de polítiques tot modelitzant un àmbit o territori concret.

Aquesta tesi fundamenta teòricament i pràcticament una concepció del sistema d'informació diferent: són els investigadors d'equips multidisciplinaris els qui donen significat al sistema. Ells són qui organitzen l'estructura del territori, defineixen i classifiquen els indicadors, desenvolupen les processos de càlcul de valors, etc. Els models conceptuals són l'eina amb què cada disciplina aporta la seva pròpia visió i diferenciació.

La tesi demostra que els models conceptuals són els elements abstractes que permeten agrupar dades i aplicar-hi valors o judicis de valors, sense interferir amb altres models que, utilitzant les mateixes dades, necessiten agrupacions diferents i aplicar judicis de valor diferents.

La concepció, el disseny i el desenvolupament d'un sistema d'informació té com a objectiu interrelacionar un conjunt de dades i processos. La tesi posa de manifest que si les dades i els processos no estan estandaritzats, com en el cas plantejat, sorgeix la necessitat de definir-los, no en els seus detalls, ja que pel fet que no estan estandaritzats no es poden "fixar", sinó al contrari, definir-los de la forma més àmplia possible per incorporar les variacions imprevisibles en els processos i en les dades.

**Conclusions conceptuals.** A l'inici del treball s'han exposat els fonaments teòrics i pràctics que constitueixen la base de sustentació de la tesi: la informació i els sistemes d'informació, l'estudi de la sostenibilitat d'un territori com un sistema complex i la mesura de la sostenibilitat usant sistemes d'indicadors juntament amb models conceptuals. A partir d'aquesta base la tesi aprofundeix en els models conceptuals, els indicadors i les variables, les fonts de dades i les organitzacions territorials.

A partir de la definició de l'estructura comuna dels models conceptuals, la tesi apunta les característiques que els diferencien, aquesta diferenciació és la que s'ha de visualitzar en el sistema. Es demostra com sorgeixen indicadors que depenen del model conceptual. L'anàlisi del procés d'avaluació de l'estat d'un indicador posa de manifest com el judici de valor implícit en els criteris i principis de sostenibilitat pot incorporar-se indirectament en la definició d'un altre indicador.

La tesi desenvolupa les característiques fonamentals de les variables i dels valors, aportant una definició dels tipus nous de variables i valors descoberts que intervenen en un estudi. Es defineixen les variables independents com les formades per observacions de la realitat en les quals hi ha un consens en què el biaix implícit en la selecció de les dades no té una influència significativa en el resultat. Dins d'aquest grup de variables, s'inclou qualsevol combinació de variables independents, sempre que el procés no alteri el consens anterior sobre la no-influència del biaix. Aquest nou tipus de variables l'hem anomenat variables derivades independents.

Es posa de manifest la relació entre variables, valors i models conceptuals amb unes representacions esquemàtiques, usant piràmides amb una base comuna i diferenciats als vèrtexs que se separen en funció dels criteris i objectius de sostenibilitat. A la base comuna hi ha les variables independents i, a continuació, les variables dependents dels models conceptuals, formades per les variables derivades i les variables criteri del models.

A partir de l'estudi de les fonts de dades i les característiques de les sèries temporals de sostenibilitat disponibles a través d'internet, que conclou que la cobertura temporal de les bases de dades és de diverses dècades

enrere, la tesi constata que les sèries temporals per estudis de sostenibilitat es poden caracteritzar per tenir una extensió màxima d'uns 100 anys, un espaiat anual i un suport anual.

Quant al territori, s'analitzen les característiques de les estructures organitzatives de diferents territoris i s'arriba a la conclusió que no es pot definir una estructura genèrica de territori, ja que poden coexistir un nombre indeterminat de tipus de subdivisions territorials en un mateix territori i, a més, poden canviar en el temps. S'exposa la importància dels noms geogràfics, que d'una forma natural identifiquen i localitzen llocs.

**Conclusions pràctiques.** A nivell general, s'afavoreix la màxima diversitat possible, considerant sempre que els usuaris són els experts en el seu camp, no el sistema, i que és a ells a qui cal traslladar, sempre que sigui possible, les decisions.

A partir de l'anàlisi conceptual la tesi aporta un solució de disseny en què la base d'informació dissenyada està constituïda per tres agrupacions de classe: models, dades i territori.

Aquesta solució de disseny es sustenta sobre dos punts clau, d'una banda, el desenvolupament de l'estructura territorial basada en l'experiència del web semàntic i, de l'altra, la definició d'un procés i d'una sintaxi de càlcul de valors.

Quant al territori, es tracta gairebé tota la informació territorial com a variables i no com a atributs del territori, de forma que per definir el territori és suficient definir, en primer lloc, l'organització territorial (tipus de subdivisions territorials i la seva relació jeràrquica) i, en segon lloc, la relació entre territoris (conjunt de les divisions territorials existents i les relacions entre aquestes). Tractar la informació geomètrica del territori com a variables permet incorporar aspectes dels sistemes d'informació geogràfics (SIG) en el sistema d'informació (SI), en contraposició del que és habitual: incorporar la informació en el SIG.

Pel que fa al procés de càlcul, es mostra com aquest permet, primerament, definir un sol tipus de Variable, en què internament es poden distingir variables base i variables derivades i, segonament, disgregar els valors en diferents tipus (base, derivats, independents, agregats, etc.). Aquesta solució permet a l'investigador definir les seves variables, indicadors i índexs sense preocupar-se de si seran dependents o independents del model.

Per poder dur a terme el càlcul dels valors de les variables derivades, la tesi defineix una sintaxi per descriure el càlcul a realitzar, format per l'operació de càlcul a executar i per les variables que intervenen en l'operació. El procés es basa en l'execució dinàmica d'expressions, és un procés recursiu que a cada iteració té en compte el tipus de territori, els tipus de variables i el context d'execució, així com la gestió de l'emmagatzematge de valors. El càlcul es pot realitzar en temps real o no, a criteri de l'investigador.

Es mostren solucions per agregar valors de diferents tipus de variables, i com l'agregació prèvia de les variables que intervenen en el procediment de càlcul abans de la seva execució permet agregar variables amb definicions més complicades que simples sumes i mitjanes. Els valors poden ser de diversos tipus, inclòs els valors vectorials (multipunts, multlínies i multipolígons).

Els models conceptuals permeten compartir la definició de les variables i utilitzar les mateixes dades, introduint cadascun els seus judicis de valor de forma transparent. Els models estan constituïts per àrees conceptuals que classifiquen variables i per criteris de sostenibilitat que fixen els valors de referència del model. Els criteris de sostenibilitat són els 'encarregats' de relacionar variables amb les àrees conceptuals i els valors de referència.

Finalment l'investigador pot estudiar diferents escenaris ja que es poden tenir més d'un valor d'una variable en un mateix territori i data sempre que siguin de fonts de dades diferents. Si varia la prioritat de les fonts de dades l'investigador pot usar combinacions de dades diferents.

**Conclusions d'avaluació.** En el desenvolupament vertical del prototip s'han incentivat els processos de càlcul de valors en temps real, la integració de models conceptuals, la integració de valors numèrics, text i geometries multipolígon, la utilització d'estructures territorials RDF, la generació de mapes temàtics i sèries temporals i l'accés remot al sistema amb navegador.

El desenvolupament del prototip i les seves implementacions mostra com la base d'informació i els processos s'adapten a dades reals de diferents organitzacions territorials, aleshores es pot usar processos d'alta massiva. El temps de resposta del càlcul de variables és proporcional a la profunditat del càlcul (nombre de variables derivades concatenades recursivament) amb uns temps d'espera raonables tenint en compte el nombre de dades i càlculs que es demanen al sistema. L'ús de la memòria intermèdia de càlcul facilita el treball interactiu.

Els casos pràctics han permès corroborar que el mètode dissenyat per càlculs de variables derivades del sistema és factible i versàtil, ja que ha admès introduir diferents tipus d'equacions, valors de referència i condicionants en el càlcul, alhora que es podien adaptar als objectius o visions de diversos models conceptuals i a projectes reals de recerca.

Finalment, cal apuntar que s'ha assolit l'objectiu de validar la proposta mitjançant prototips desenvolupats utilitzant exclusivament software lliure.

## 6.1 Continuació de la recerca

La presentació d'una tesi és el punt d'inici de nous processos de recerca en què s'obren camins per portar a terme noves recerques conceptuals i pràctiques. Tot seguit n'apuntem algunes.

- Abans de la presentació de la tesi per fer un estudi de sostenibilitat s'havia de decidir si s'usava un model conceptual o un altre. Arran de la tesi, s'ha constatat que és possible treballar emprant diversos models alhora, i ara sorgeixen noves preguntes: Per què no es poden amalgamar (amalgamar, entrecreuar, mesclar) models conceptuals? És possible crear un super-model conceptual?
- La comparació entre territoris és bàsica per avaluar la sostenibilitat. És probable compartir dades entre grups de recerca que estan estudiant altres territoris? És factible descriure semànticament els models conceptuals, el territori i les variables? És possible exposar semànticament a internet el sistema d'informació?
- Quins són els fluxos de treball involucrats durant el procés de recerca dels estudis de sostenibilitat? Es poden integrar diferents fluxos de treball en el sistema? Aquests fluxos de treball es poden compartir?
- Es pot millorar la mesura de la sostenibilitat? Es poden comparar models conceptuals? Quins indicadors s'usen? Què aporten? Com varien amb escales territorials diferents? I en àmbits culturals diversos?

Tot seguit passo a exposar algunes qüestions més de caire pràctic que es poden investigar:

- Quant a la base d'informació, resultaria interessant que s'estudiés la introducció de noves escales temporals complementàries a l'annual (estacional, mensual, etc.) i caldria analitzar com es poden introduir valors base per a subdivisions territorials superiors a la base, de manera que si falten dades d'algun territori base, aquestes es puguin emprar directament sense necessitat d'afegir valors parcials.
- Desenvolupament de mètodes per crear interfícies entre les dades del sistema *bofree* i altres aplicacions de recerca com dinàmica de sistemes, modelització basada en agents, etc.
- En el prototip desenvolupat es poden utilitzar funcions de Python, NumPy i SciPy. És necessari que s'estudiï la possibilitat d'ampliar dinàmicament aquesta llista, perquè l'usuari pugui importar altres paquets com ara el paquet estadístic R.
- Ampliació de les opcions visualització i generació d'informes per mitjà d'eines com ara Sagemath o Python Notebook, o bé, les que ofereix Google.<sup>20</sup>
- Cal facilitar la introducció d'expressions de càlcul, per tal que les variables de l'operació de càlcul es puguin escollir interactivament entre les variables definides en el sistema i un procediment faci l'escriptura en la sintaxi definida.

---

<sup>20</sup><http://www.sagemath.org/>, <http://code.google.com/intl/ca/apis/chart/>.

S'ha presentat una versió beta de Python notebook a la Conferència de EuroScipy 2011: <http://www.euroscipy.org/conference/euroscipy2011>



## 7 Referències

### Referències

#### Bibliografia

- Altwegg, David, Irene Roth, i Andrea Scheller (2004). *Monitoring Sustainable Development. MONET. Final Report – Methods and Results*. Inf. tèc. Swiss Federal Statistical Office (SFSO).
- Antequera, Josep (2005). “Sostenibilidad y desarrollo sostenible. Un modelo por construir.” En: *Sostenible?* 7, 133–160.
- Barjak, Franz (2003). *SIBIS New eEurope Indicator Handbook*. Ed. per SIBIS project. European Commission.
- Benini, Lorenzo i col. (2010). “Assessment of land use changes through an indicator-based approach: A case study from the Lamone river basin in Northern Italy”. En: *Ecological Indicators* 10.1. Landscape Assessment for Sustainable Planning, pàgs. 4–14. ISSN: 1470-160X. DOI: DOI: ;10.1016/j.ecolind.2009.03.016.
- Berners-Lee, Tim, James Hendler, i Ora Lassila (2001). “The Semantic Web”. En: *Scientific American Magazine*.
- Boehm i B (1986). “A spiral model of software development and enhancement”. En: *SIGSOFT Softw. Eng. Notes* 11 (4), pàgs. 14–24. ISSN: 0163-5948. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/12944.12948>.
- Bossel, Hartmut (1999). *Indicators for Sustainable Development: Theory and Method and Applications*. Winnipeg, Manitoba, i Canada: International Institute for Sustainable Development.
- Böhringer, Christoph i Patrick Jochem (2006). “Measuring the immeasurable : a survey of sustainability indices”. En: *ZEW Discussion Papers* 06-73.
- Caratti, Pietro i Ludovico Ferraguto (oct. 2006). *Sustainable Development Data Availability on the Internet*. Working Papers 2006.125. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Checkland, Peter i Sue Holwell (1998). *Information, Systems and Information Systems: making sense of the field*. Wiley.
- Ewert, Frank i col. (2006). “Multi-scale analysis and modelling of natural resource management options”. En: *iEMSS Third Biennial Meeting: “Summit on Environmental Modelling and Software”*. (CD ROM. Internet:<http://www.iemss.org/iemss2006/sessions/all.html>). International Environmental Modelling i Software Society. Burlington i USA.
- Felipe, J J. (Ed.) i col. (2008). *Informe de Sostenibilitat a Catalunya 2006*. Inf. tèc. Generalitat de Catalunya (DMAH).
- Funtowicz, Silvio O. i Jerome R. Ravetz (1993). “Science for the post-normal age”. En: *Futures* 25.7, pàgs. 739 –755. ISSN: 0016-3287. DOI: DOI: 10.1016/0016-3287(93)90022-L.
- Gallopín, Gilberto (oct. 2006). “Los indicadores de desarrollo sostenible aspectos conceptuales”. En: *Seminario de Expertos sobre Indicadores de Sostenibilidad en la Formulación y Seguimiento de Políticas*. Santiago de Chile: FODEPAL.
- Gallopín, Gilberto Carlos i col. (1997). “Sustainability Indicators. Report on Indicators of Sustainable Development.” En: ed. per Bedrich Moldan i Suzanne Billharz. Vol. 58. Scientific Committee On Problems of the Environment (SCOPE). Wiley. Cap. Indicators and their Use: Information for Decision-making.
- García, Rolando (2006). *Sistemas Complejos. Conceptos and métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa. ISBN: 9497841646.

- Grayson, Rodger i Günter Blöschl (2000). *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Cambridge University Press.
- Gruber, Thomas R. (1993). "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications". En: *Knowledge Acquisition* 5.2, pàgs. 199–220.
- Gruber, Tom (2009). *Encyclopedia of Database Systems*. Ed. per Ling Liu i M. Tamer Özsu (Eds.) Springer-Verlag.
- Hammond, Allen i col. (1995). *Environmental Indicators. A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Inf. tèc. World Resources Institute.
- Hayes, Jonathan (2004). "A Graph Model for RDF". Tesis doct. Technische Universität Darmstadt i Universidad de Chile.
- Holt, Jon (2004). *UML for Systems Engineering: watching the wheels*. London: The Institution of Electrical Engineers. ISBN: 0-86341-354-4.
- Horsburgh, J. S. i col. (2008). "A relational model for environmental and water resources data." En: *WATER RESOURCES RESEARCH* 44, pàg. 12. DOI: 10.1029/2007WR006392.
- Horsburgh, Jeffery S. i col. (2009). "An integrated system for publishing environmental observations data". En: *Environmental Modelling & Software* 24.8, 879–888. ISSN: 1364-8152. DOI: DOI ; 10.1016/j.envsoft.2009.01.002.
- Hung, Vu, Boualem Benatallah, i Regis Saint-Paul (2011). "Spreadsheet-based complex data transformation". En: *Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management*.
- Isakowitz, Tomás, Shimon Schocken, i Henry C. Lucas Jr. (1995). "Toward a logical/physical theory of spreadsheet modeling". En: *ACM Trans. Inf. Syst.* 13, pàgs. 1–37.
- ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes* (2008). International Organization for Standardization.
- Ittersum, Martin van i col. (2005). "Integrated assessment of agricultural and environmental policies – towards a computerized framework for the EU (SEAMLESS-IF)". En: *iEMs Third Biennial Meeting: "Summit on Environmental Modelling and Software"*. International Environmental Modelling i Software Society. Burlington i USA.
- Janssen, Sander i col. (2009). "A database for integrated assessment of European agricultural systems". En: *Environmental Science & Policy* In Press and Corrected Proof, -. ISSN: 1462-9011. DOI: DOI ; 10.1016/j.envsci.2009.01.007.
- JTS Topology Suite* (2003). Inf. tèc. Vivid Solutions Inc.
- Langmead, Olivia i col. (2009). "Recovery or decline of the northwestern Black Sea: A societal choice revealed by socio-ecological modelling". En: *Ecological Modelling* 220.21. Selected Papers from the Sixth European Conference on Ecological Modelling - ECEM '07 and on Challenges for ecological modelling in a changing world: Global Changes and Sustainability and Ecosystem Based Management and November 27-30 and 2007 and Trieste and Italy, 2927–2939. ISSN: 0304-3800. DOI: DOI ; 10.1016/j.ecolmodel.2008.09.011.
- Larman i col. (2003). "Iterative and incremental developments. a brief history". En: *Computer* 36.6, pàgs. 47–56. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2003.1204375.
- Meadows, Donella (1998). *Indicators and Information Systems for Sustainable Development*. PO Box 174 i Hartland Four Corners VT 05049: The Sustainability Institute.
- Meadows, Donella H. i col. (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books.

- Montmollin, Andre De i Andrea Scheller (2007). “MONET indicator system: the Swiss road to measuring sustainable development”. En: *International Journal of Sustainable Development* 10.1, 61–72.
- Morin, Edgar (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Ed. per Gedisa. Barcelona.
- (2005). *Restricted complexity and general complexity*. Intelligence de la complexité: épistémologie et pragmatique and Cerisy-La Salle and Paris.
- Nathan, Hippu Salk Kristle i Sudhakara Reddy (2008). *A conceptual framework for development of sustainable development indicators*. Indira Gandhi Institute of Development Research and Mumbai Working Papers 003. Mumbai i India: Indira Gandhi Institute of Development Research.
- Ness, Barry, Stefan Anderberg, i Lennart Olsson (2010). “Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework”. En: *Geoforum* 41.3, 479–488. ISSN: 0016-7185. DOI: DOI : ; 10 . 1 016/j . geoforum . 2009 . 12 . 005.
- Nielsen, Jakob (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press.
- OCDE (1993). *Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews*. Inf. tèc. OCDE.
- Olivé, Antoni (2007). *Conceptual Modeling of Information Systems*. Springer. ISBN: 978-3-540-39389-4.
- Osborne, Leon i col. (2005). *Clarus: Concept of Operations*. Inf. tèc. U.S. Department of Transportation Federal Highway.
- Oxley, T. i col. (2004). “Integrated modelling and decision-support tools: a Mediterranean example”. En: *Environmental Modelling & Software* 19, 999–1010.
- Parris, Thomas M. i Robert W. Kates (2003). “Characterizing and measuring sustainable development”. En: *Annual Review of Environment and Resources* 28, pàgs. 559–586.
- Penrose, Roger (2006). *El camino a la realidad*. Ed. per Editorial Debate.
- Reenskaug, Trygve (1979). *MODELS - VIEWS - CONTROLLERS*. Inf. tèc. Xerox Parc.
- Rios Osorio, Leonardo A., Manuel Ortiz Lobato, i Xavier Álvarez Del Castillo (dec. 2005). “Debates on Sustainable Development: Towards a Holistic View of Reality”. En: *Environment and Development and Sustainability* 7.4, 501–518. ISSN: 1387-585X.
- Rizzoli i col. (2009). *Updated version of final design and of the architecture of SEAMLESS-IF*. Report 47. SEAMLESS integrated project i EU 6th Framework Programme.
- Rizzoli, A.E. i col. (2005). *Overall architectural design of SeamFrame*. Report 7. SEAMLESS integrated project i EU 6th Framework Programme.
- Rosas, Martí (2010). “Sistèmica i Complexitat”. En: *Seminaris de la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat de la UPC*.
- Royce i Winston (1970). “Managing the Development of Large Software Systems”. En: *Proceedings of IEEE WESCON*.
- Ryden(Editor), Keith (2005). *OpenGIS® Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access. V 1.1*. Inf. tèc. Open Geospatial Consortium i Inc.
- Sachs, Wolfgang (1992). *The Development dictionary : a guide to knowledge as power*. Ed. per Wolfgang Sachs. Zed Books.
- (1999). *Planet dialectics : explorations in environment and development*. Ed. per Nova Scotia Halifax. Zed Books.
- Smeets, Edith i Rob Weterings (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*. Inf. tèc. 25. European Environment Agency.
- Stahel, Andri W. (2010). “Els models de desenvolupament”. En: *Seminaris de la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat de la UPC*.

- Strobl, Christian (2008). “Dimensionally Extended Nine-Intersection Model (DE-9IM)”. En: *Encyclopedia of GIS*, 240–245.
- Sureda, Bàrbara (jul. 2007). “Proposta metodològica per a l’anàlisi de la sostenibilitat and utilitzant indicadors i índexs and implementats i analitzats amb una eina de suport al raonament. Cas d’estudi: municipi de Terrassa”. Tesi de lic. Universitat Politècnica de Catalunya.
- United Nations (UN) (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. 3rd ed.
- Vehmas, Jarmo i col. (2008). *Demonstration – example for each of the DECOIN tools. Deliverable 4 and WP 2*. Inf. tèc. SMILE fp7 project.
- Winograd, Manuel i Andrew Farrow (2004). “Sustainable Development Indicators for Decision Making: Concepts and Methods and Definition and Use”. En: *DIMENSIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- World Commission on Environment and Development (1987). *Our common future*. Oxford ; New York : Oxford University Press.
- WSIS, Civil Society Declaration (2003). *Shaping Information Societies for Human Needs*. Inf. tèc. Geneve: World Summit on the Information Society.
- Yukalov, V.I., E.P. Yukalova, i D. Sornette (2009). “Punctuated Evolution due to Delayed Carrying Capacity”. En: *Physica D: Nonlinear Phenomena* 238.17, pàgs. 1752–1767. DOI: DOI: 10.1016/j.physd.2009.05.011.

## Referències en línia

- Antequera, Josep (2009). *Los Observatorios de Sustentabilidad como centros guía para la implementación de estrategias de sustentabilidad local y regional y potenciado de sinergias entre actores sociales*. URL: <http://www.scribd.com/doc/19493104/Josep-Antequera-Los-Observatorios-de-Sustentabilidad-como-centros-guia-para-la-implementacion-de-estrategias-de-sustentabilidad-local-y-regional-y-p>.
- Beck, Kent i col. (2001). *Manifesto for Agile Software Development*. Agile Alliance. URL: <http://agilemanifesto.org>.
- Bofill, Jordi (2004). *Programari Lliure com a eina per al Desenvolupament Sostenible*. URL: <ftp://147.83.30.101/pub/reports/DAC/2004/UPC-DAC-2004-42.pdf>.
- Brandl, Georg (2011). *Sphinx. Python Document Generator*. URL: <http://sphinx.pocoo.org>.
- BV, TIOBE Software (2011). *TIOBE Index*. URL: <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci>.
- Catalunya, Institut d’Estadística de (2011). *Estadística Oficial de Catalunya*. URL: <http://www.idescat.cat/>.
- Centre per a la Sostenibilitat Territorial de Girona (2009). URL: <http://www.centresostenibilitat.cat/>.
- CGSSD, Consultative Group on Sustainable Development Indicators (2002). *Dashboard of Sustainability*. URL: <http://es1.jrc.it/envind/dashbrds.htm>.
- Cloford.com (2011). *Country Codes*. URL: <http://cloford.com/resources/codes/index.htm>.
- Comisión Especializada de Nombres Geográficos (2009). *El valor de los nombres geográficos*. Consejo Superior Geográfico. URL: <http://www.ucm.es/info/toponim/FolletoCENG.pdf>.
- CUAHSI-HIS (2011a). *CUAHSI Hydrologic Information System*. URL: <http://his.cuahsi.org>.
- (2011b). *Observations Data Model (ODM)*. URL: <http://his.cuahsi.org/odmdatabases.html>.

Django i core team (2011). *Django: A Web framework for the Python programming language*. URL: <https://www.djangoproject.com/>.

Flanders Marine Institute (2011). *VLIZ Maritime Boundaries Geodatabase*.

Fonseca, Alcides (2011). *RDFlib*. URL: <https://github.com/alcides/rdfliib>.

Furieri, Alessandro (2011). *Spatialite*. URL: <http://www.gaia-gis.it/spatialite/>.

GNU Project (2011). *Various Licenses and Comments about Them*. URL: <http://www.gnu.org/licenses/license-list.html#GPLCompatibleLicenses>.

GNU Project i Linus Torvalds i molts altres (2011). *GNU/Linux*. URL: <http://www.kernel.org/>.

Google (2010). *DSPL: Dataset Publishing Language*. URL: <http://code.google.com/intl/ca/apis/publicdata/>.

— (2011). *Google Public Data Explorer*. URL: <http://www.google.com/publicdata/home>.

Hill, Benjamin "Mako" (2009). *Free Software Project Management HOWTO*. URL: <http://mako.cc/projects/howto/FreeSoftwareProjectManagement-HOWTO.html>.

Hipp, D. Richard (2011). *SQLite*. URL: <http://www.sqlite.org>.

Holovaty, Adrian i Jacob Kaplan-Moss (2008). *The Django Book*. URL: <http://www.djangobook.com>.

Hunter i John D. (2011). *Matplotlib: A 2D Graphics Environment*. URL: <http://matplotlib.sourceforge.net>.

Institut Cartogràfic de Catalunya (2010). URL: <http://www.icc.cat>.

Jones, Eric, Travis Oliphant, Pearu Peterson, i col. (2011–). *SciPy: Open source scientific tools for Python*. URL: <http://www.scipy.org/>.

jQuery team (2006). *jQuery*. URL: <http://jquery.com/>.

Khamsi, Mohamed Amine (1999). *Population Dynamics*. URL: <http://www.sosmath.com/diffeq/first/application/population/population.html>.

Krech, Daniel (2011). *RDFlib*. URL: <http://rdflib.net>.

LibreOffice (2011). *LibreOffice*. The Document Foundation. URL: <http://www.libreoffice.org>.

McCool, Robert (2011). *Apache HTTP Server*. URL: <http://httpd.apache.org/>.

Miller, Randy (2003). *Practical UML: A Hands-On Introduction for Developers*. URL: <http://edn.embarcadero.com/article/31863>.

Nacions Unides (2011). *UNdata*. URL: <http://data.un.org/>.

Obitko, Marek (2007). *Ontologies and Semantic Web*. URL: <http://obitko.com/tutorials/ontologies-semantic-web/>.

OpenLayers i Dev Team (2011). *OpenLayers. Open Source map viewing library*. URL: <http://openlayers.org/>.

OpenStreetMap contributors (2011). *Open Street Map*. URL: <http://www.openstreetmap.org>.

Python i Software Foundation (2010). *Python Programming Language*. URL: <http://www.python.org/>.

Sandvik, Bjorn (2011). *Thematic Mapping*. URL: <http://thematicmapping.org/>.

SDMX, Sponsors (2011). *Statistical Data and Metadata Exchange*. URL: <http://sdmx.org/>.

SEAMLESS (2009). *System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society*. URL: <http://www.seamless-ip.org/>.

SIBIS Consortium (2003). *Statistical Indicators Benchmarking the Information Society. "Information Society Programme" of the European Commission (IST-2000-26276)*. URL: <http://www.sibis-eu.org/>.

Spencer, Samuel (2011). *DSPL, SDMX and the future of Data*. URL: <http://www.kidstrythisathome.com/2011/02/dspl-sdmx-and-the-future-of-data/>.

- Tarboton, David (2005). *Review of proposed CUAHSI Hydrologic Information System Hydrologic Observations Data Model*. URL: <http://www.engineering.usu.edu/cee/faculty/dtarb/HydroObsDataModelReview.pdf>.
- Thinkmap i Inc (2011). *Visual Thesaurus*. URL: <http://www.visualthesaurus.com>.
- (UNCED), United Nations Conference on Environment and Development (1992). *Agenda 21: Earth Summit - The United Nations Programme of Action from Rio*. URL: <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>.
- UPC, Biblioteca (2011). *Revistes acadèmiques Sostenibilitat*. URL: <http://bibliotecnica.upc.edu/ARQUITECTURA-VALLES/content/revistes-academiques-sostenibilitat>.
- Vehmas(coord.), Jarmo (2011). *Synergies in Multi-scale Inter-Linkages of Eco-social systems. Projecte FP7. Ciències socioeconòmiques i humanitats*. Unio Europea. URL: <http://www.smile-fp7.eu>.
- W3C (2004a). *RDF Primer*. URL: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210>.
- (2004b). *Resource Description Framework (RDF)*. W3C. URL: <http://www.w3.org/RDF/>.
- W3C SWEO (2011). *Linking Open Data*. URL: <http://www.w3.org/wiki/SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData>.
- Wells, Don (2009). *Extreme Programming: A gentle introduction*. URL: <http://www.extremeprogramming.org/>.
- Wikipedia (2011). *Software prototyping*. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Software\\_prototyping](http://en.wikipedia.org/wiki/Software_prototyping).

## A Recull de definicions

**Variable** una variable és una forma d'agrupar un conjunt de valors.

**Variable base** és una *variable independent*, formada per un conjunt de valors que no és deriven o s'obtenen a partir d'altres valors. Són el *capta*: fets seleccionats o creats a partir d'una "configuració cognitiva" determinada.

**Variables criteri** valors de referència per a una variable en un model conceptual.

**Variable dependent** incorpora, directaement o indirectament, judicis de valor relacionats amb el model conceptual aplicat. El conjunt de valors d'una variable dependent poden ser diferents en funció del model conceptual aplicat.

**Variable deriva** s'obté de combinar una o més variables. Una variable derivada pot ser o una *variable derivada base* o una *variable derivada dependent*.

**Variable derivada base**, és una *variable independent*, s'obtenen del procés de combinar variables base, sense modificar l'esbiaix consensuat. Aquest procés no ha d'incorporar valors dependents del model conceptual.

**Variable derivada dependent** és una *variable derivada* que durant el procés incorpora alguna *variable criteri*.

**Variables independents** formades pel conjunt de valors en què hi ha un consens quant al fet que el biaix implícit en la selecció de les dades no té una influència significativa. Són independents del model conceptual i estan formades pel conjunt de *variables base* i *variables derivades base*.

**Valor** magnitud que pren una variable en un moment i per a una escala determinats.

**Valor agregat** resultat de combinar un conjunt de valors d'una mateixa escala per obtenir un valor d'una escala diferent.

**Valor agregat dependent** *valor agregat* que durant el procés d'agregació incorpora valors de *variables dependents*.

**Valor agregat independent** *valor agregat* que resulta de combinar únicament *valors independents*.

**Valor de referència** valor que serveix com a norma per comparar altres valors.

**Valors derivats** valors d'una *variable derivada*.

**Valors independents** són valors independents del model conceptual. Els valors de les *variables base* i les *variables base derivades* formen el conjunt de valors independents.

**Valors de referència** conjunt de valors d'una *variable criteri*.

## B Ampliació de fonaments teòrics i pràctics

Aquest annex recull les ampliacions d'alguns temes desenvolupats en la tesi.

En l'apartat B.1 es detallen les organitzacions relacionades amb la temàtica de la sostenibilitat relacionades en l'apartat 2.7.

L'apartat següent (B.2) es fa un recull de les metodologies i models més destacades per dur a terme el desenvolupament d'aplicacions i prototips, entre els quals hi ha l'Agile Programming utilitzat en el desenvolupament de l'aplicació pràctica i del prototip (vegeu l'apartat 5.1).

En quant l'apartat B.3, s'exposa el model vectorial de l'SIG, el sistema espacial de referència i els tipus de geometries definides, així com les relacions i operacions entre elles. Aquestes definicions són bàsiques per incloure capacitats geogràfiques en el disseny de la base d'informació i operacions geomètriques en el mètode de càlcul. En aquest apartat també es mostra la pèrdua de resolució dels mapes temàtics de l'aplicació pràctica en funció dels ratis de reducció de punts.

Els fonaments teòrics del la web semàntica i del protocol RDF necessaris per dur a terme el disseny del paquet Territori (vegeu apartat 4.2.1.2) s'expliquen en l'apartat B.4.

Finalment, en l'apartat B.5 hi ha un recull de termes utilitzats en la tesi en quant a la modelització d'aplicacions informàtiques .

### B.1 Organitzacions per a la sostenibilitat

En els darrers anys, les diferents institucions socials han vist la necessitat de crear organitzacions dedicades a la temàtica de la sostenibilitat. Es poden agrupar en tres tipus: internacionals, de l'entorn de les universitats i organitzacions locals i observatoris:

#### Internacionals

- United Nations University Institute for Sustainability and Peace<sup>21</sup>

Organització dedicada a l'educació i la recerca. La recerca la duu a terme en tres àmbits: canvi global i sostenibilitat, pau i seguretat i desenvolupament i cooperació internacional. Publica la revista *Sustainability Science*<sup>22</sup> conjuntament amb la Universitat de Tòquio i la Universitat de les Nacions Unides (UNU).

- Alliance for Global Sustainability<sup>23</sup>

Aliança de quatre universitats (ETH Zurich, MIT, The University of Tokyo, Chalmers University of Technology ). Promou la recerca interdisciplinària, en quatre àmbits: la sostenibilitat en el canvi demogràfic ràpid, futurs urbans, camins energètics i aliments i aigua.

- International Institute for Sustainable Development (IISD)

Promou el desenvolupament sostenible arreu del món a través de la innovació, les associacions, la recerca i les comunicacions. Entre d'altres, proporciona un compendi d'iniciatives de nous indicadors de DS que es van proposant a escala internacional, nacional i regional.

---

<sup>21</sup><http://isp.unu.edu>

<sup>22</sup><http://www.springerlink.com/content/1862-4065>

<sup>23</sup><http://theags.org>



## Entorn de les universitats

### Instituts i centres de recerca<sup>24</sup>

- EUA
  - The Sustainability Science Program is the hub of Harvard’s research, teaching, and interventions on the challenges of sustainable development.<sup>25</sup>
  - Global Institute of Sustainability at Arizona State University. Aquest institut catalitza els avenços en recerca interdisciplinària i educació sobre el medi ambient, l’economia i la sostenibilitat social. Reuneix científics, científics socials, enginyers, el govern i els líders de la indústria per compartir coneixements i desenvolupar solucions per als problemes reals del món global.<sup>26</sup>
  - Institute for Sustainable Energy (Eastern Connecticut State University). Aquest institut se centra en les qüestions relatives a l’educació energètica, la política energètica, l’eficiència energètica, la conservació d’energia i gestió de la càrrega, les energies renovables, la generació distribuïda, la protecció dels recursos ambientals i la difusió d’informació útil sobre alternatives energètiques i sostenibilitat entre els usuaris i els proveïdors d’energia. Aquest institut afegeix un plantejament imparcial i se centra en les aplicacions pràctiques i la difusió d’informació sobre com millorar el perfil energètic i la sostenibilitat de Connecticut i la regió.<sup>27</sup>
- Austràlia
  - Institute for Sustainability and Technology Policy (Murdoch University). L’Institute for Sustainability and Technology Policy es dedica a la recerca i l’acció interdisciplinàries en l’estudi de la sostenibilitat, la planificació i la innovació. L’ISTP es va establir el 1988 per promoure una millor comprensió de les funcions i els efectes de la ciència i la tecnologia en benefici de tots els sectors de la societat. La investigació de l’ISTP se centra en la integració de la política per crear una millor economia i un entorn i una societat més justos i participatius.<sup>28</sup>
  - Institute of Sustainability and Innovation (Victoria University). Fomenta la recerca, l’educació i la formació en el desenvolupament sostenible i la gestió dels recursos. La Victoria University reconeix la importància del desenvolupament sostenible i la innovació i la necessitat de protegir tant el medi ambient local com el mundial. La universitat està compromesa a utilitzar la seva posició com una de les principals institucions educatives per millorar el coneixement del medi ambient, les pràctiques i polítiques. Aquest institut està fortament posicionat per satisfer les necessitats de la indústria, les empreses i la comunitat.<sup>29</sup>

- Europa

---

<sup>24</sup>La recopilació de les principals organitzacions universitàries s’ha basat en la informació recollida durant els treballs d’anàlisi previs a la creació de l’Institut Universitari de Recerca en Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat de la UPC.

No inclou els instituts que tenen com a missió principal el medi ambient, com ara Stockholm Resilience Centre (Stockholm University), Centre for the Study of Environmental Change and Sustainability (Edinburgh University), l’Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (Universitat Autònoma de Barcelona), etc.

També hi ha nombrosos grups de recerca (per exemple, a la UPC hi ha uns 4 o 5).

<sup>25</sup><http://www.hks.harvard.edu/centers/cid/programs/sustsci>

<sup>26</sup><http://sustainability.asu.edu>

<sup>27</sup><http://www.easternct.edu/sustainableenergy/>

<sup>28</sup><http://www.istp.murdoch.edu.au/>

<sup>29</sup><http://isi.vu.edu.au/>

- Centre for Sustainable Development at Cambridge University Engineering Department.<sup>30</sup>
  - Institute for Sustainability, Energy and Environmental Management (Cardiff University). Es tracta d'un grup de recerca multidisciplinari format per el Geoenvironmental Research Centre i l'Hydro-environmental Research Centre.<sup>31</sup>
- Japó
    - Institute of Sustainability Science (Kyoto University). Aquest institut és un dels grups més nous al campus d'Uji. Es va iniciar l'abril del 2006 com una unitat de recerca conjunta dels quatre instituts de recerca del campus Uji (Institute for Chemical Research, Institute of Advanced Energy, Research Institute for Sustainable Humanosphere, and Disaster Prevention Research Institutes) i el Center of Southeast Asian Studies. L'objectiu de l'organització és incubar la “ciència per a la societat”, les llavors que participaran de prop i àmpliament en la sostenibilitat humana i les llavors de frontier science que nodreixen els joves investigadors i que assumiran un paper vital en el futur dels científics i del Japó. Aquest institut no està vinculat al sistema educatiu convencional, sinó que més aviat és un institut d'investigació flexible que: (1) crea un punt de contacte estratègic entre els diferents camps; (2) promou la integració creativa de la investigació, i (3) sintetitza la recerca avançada en diversos camps.<sup>32</sup>

### **Organitzacions locals i regionals. Observatoris**

- Observatorio de Sostenibilidad de España. L'OSE té com a missió estimular el canvi social cap a la sostenibilitat mitjançant l'aportació de la millor informació disponible, que posa a disposició de la societat i dels processos de presa de decisions i de participació pública. Com a objectiu, l'OSE vol cobrir un buit informatiu per respondre a la necessitat objectiva d'avaluar de forma integrada els processos de desenvolupament sostenible, mitjançant la posada en marxa d'una capacitat tècnica independent basada en una metodologia d'indicadors, els resultats dels quals es posen a disposició de la societat amb l'objectiu d'aconseguir la projecció i la rellevància públiques més grans.<sup>33</sup>
- Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra. Té com a principal objectiu crear, en un espai interdisciplinari, de diàleg, crític i reflexiu, un debat entre els agents econòmics, socials, ambientals, polítics i institucionals de la societat andorrana sobre el model de creixement cap al qual es vol avançar, fent-ho a partir d'escenaris basats en la sostenibilitat del desenvolupament andorrà.<sup>34</sup>
- Observatori de Sostenibilitat de les Comarques Gironines. Centre per a la Sostenibilitat Territorial (CST). El CST té quatre projectes estratègics (Observatori, Escola del Territori, Xarxa Crítica i Iniciatives Econòmiques Territorialment Sostenibles).<sup>35</sup>
- Observatori Socioambiental de Menorca. L'observatori és un instrument de recollida i d'anàlisi d'informació d'àmbit local. Els seus objectius principals són el seguiment permanent de la sostenibilitat a

<sup>30</sup>[http://www-g.eng.cam.ac.uk/sustdev/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://www-g.eng.cam.ac.uk/sustdev/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1)

<sup>31</sup><http://www.engin.cf.ac.uk/research/resInstitute.asp?InstNo=4>

<sup>32</sup><http://iss.iae.kyoto-u.ac.jp/iss/eng/outline.html>

<sup>33</sup><http://www.sostenibilidad-es.org>

<sup>34</sup><http://www.obsa.ad/>

<sup>35</sup><http://www.fsostenibilitat.cat/> <http://centresostenibilitat.cat>

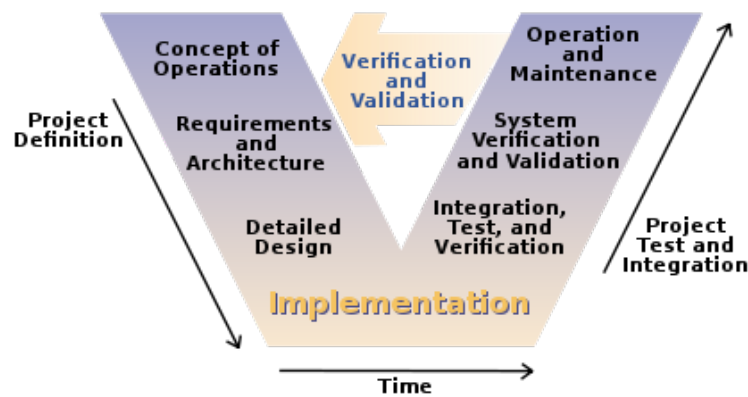


Figura 82: Model en V del procés desenvolupament de software. Font: (Osborne i col., 2005).

Menorca en tots els seus diversos vessants; l'assistència científica a les institucions públiques implicades en la gestió de la reserva de biosfera de Menorca, i la comunicació pública dels resultats d'aquest seguiment i la divulgació dels valors i els reptes de la reserva de biosfera.<sup>36</sup>

## B.2 Procés de desenvolupament de software

El cicle de vida del software està format pel conjunt de processos que intervenen des que sorgeix la necessitat de disposar d'un software fins que aquest és operatiu i està en manteniment. Segons l'estàndard ISO 12207 (*ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes* (2008)), els principals processos del cicle de vida del software són: adquisició, subministrament, desenvolupament, operació i manteniment.

Perquè es dugui a terme el procés de desenvolupament de software hi ha diverses metodologies i models. Entre els més destacats hi ha els següents:

**Model cascada o *waterfall*** Les diferents etapes del desenvolupament se succeeixen, una a continuació de l'anterior: anàlisi de requisits, disseny del sistema, disseny del programa, codificació, proves, instal·lació i, finalment, manteniment (Royce i Winston, 1970).

**Models iteratius i incrementals** El model *waterfall* va ser dels primers models que es van definir. Els models posteriors, que tot seguit descrivim, assumeixen que el desenvolupament de software és un procés complex, continu, iteratiu i repetitiu (Larman i col. (2003)). De forma general s'anomenen models de desenvolupament iteratius i incrementals. Són models cíclics en que les diferents etapes se succeeixen indefinidament i en que, a cada cicle, es produeix un increment o una millora en l'etapa corresponent.

**Model en V** És un model similar al model cascada, en què la diferència principal és que a partir de la implementació, el projecte passa per uns processos de verificació i validació que realimenten de les primeres etapes del projecte (figura 82).

<sup>36</sup><http://www.obsam.cat>

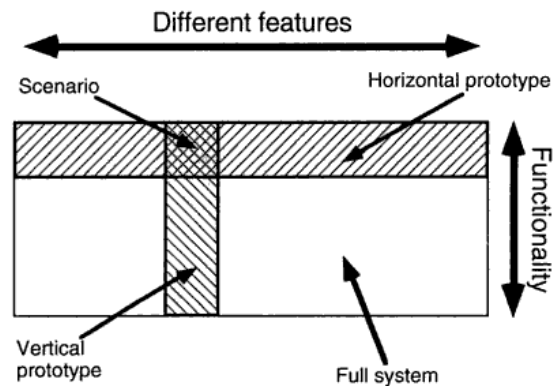


Figura 83: Les dues dimensions del prototipatge: el prototipatge manté les característiques però elimina la profunditat de les funcionalitats, i el prototipatge vertical proporciona totes les funcionalitats per a unes poques característiques. (Nielsen, 1993)

**Prototips de software** L'objectiu del procés de desenvolupament de prototips és disposar d'un model en funcionament en poc temps que permeti provar i avaluar alguns dels requeriments del sistema. Existeixen dues dimensions de prototips (figura 83) (Nielsen, 1993; Wikipedia, 2011):

- El prototip horitzontal, dóna una visió àmplia de com serà el sistema, o una part del sistema, enfocat més a la interacció del software amb l'usuari que a les funcionalitats internes de baix nivell, per exemple, accessos a la base de dades.
- El prototip vertical es basa en l'elaboració completa d'un sub-sistema o funcionalitat, amb avantatges com ara:
  - Disseny afinat de base de dades, si existeix.
  - Informació sobre rendiment i mida del sistema i les dades.
  - Aclariment dels requeriments complexos, incidint en les funcionalitats del sistema.

**Desenvolupament ràpid d'aplicacions** En aquesta metodologia la planificació del desenvolupament del software es redueix al mínim, cosa que afavoreix el desenvolupament ràpid de prototips. La falta de planificació prèvia permet escriure ràpidament el software i facilita canvis en els requeriments. Es basa en tècniques com ara el desenvolupament iteratiu i la creació de prototips software. En aquesta metodologia hi ha *Extreme Programming* (Wells, 2009, en línia) i *Agile Programming* (Beck i col., 2001, en línia). El darrer, per exemple, té els principis següents: individus i interaccions per sobre de processos i eines; programari que funciona per sobre de documentació exhaustiva; col·laboració amb el client per sobre de negociació de contractes, i resposta al canvi per sobre de cenyir-se a una planificació.

**Model espiral** Aquest model de desenvolupament combina les característiques del model de prototips amb les del model en cascada, però seguint una metodologia iterativa. Aquest model està enfocat a projectes grans, complicats i amb una inversió econòmica important (Boehm i B, 1986).

### Lliurament de versions.

El lliurament de versions de software, especialment en l'àmbit del software lliure, segueix unes nomenclatures i numeracions específiques. L'objectiu és permetre als desenvolupadors i als usuaris identificar els

diferents estadis de desenvolupament i diferenciar lliuraments dins d'un mateix estadi.

El lliurament d'un software que té totes les característiques i funcionalitats s'anomena *release*. Durant el desenvolupament, ja sigui entre diferents versions d'un software ja en funcionament o bé en la fase inicial de desenvolupament del producte, es poden fer lliuraments previs al definitiu. Aquests lliuraments previs tenen els noms següents (Hill, 2009, en línia):

*Pre-alpha*, el *release* està enfocat als desenvolupadors o usuaris avançats, per ensenyar o discutir el que s'ha desenvolupat fins al moment. També es pot anomenar *development releases*.

*Alpha*, el software disposa de totes les característiques, però possiblement només són funcionals algunes parts. Són lliuraments inestables (el programa pot donar avisos o pot deixar de funcionar), potser amb un lleuger grau d'inseguretat (hi ha cert risc sobre les dades o el treball fet durant l'ús), però es poden utilitzar.

*Beta*, el lliurament disposa de totes les característiques i funcionalitats, però està en la fase de proves, *testing*, i encara tindrà alguns errors per corregir. El software es pot utilitzar, pot tenir un cert grau d'inestabilitat, però es pot utilitzar amb seguretat.

*RC Release candidate*, versió definitiva que es lliurarà, tret que s'hi trobi algun error greu que n'aturi el procés.

Es recomana numerar les diferents versions lliurades. Un dels sistemes més utilitzats és estructurar el número de versió en tres nivells, amb el format XX.CC.PP (per exemple, 2.6.36), on cada nombra representa:

*Major* El software té canvis importants (XX).

*Minor* El software s'ha modificat parcialment, però l'estructura és bàsicament la mateixa (CC).

*Patch* Correcció d'errors (PP)

### B.3 Sistemes d'informació geogràfica

Un sistema d'informació geogràfica (SIG o GIS l'acrònim anglès) és un sistema informàtic capaç d'integrar, emmagatzemar, editar, analitzar, compartir i mostrar informació amb referències geogràfiques. De forma més genèrica, es tracta d'una eina a partir de la qual els usuaris poden fer consultes interactives (cerques definides per l'usuari), analitzar la informació espacial i editar-ne les dades (Wikipedia). Hi ha dos tipus de models de dades: ràster i vectorial. El tipus ràster és un model format per una matriu rectangular en què es desa el color per a cada punt o píxel; els colors o gammes de colors representen característiques geogràfiques diferents. En el model vectorial, les característiques geogràfiques es representen mitjançant objectes geomètrics com ara punts, línies o polígons.

L'estàndard *Simple Feature* de l'OGC (Open Geospatial Consortium) és un model vectorial que descriu l'arquitectura computacional de les característiques geomètriques simples: punt, corba, superfície i col·lecció geomètrica. Una geometria, en general, és simple quan no s'autointersecta. L'especificació *Simple Features for SQL* de l'OGC defineix a més els tipus multipunt, multilínies i multipolígons. La figura 84 mostra l'estructura jeràrquica dels tipus de geometries definides i la 85 exemples d'aquestes.

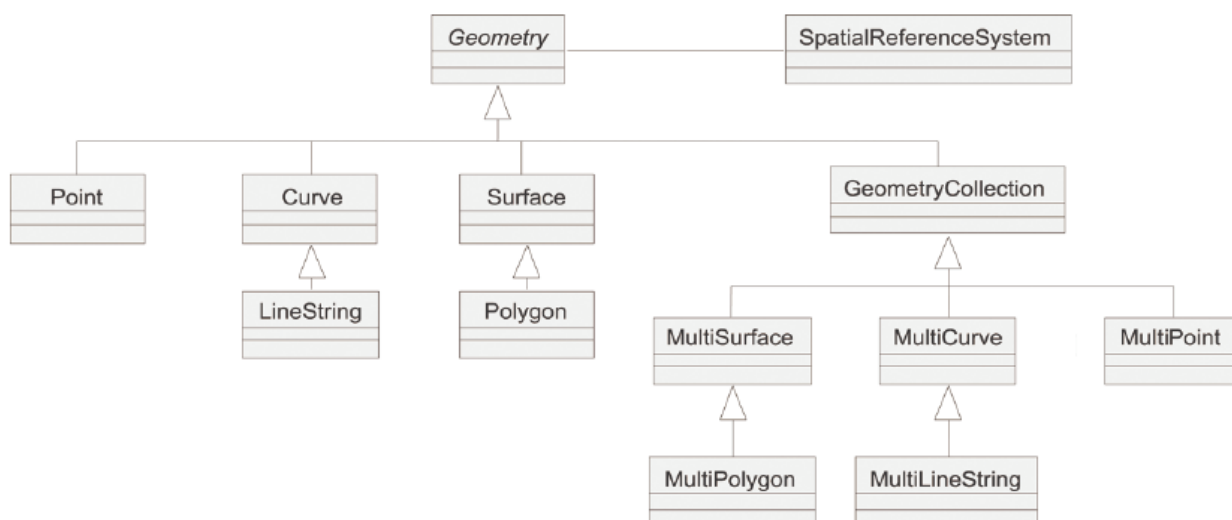


Figura 84: Estructura dels tipus de geometries definits per l'OGC. Font: Ryden(Editor) (2005).

Els objectes geomètrics han d'estar associats a un sistema espacial de referència que descriu el sistema de coordenades en què es defineix l'objecte. Aquest sistema espacial de referència és l'identificador SRID (*Spatial Reference System Identifier*). L'SRID identifica el *datum*, el *geoid*, el sistema de coordenades i la projecció. No es poden fer operacions espacials entre geometries que tenen diferents SRID sense dur a terme prèviament una transformació de coordenades a un sistema comú.

A més' de la transformació de les geometries entre diferents formats de representació o entre diferents sistemes de coordenades, les funcions que es poden aplicar a les dades espacials són:

- Relacions entre dues geometries.
- Accés a les propietats qualitatives o quantitatives d'una geometria.
- Creació de noves geometries a partir d'unes altres.

### B.3.1 Relacions entre dues geometries

El DE-9IM és el model teòric utilitzat per l'especificació *Simple Features for SQL* per determinar les relacions entre dos objectes espacials (Strobl, 2008). Cada objecte es defineix per:

- Frontera: la frontera (*boundary*) d'un objecte geomètric és el conjunt de geometries de la dimensió immediatament inferior. Per exemple, la frontera d'una línia són els dos punts extrems.
- Interior: punts de l'objecte que resten quan es retiren els punts frontera.
- Exterior: punt que no són frontera ni interiors.

A partir de cada tipus de geometria (punts, línies i polígons) i de les tres definicions anteriors, es construeix una matriu 3x3 per a cada parella d'objectes. A cada cel·la de la matriu se situa el valor numèric de la dimensió de la intersecció -1, 0, 1 o 2 (-1 significa que no existeix intersecció). Per exemple, l'encreuament d'un polígon A amb una línia B:

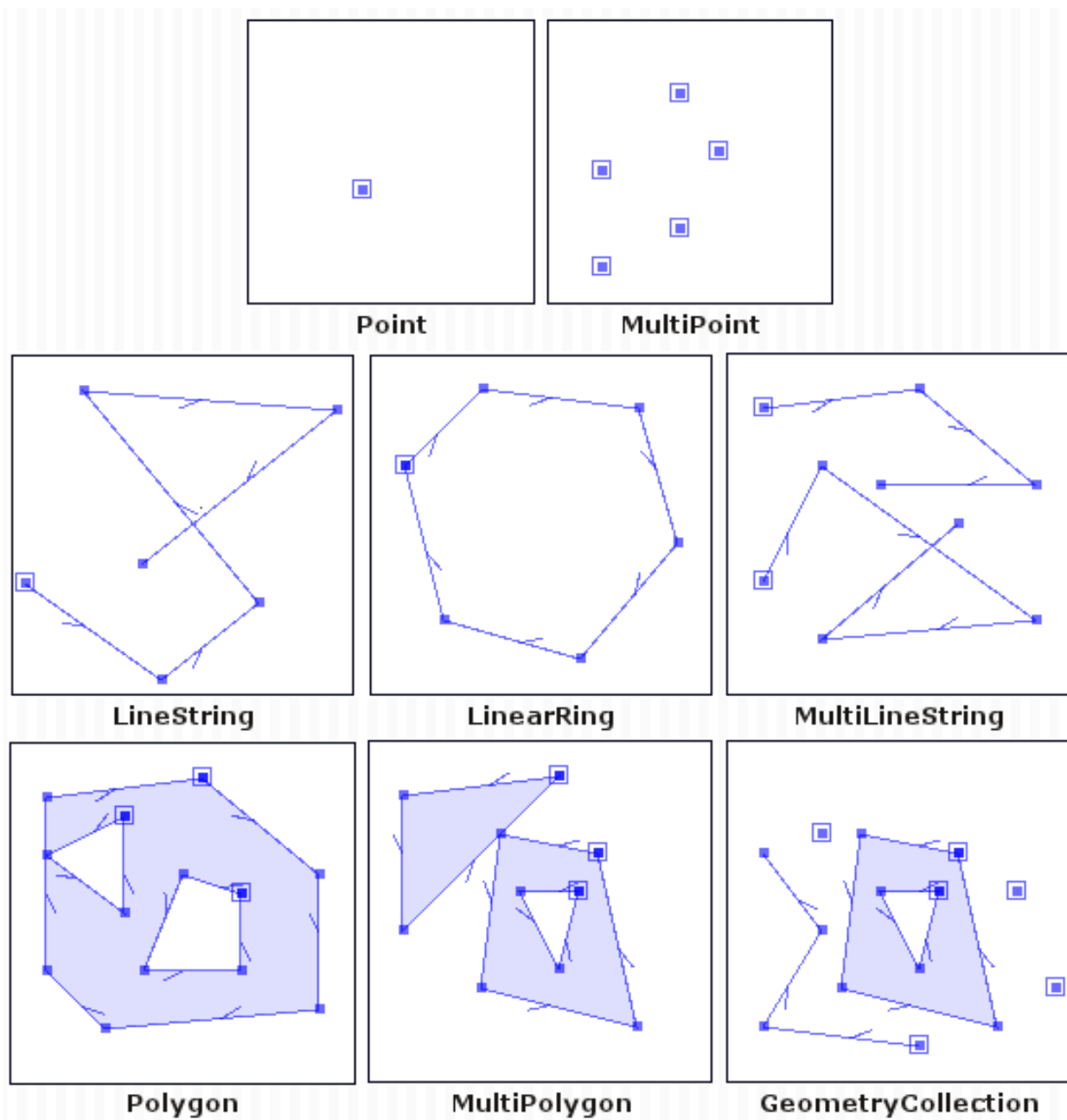
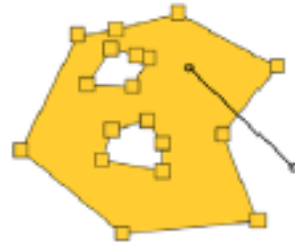


Figura 85: Exemples de dades geomètriques de característiques simples (*Simple Features*). Font: JTS Topology Suite (2003, en línia).



	Interior (B)	Frontera (B)	Exterior (B)
Interior (A)	1	0	2
Frontera (A)	0	-1	1
Exterior (A)	2	0	2

A partir d'aquest model s'obtenen els predicats topològics corresponents a: iguals, disjunts, intersecció, toca, creua, superposa, conté i "dins de" (oposat a conté).

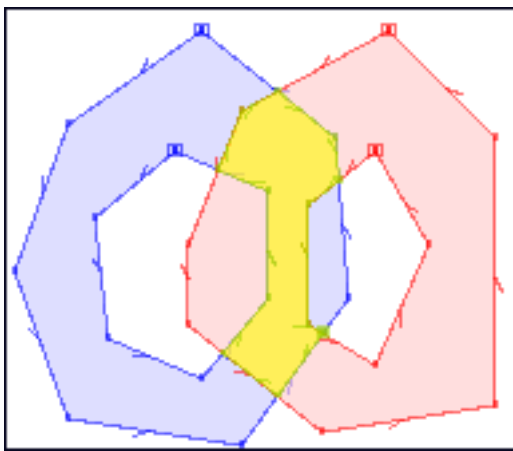
### B.3.2 Mètodes d'Anàlisi Espacial. Operacions entre geometries

Els mètodes d'anàlisi espacial són operacions entre dues geometries que donen lloc a una nova geometria. I són: intersecció, unió, diferència, diferència simètrica, envolupant convexa, *buffer* d'amplada positiva i *buffer* d'amplada negativa. A la figura 86 es mostra un exemple de cada operació entre dos polígons. Les operacions es poden fer entre geometries heterogènies; per exemple, entre multipunts i una línia, o entre un polígon i una línia.

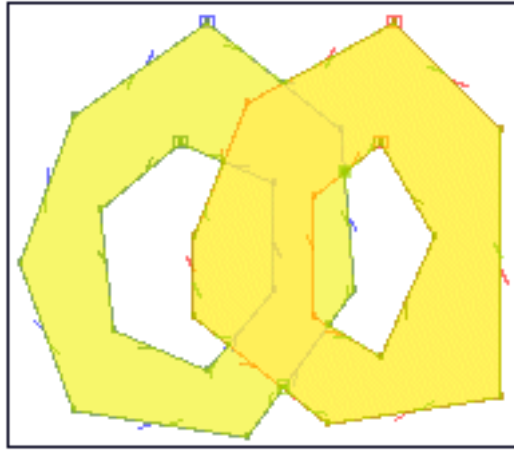
### B.3.3 Reducció del nombre de punts dels multipolígons dels mapes temàtics

A la taula següent es pot observar la pèrdua de resolució al aplicar diferents ratis de reducció al mapa temàtic. En la primera fila es mostra el mapa temàtic amb la resolució original dels polígons. En la tercera fila es pot observar, especialment al fer un zoom sobre alguna zona, com una poca disminució del nombre de punts (de 1021 a 791) pot provocar una important variació en la forma geomètrica dels polígons. En canvi, una reducció del 0,1 redueix el nombre de punts en una magnitud amb poca variació en la geometria dels polígons.

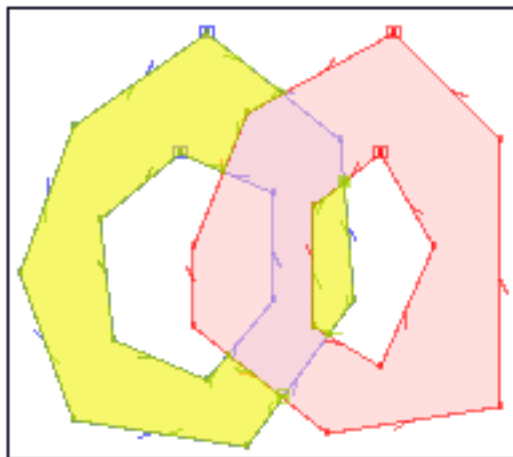




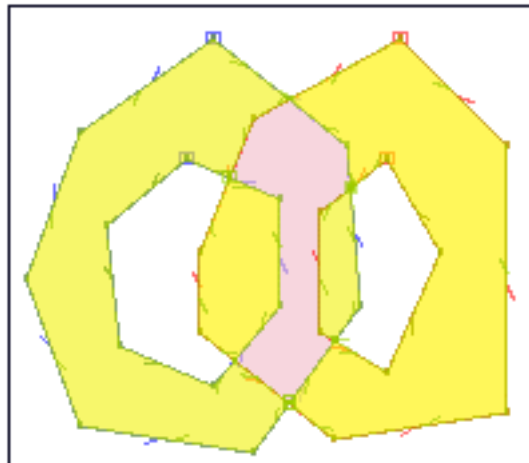
(a) Intersecció



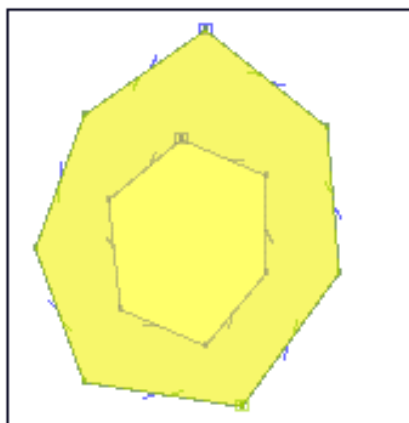
(b) Unió



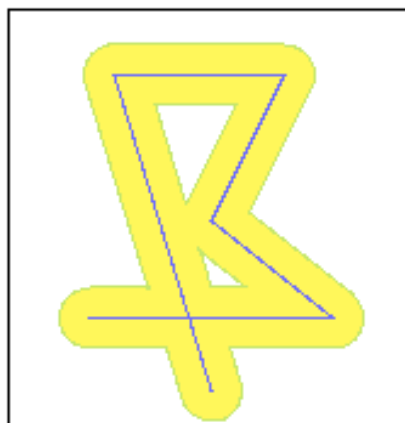
(c) Diferència



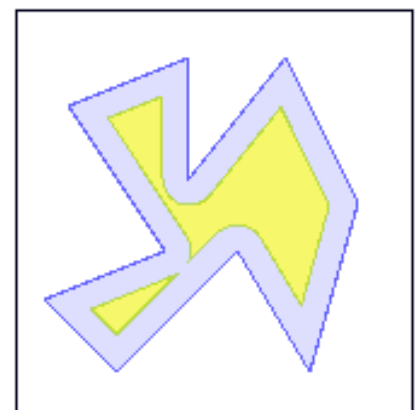
(d) Diferència simètrica



(e) Envolupant convexa (convex\_hull)

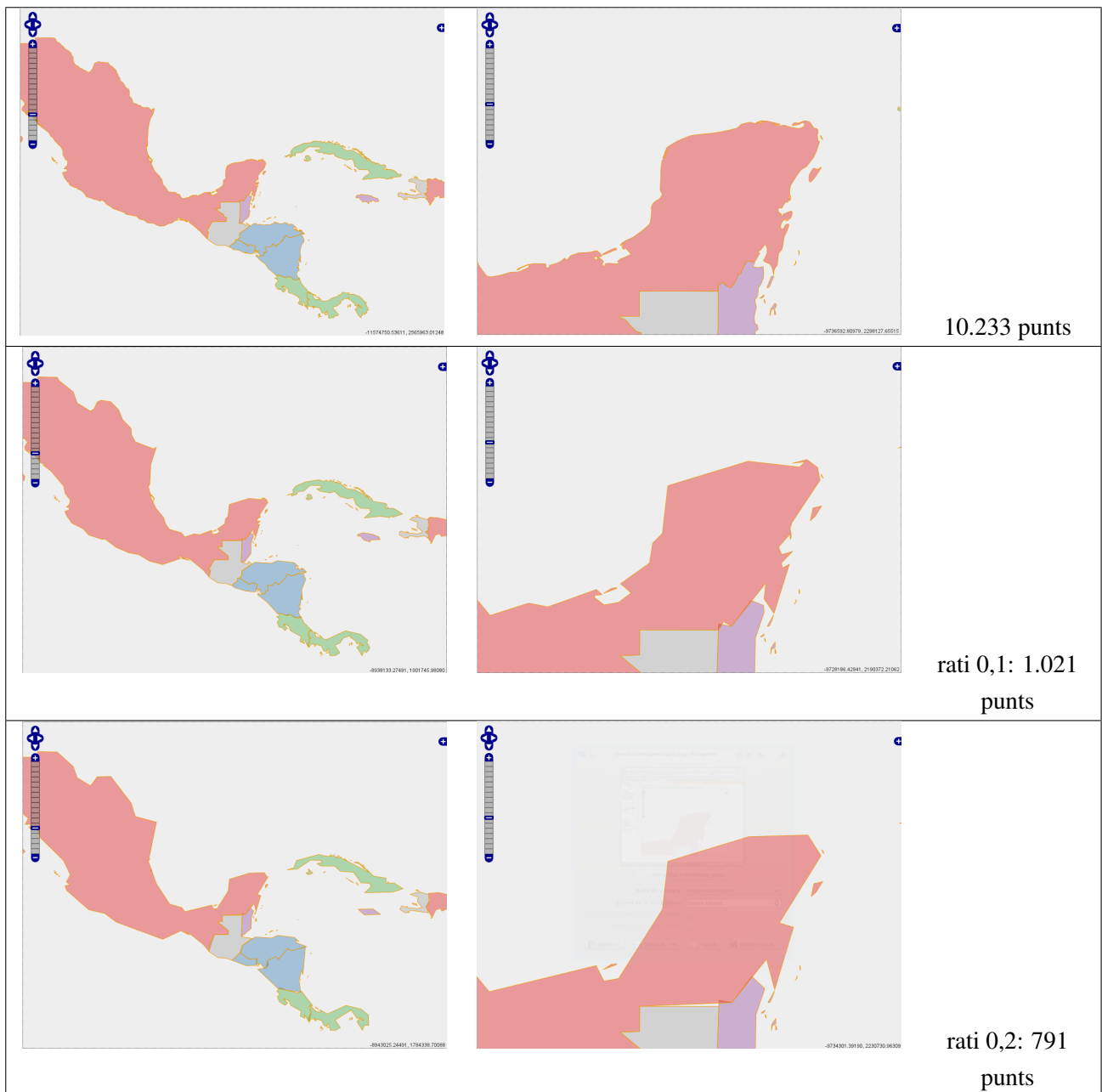


(f) Buffer amplada positiva



(g) Buffer amplada negativa

Figura 86: Operacions entre geometries. Font: *JTS Topology Suite* (2003)



## B.4 Web Semàntica. RDF

El World Wide Web Consortium (W3C) té un projecte en comunitat per enllaçar BDD i fer-les accessibles a internet. La idea subjacent és que la utilitat i el valor d'una dada augmenta amb el nombre d'enllaços que la connecten amb altres dades i que es pot utilitzar el web per crear aquests tipus d'enllaços entre dades de diferents fonts. Així, de la mateixa manera que els navegadors són capaços de seguir els enllaços dels documents publicats, els navegadors de dades serien capaços de seguir els enllaços de les fonts de dades. Bàsicament el web semàntic permet dues coses; en primer lloc, els programes poden “navegar” a través de dades reals, sense la necessitat de separar quina part de la informació no són dades (per exemple, el format d'una pàgina, figures o imatges) i, en segon lloc, les persones poden escriure les relacions entre diferents estructures de dades de forma intel·ligible per a una màquina (Berners-Lee, Hendler, i Lassila, 2001).

Les especificacions dels enllaços entre les dades es fan mitjançant el *Resource Description Framework* (RDF) (W3C, 2004b). A la figura 87 es pot veure la situació d'RDF a les capes d'estàndards i protocols del

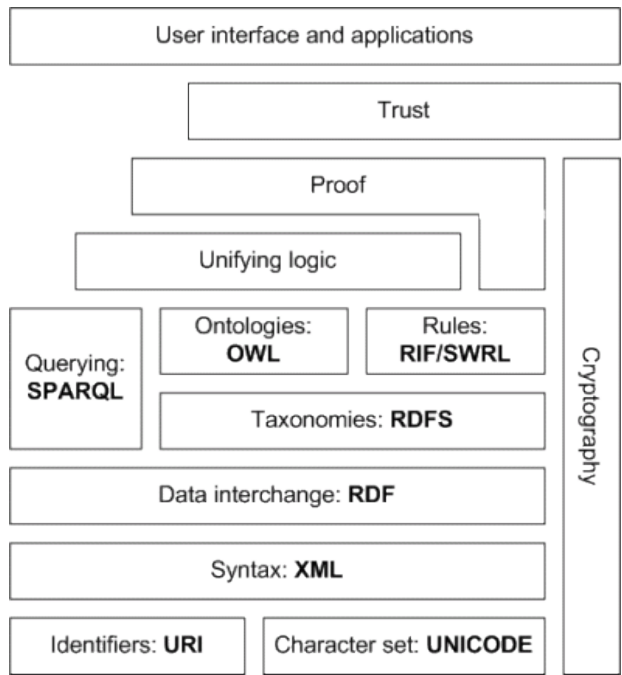
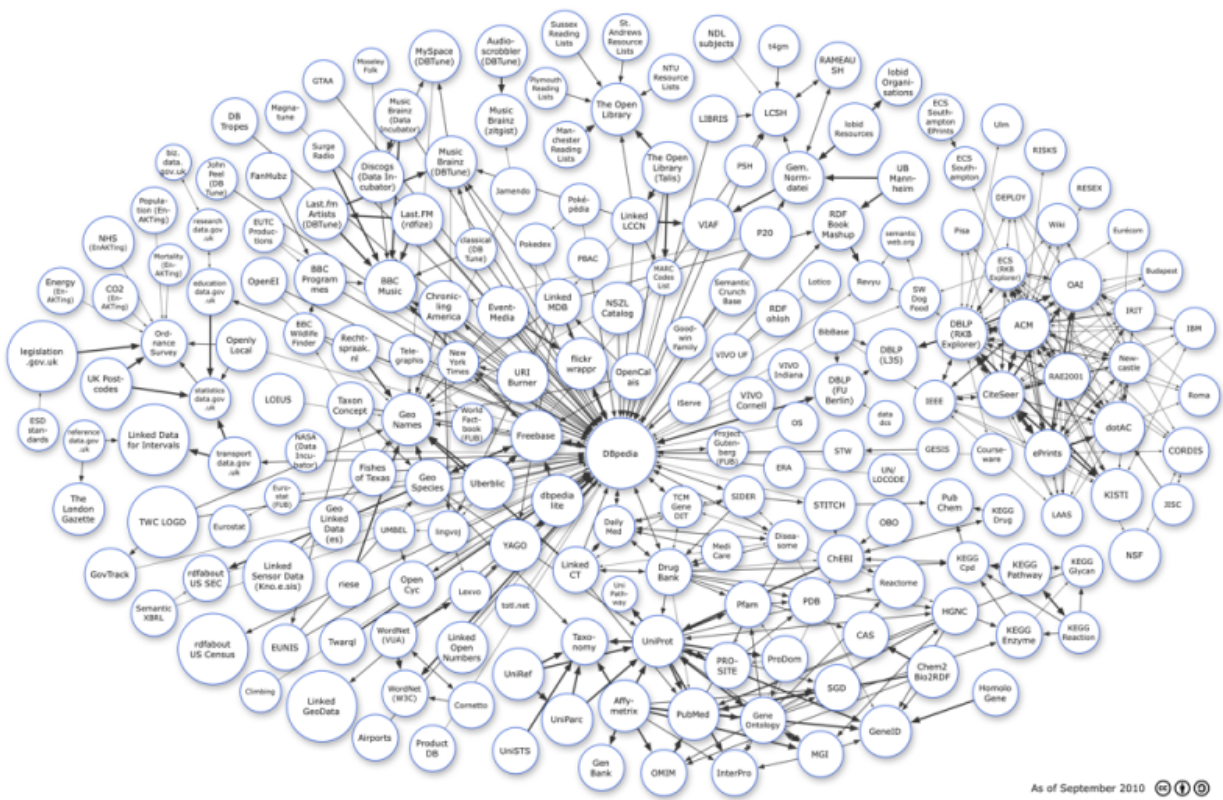


Figura 87: Capes de la web semàntica



As of September 2010

Figura 88: Enllaços RDF entre les dades de fonts de dades diferents

web semàntic (Obitko, 2007).

RDF s'utilitza com a format de dades; per exemple, Hayes (2004) en la seva tesi esmenta diversos projectes que utilitzen RDF com a format de dades, entre els quals hi ha:

- The Open Directory Project, directori del web, <http://dmoz.org/>.
- RDF en el navegador i el correu Mozilla, <http://www.mozilla.org/rdf/doc/>.
- Projecte “friend of a friend” (foaf), <http://www.foaf-project.org/>.
- Dublin Core Metadata Initiative, <http://dublincore.org/documents/dcmi-terms/>.
- Creative Commons, <http://creativecommons.org/>.

A escala més global, el projecte Linking Open Data de la W3C (W3C SWEO (2011)) té com a objectiu publicar dades al web en format RDF i establir enllaços entre les dades de fonts de dades diferents. L'any 2010 hi havia 25.000 milions de triplets i uns 395 milions d'enllaços RDF (figura 88).

Aquest model de metadades es basa en la transformació de les descripcions de dades a un format “subjecte-predicat-objecte” W3C (2004a). Per exemple, <http://www.example.org/index.html> té un creador amb un valor de John Smith

En nomenclatura RDF les parts de la fràse són:

- el subjecte és la URL <http://www.example.org/index.html>
- el predicat és la paraula *creador*
- l'objecte és la frase “John Smith”

El subjecte seria el recurs i el predicat especificaria la relació entre el recurs i l'objecte.

#### B.4.1 Conceptes bàsics

**Ontologia** Les ontologies són un dels components tecnològics que formen el conjunt dels estàndards utilitzats pel web semàntic (figura 87).

Una ontologia és una especificació explícita d'una conceptualització. El terme s'ha pres de la filosofia, àmbit en què una ontologia és una explicació sistemàtica de l'existència. Les ontologies s'utilitzen per a la integració de bases de dades heterogènies, cosa que permet la interoperabilitat entre sistemes diferents i l'especificació d'interfícies en sistemes independents basats en el coneixement.

Una ontologia és un model de dades que representa un conjunt de conceptes i la seva relació. És una forma de representació del coneixement de la realitat. Bàsicament descriu individus (és l'objecte bàsic o elemental), classes (agrupacions d'objectes, tipus d'objectes, etc.), atributs (proprietats, característiques, paràmetres, etc. dels objectes), relacions (relacions entre objectes) i successos (els canvis que es produeixen en els atributs o en les relacions) (Gruber, 1993; Gruber, 2009).

**Triplets RDF** Un triplet RDF està format per tres components:

- El *subjecte*, que és una referència URI RDF o és un nus en blanc.
- El *predicat*, que és una referència URI RDF.
- El *objecte*, que és una referència URI RDF, un literal o un nus en blanc.

Un nus en blanc és un nus anònim que s'utilitza per enllaçar dos triplets quan no es pot identificar un dels nusos. Per exemple, a la frase “La UPC té un departament al Campus Nord”, “un departament” no es pot identificar i seria un nus en blanc.

**Graf RDF** Un graf RDF és un conjunt de triplets RDF. El conjunt de *nusos* d'un graf RDF està format pel conjunt de subjectes i d'objectes dels triplets en graf. Un graf RDF és un graf de tipus *Label Acyclic Directed Multigraph*:

- *Label*: les arestes porten una etiqueta.
- *Directed*: les arestes tenen direcció.
- *Multi*: pot existir més d'una aresta entre vèrtexs.
- *Acyclic*: no hi ha cap camí tancat.

**Referència URI RDF** Una referència URI en un graf RDF és una cadena de caràcters Unicode:

- que no conté caràcters de control
- que donaria lloc a una URI vàlida

Tant les URL com les URN (*Universal Resource Name*) són URI vàlides.

**Espais de noms (*Namespace*)** Són referències URI RDF que poden tenir un format d'enllaç URL o d'identificador de noms ULN. Segons les especificacions d'RDF, aquest enllaç no cal que existeixi, i només cal garantir que identifica unívocament l'espai de noms.

## **B.5 Definicions per a modelització d'aplicacions informàtiques.**

Els conceptes utilitzats són els explicats per Antoni Olivé en el seu llibre “Conceptual Modeling of Information Systems” (Olivé, 2007), així com els emprats pel llenguatge de descripció d'aplicacions UML (*Unified Modeling Language*) (Holt, 2004; Miller, 2003).

**Paquets** Per simplificar diagrames de classe complicats, les classes es poden agrupar en paquets. Un paquet és un conjunt d'elements UML relacionats lògicament. Els paquets es veuen com a rectangles amb petites pestanyes a la part superior, on hi ha el nom del paquet. Les fletxes de punts són les dependències. Un paquet A depèn de B (A->B); un canvi a B pot forçar canvis a A.

**Classes** Representen objectes. Estan formats per atributs i operacions. Un objecte és una instància d'una classe.

**Constrenyiment** És una restricció en el grau de llibertat que es té per proporcionar una solució. Els constrenyiments són requeriments globals, com ara disposar de recursos del desenvolupament limitats o decisions de la direcció sobre les formes de desenvolupar un sistema. Els constrenyiments poden ser econòmics, tècnics o mediambientals i es refereixen a recursos del projecte, a la planificació, als objectius o al mateix sistema. Hi ha un llenguatge específic per a la descripció de constrenyiments (OCL, *Object Constraint Language*), que no utilitzem en el desenvolupament de la tesi.

De Olivé (2007) utilitzem els conceptes següents:

**Base d'informació** És la representació de les entitats i relacions d'un domini i la seva classificació en tipus d'entitats i relacions.

**Concepte** Imatge mental formada per la generalització d'instàncies d'una cosa.

**Extensió d'un concepte** Conjunt de les possibles instàncies.

**Intensió d'un concepte** Propietat comuna a totes les instàncies.

**Propietats definitòries** Són les propietats necessàries i suficients per considerar un objecte una instància d'un concepte.

**Capacitat d'inferència** Propietats no definitòries que poden ser inferides sense que calgui observar-les directament (p. e. una casa té propietari).

**Classificació** Operació d'associació d'un objecte a un concepte.

**Tipus d'entitat** És un concepte format per instàncies.

**Instància** d'un tipus d'entitat és un objecte individualment identificable.

**Entitats** Objectes que són instàncies d'un tipus d'entitat.

**Nom** Un tipus d'entitat ha de tenir un nom únic dins de l'esquema.

**Subsumpció** Un tipus d'entitat E1 és subsumpció d'un altre E2 si les propietats definitòries de E1 són una part de E2. Llavors, E2 és un *subtipus* de E1. Per exemple, E1 persona, E2 dona.

**Població** És el conjunt d'instàncies del tipus d'entitat que existeixen en un moment determinat en el domini.

**Constant** Quan la població d'un tipus d'entitat es la mateixa sempre (p.e., Riu).

**Permanent** Les instàncies no poden canviar de tipus d'entitat (p.e., Llibre). Els tipus constants sempre són permanents.

**Tipus de relacions** Conceptes que tenen relacions com a instàncies.

**Fet** Classificació d'una entitat en un tipus d'entitat o d'una relació en un tipus de relació.

**Relació** Lligam entre dues o més entitats.

**Grau d'una relació** És el nombre de participants en la relació. S'anomena binària si hi ha dos participants i ternària si hi ha tres participants.

**Població d'una relació** Conjunt de relacions d'un determinat tipus de relació en un moment concret.

**Atribut d'una entitat** És una relació binària entre l'entitat i una altra, considerada com una característica de l'entitat.

**Cardinalitat** d'una relació E1 - E2 indica el nombre mínim ( $C_{min}$ ) i màxim ( $C_{max}$ ) d'entitats E2 que estan relacionades amb l'entitat E1.

**Participació total** si  $C_{min} > 0$

**Participació parcial** si  $C_{min} = 0$

**Dependència funcional** si  $C_{max} = 1$

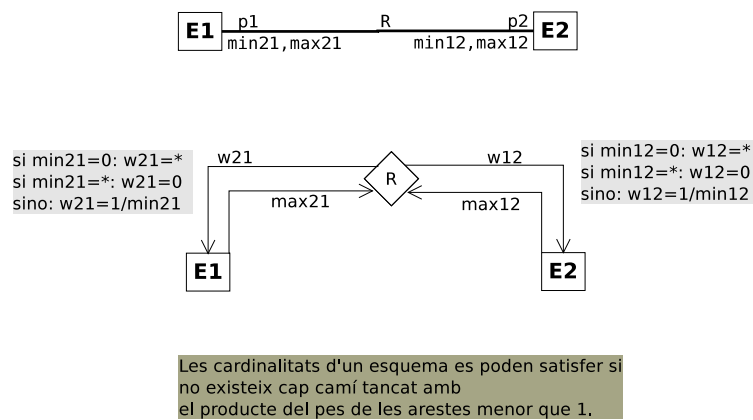


Figura 89: Comprovació de la cardinalitat. Elaboració a partir de Olivé (2007).

La representació d'objectes i tipus d'entitats en un sistema d'informació i la classificació d'objectes en tipus d'entitats ha de satisfer les propietats següents:

**Completesa** Tots els objectes del domini d'interès estan representats a la *base d'informació*. La completesa no és verificable formalment.

**Correctesa** La classificació d'un símbol  $s$  en el tipus d'entitat  $E$  en un moment determinat implica que l'objecte amb el símbol  $s$  del domini és una instància del tipus  $E$  en aquell instant. En altres paraules, per tot objecte representat en la base d'informació existeix un objecte a nivell del domini. Aquesta propietat no es pot verificar formalment.

**Població no buida** La població d'un tipus d'entitat en algun moment ha de ser no buida, és a dir, ha de tenir alguna instància.

**No redundància** Dos tipus d'entitats són redundants si sempre tenen la mateixa població.

Les relacions han de satisfer les propietats de completesa, de correctesa, de població no buida i de no redundància.

## C Programes i funcions

### Nomenclatura interna del prototip

La nomenclatura presentada en el desenvolupament de la tesi varia respecte a la del prototip. A nivel de nom de classes hi ha les diferències següents:

- Paquet Marc: Model es diu Marc; AreaConceptual es diu AreaMarc, i CriteriSostenibilitat es diu CampArea.
- Paquet Dades: Variable es diu Camp; ValorAgregat, ValorDerivat i ValorBase es diuen BufferAgregats, BufferCalcul i Valor00, respectivament, i inclouen els atributs respectius de la subclasse GeoDerivat.

### C.1 Paraules clau del llenguatge base. Noms territorials genèrics. Gestió multiidioma

#### C.1.1 Internacionalització. Multiidioma

L'aplicació s'ha dissenyat per utilitzar-la en diversos idiomes. S'han tingut en compte dos tipus de traduccions:

1. Traducció del text que es presenta a l'usuari en navegar per l'aplicació
2. Traducció de les variables internes del sistema en els noms comuns utilitzats pels usuaris, formats per les paraules clau del llenguatge base i pels noms genèrics del territori.

En el primer cas, durant l'ús de l'aplicació, el sistema es comunica amb l'usuari presentant pàgines web amb informació d'opcions disponibles, de resultats, d'ajuda, d'errors, etc. Per traduir aquesta informació i presentar-la en l'idioma de l'usuari s'utilitza el sistema de traducció multiidioma de Django. Aquest sistema es basa a proporcionar una o més traduccions de cada text i el sistema presenta a l'usuari el text en l'idioma escollit.

El segon tipus de traducció correspon als noms de les variables internes utilitzades pel sistema. En aquest segon grup tenim les paraules clau del sistema i els noms genèrics del territori.

#### C.1.2 Paraules clau del llenguatge base

Aquest grup de paraules no es poden traduir en línia, ja que el sistema no les reconeixeria, ja sigui perquè formen part de processos del sistema (el cas més habitual és perquè s'utilitzen en les especificacions URL) o perquè els usuaris les incorporen a les operacions de càlcul de les variables. En el cas de les operacions de càlcul, l'usuari utilitza l'idioma base escollit per a l'aplicació, però el sistema, per interpretar l'expressió de càlcul, ha d'utilitzar el sistema intern de variables. L'expressió següent, escrita tenint com a idioma base l'anglès,



Paraula clau	Significat	Català	Anglès	Castellà
ANY	any	any	year	año
AREA	àrees o categoritzacions dels models conceptuals	area	categorization	area
CAMP	variables	indicador	variable	indicador
CODI	codi d'un territori	codi	code	código
FONT	fonts de dades	font	source	fuelle
LLINDAR	valors de referència	referencia	reference	referencia
MARC	marcs o models conceptuals	model	framework	modelo

Taula 21: Principals paraules clau que utilitza el sistema en la seva nomenclatura interna i una possible traducció.

Pop \* 100 ./ PopLondon

PopLondon: variable = population | territory = London | year = 2005 |  
source = ViewBook

Pop: variable = population

es tradueix internament com a:

Pop \* 100 ./ PopLondon

PopLondon: CAMP = population | TERRITORI = London | ANY = 2005 | FONT =  
ViewBook

Pop: CAMP = population

Les paraules clau del llenguatge base permeten adaptar la nomenclatura interna del sistema a la nomenclatura del grup investigador. Per exemple, internament el sistema es refereix a les variables com a *camp*s, ja que utilitza la traducció al català de *field* per referir-se al nom d'una variable. El grup investigador pot escollir, durant la configuració de l'aplicació, qualsevol nom per a aquest concepte; per exemple, indicadors, variables, etc. A la taula 21 hi ha la llista de paraules clau que utilitza el sistema amb una possible traducció.

### C.1.3 Transformacions entre noms territorials i noms territorials genèrics

Internament, el sistema utilitza els noms de territori genèrics per a l'organització territorial. Per als processos d'accés, selecció, visualització i descàrrega de dades s'ha de traduir aquesta nomenclatura interna a la nomenclatura real del territori, en l'idioma de l'usuari, tenint en compte el nombre dels noms.

Una aplicació multiidioma utilitza unes eines específiques per gestionar la traducció entre idiomes i presentar aquesta traducció en l'idioma escollit per l'usuari. Aquestes eines de gestió de traduccions no es poden utilitzar per traduir els noms interns utilitzats pel sistema en els noms de l'usuari. Vegem-ne dos exemples.

- URL

Els noms interns de les entitats genèriques s'han de traduir per a les URL que utilitzarà l'usuari. A la figura 68, es presenta l'esquema en forma d'arbre de l'organització de les URL del prototip desenvolupat. En aquest esquema veiem que, per adreçar a l'usuari a una consulta d'una entitat base determinada, s'ha d'entrar una URL en el format:

```
/ territori / territori00 / <codi >
```

que s'ha de transformar en funció de l'organització territorial i de l'idioma base escollit. Per a les organitzacions de les figures 43c en idioma base català i en anglès, i per a la figura 43a en castellà, les URL serien:

```
/ territori / municipi / 170139 /  
/ territory / municipality / 170139 /  
/ territorio / region / Oceania /
```

- Equacions o *scripts* de càlcul de variables.

Per identificar els valors de les variables que intervenen el càlcul d'un indicador o d'una variable, usuari pot fer referència al valor d'una variable per una determinada entitat territorial. La referència a aquesta entitat territorial la fa utilitzant el nom real de territori, i el sistema ha d'utilitzar el nom intern. Per exemple, per tenir una variable que calculi la variació de la població relativa a Itàlia, s'ha d'utilitzar la nomenclatura real del territori (país, en aquest cas) :

```
popv - popvIta  
  
popv : pobl variacio  
popvIta : pobl variacio | territori = pais : Itàlia
```

i el sistema l'ha de transformar en el nom intern, territori00:

```
popvIta : pobl variacio | territori = 00 : Itàlia
```

Per fer aquestes transformacions s'han de desenvolupar dues funcions, *getgenericTerritori* i *getrealTerritori*, que transformen de nom de territori real a genèric i de nom genèric a territori real, respectivament. Aquestes transformacions es fan en base a la informació de taula 22):

```

# TERRITORILANG conte en una matriu de noms generics i noms reals en
diversos idiomes
# LANG conté l'acrònim de l'idioma base
from settings import TERRITORILANG, LANG

def getgenericTerritori(terr, lan=None):
    '''Tradueix el nom d'una entitat real (p.e. municipi, comarca, etc)
    en el seu nom genèric (territori00, territori20, etc.)
    ...
    territori=terr.lower()
    if not lan: lan=LANG
    torna=''
    if territori in TERRITORILANG[lan].values():
        torna=TERRITORILANG[lan].keys()[TERRITORILANG[lan].values().
            index(territori)]
    if terr.isupper():
        return torna.capitalize()
    else:
        return torna.lower()

def getrealTerritori(terr, lan=None):
    '''Tradueix el nom d'un territori genèric (p.e. territori00,
    territori20, etc) en el seu nom real (municipi, comarca, etc.)
    ...
    territori=terr.upper()
    if not lan: lan=LANG
    torna=''
    if TERRITORILANG[lan].get(territori, False): torna=TERRITORILANG[
        lan][territori]
    if terr.isupper():
        return torna.capitalize()
    else:
        return torna

```

**C.1.3.1 Idioma de navegació i idioma Base** En qualsevol moment els usuaris poden canviar d'idioma i el navegador presentarà la informació en l'idioma escollit. Les paraules clau de les expressions de càlcul s'hauran de continuar escrivint en l'idioma base escollit pel grup investigador en el moment de la implementació de l'aplicació.

genèric sistema	Català	Anglès	Castellà
Organització món			
territori	territori / territoris	territory / territories	territorio / territorios
territori00	país / países	country / countries	país / países
territori20	subregio / subregions	subregion / subregions	subregion / subregiones
territori40	regio / regions	region / regions	region / regiones
territori60	mon	world	mundo
Organització Catalunya			
territori00	municipi / municipis	municipality / municipalities	municipio / municipios
territori20	comarca / comarques	region / regions	comarca / comarcas
territori40	província / províncies	province / provinces	provincia / provincias
territori60	Catalunya	Catalonia	Cataluña

Taula 22: Traducció entre la nomenclatura genèrica del sistema i la nomenclatura real del territori en diversos idiomes per a les organitzacions del món i de Catalunya (figura 43).

## C.2 Operacions principals

En aquest apartat es descriuen les operacions principals següents:

- *getValor*, procés general d'obtenció de valors
- *getAgregat*, gestiona l'obtenció, càlcul i l'actualització de valors agregats
- *valorNumAgregat*, agrega els valors numèrics d'una variable en un territori i any.
- *calValor*, calcula el valor a partir de l'expressió de càlcul d'un variable per un territori en un determinat any.

### C.2.1 getValor

Aquesta operació gestiona els processos que s'han de dur a terme entre la petició d'un valor d'una variable d'un territori fins que s'obté el valor. A la figura 90 hi ha l'esquema del procés.

Es tracte d'una operació del tipus d'entitat *Variable*, amb el nom *getValor*. La instància de *Variable* per a la qual s'ha d'obtenir el valor passa a la operació els paràmetres següents:

- Instància de *Territori* del valor a calcular o recuperar
- Any del valor.

Opcionalment pot passar:

- Una instància d'*AreaConceptual*.
- *triatsfont*, una llista d'instàncies de *Font*, amb les fonts de dades a utilitzar (veure 4.3.1 Selecció de dades). Si el paràmetre *filtrefonts* és nul, es recupera el valor de la font de dades de més prioritat.

Hi ha quatre camins per obtenir el valor de la variable:

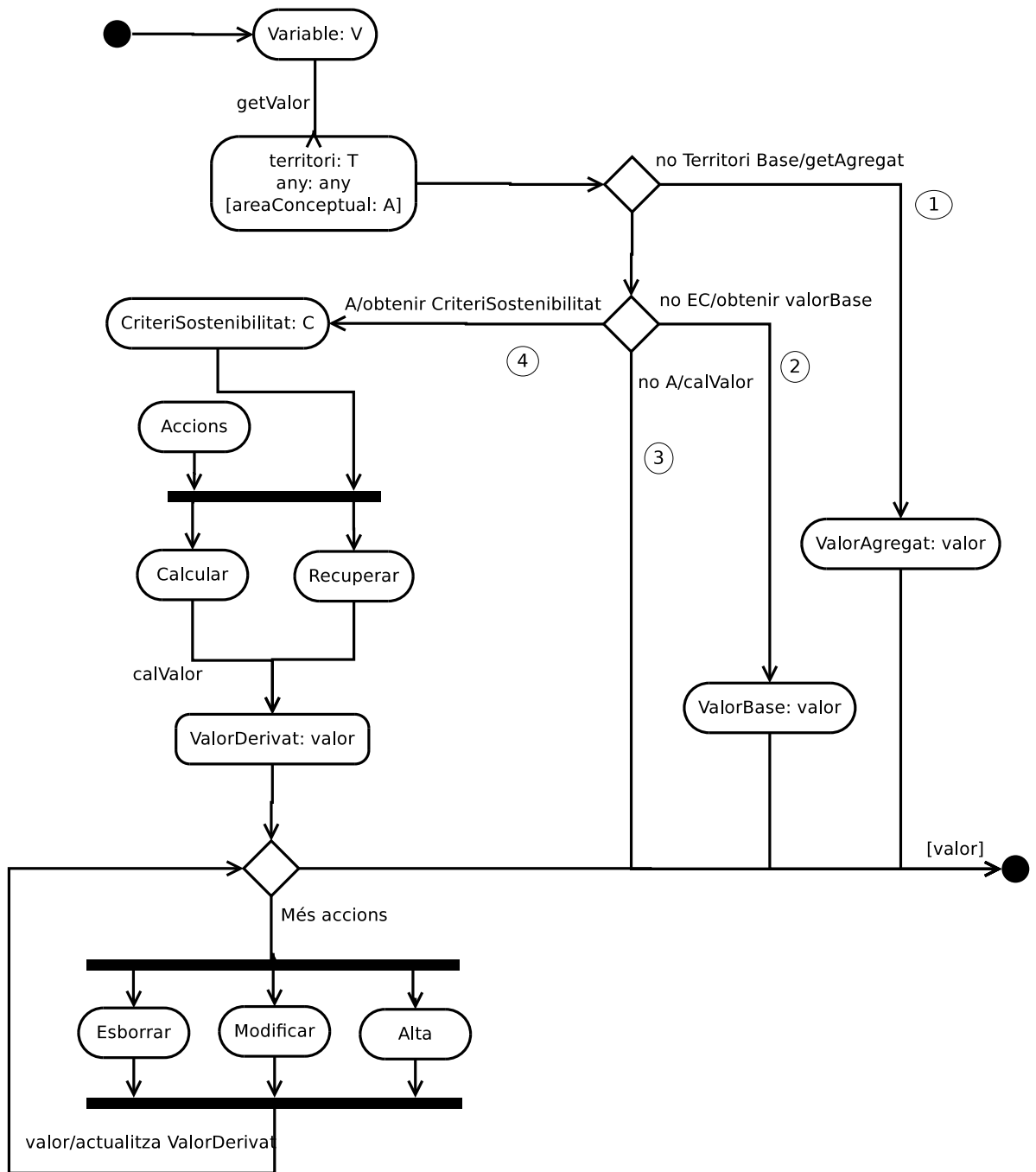


Figura 90: Esquema del procés d'obtenció del valor d'una variable, realitzat per l'operació *Variable::getValor*.

1. Si T no és un territori base, sinó que és d'una escala superior, es crida l'operació *getAgregat* amb els mateixos paràmetres i es retorna un valor del tipus *ValorAgregat*.
2. Si es tracte d'un territori base, i l'atribut *expressioCalcul* és blanc, és a dir, no hi ha expressió de càlcul definida, llavors s'obté el valor de *ValorBase*.
3. Si existeix l'expressió de càlcul però la variable no està assignada a cap àrea conceptual, es crida l'operació *calValor* que retorna el valor calculat a partir de l'expressió de càlcul. En aquest cas, l'operació finalitza retornant el valor sense desar-lo. Els valors de les variables derivades que no estan assignades es calculen sempre en temps real.
4. Si la variable està en una *areaConceptual* s'obté el criteri de sostenibilitat i els atributs dels valors de referència i les accions definides. En funció de les accions es procedeix a recuperar o calcular el valor, a través de l'operació *calValor*. A continuació es fan les accions programades d'esborrar, de modificar o de desar el valor a *ValorDerivat*.

### C.2.2 *getAgregat*

Aquesta funció gestiona l'obtenció, el càlcul i l'actualització de valors del tipus *ValorAgregat* de variables. La funció és una operació del tipus d'entitat *Variable*, amb el nom *getAgregat*. La instància de *Variable* per a la qual s'ha d'obtenir el valor ha de passar a la funció els paràmetres següents:

- Instància de *Territori* d'escala superior a tipus *Terr00*.
- Any del valor.

Opcionalment pot passar:

- Una instància d'*AreaConceptual*.
- *filtrefonts*, una llista d'instàncies de *Font*, amb les fonts de dades que s'han d'utilitzar. Si el paràmetre *filtrefonts* és nul, es recupera el valor de la font de dades de més prioritat.
- El lògic *geompol*, que indica que s'ha d'agregar l'atribut geomètric *polígons* de la subclasse *GeoAgregat*.

En la fase de desenvolupament actual, s'agregen valors de variables numèriques i les geometries multipolígons sense desenvolupar l'agregació d'altres tipus de variables com ara text, imatges, etc., o les formes geomètriques multilínies i multipunts. Es pot fer en futurs desenvolupaments d'una forma similar a la descrita a continuació.

Aquesta operació duu a terme el procés següent:

1. Obtenir les accions que s'han de fer segons el *criteriSostenibilitat* de la variable i l'àrea conceptual. Es pot fer qualsevol de les combinacions de *codiAcció* següents :

`codiAcció=[c--,rc-,rcu, cu-,r--,dc-,d--]`

on:

- c: calcular
- r: llegir
- u: actualitzar
- d: esborrar

Si la variable no està en cap àrea (és a dir, no s'ha passat el paràmetre *AreaConceptual*), s'assigna *codiAcció* = 'c' i no es desen valors a la base de dades.

2. Executr cada acció de *codiAcció*, començant per la primera fins que l'acció és '-'

- Si l'acció és esborrar ('d') o llegir ('r'):
  - Obtenir la instància *valorAgregat* corresponent al *territori*, *any* i *areaConceptual* segons el tipus d'agregació definit per l'atribut *agregació* de la instància de *Variable*.
  - Si l'acció és 'd', eliminar la instància de la base de dades. En cas contrari, assignar l'atribut *valor* de *valorAgregat* a la variable *resultat*.
- Si l'acció és calcular ('c') i en el pas anterior s'ha trobat el resultat, no s'han de fer més accions. Si no s'ha trobat el resultat:
  - Si *geompol* és cert, cridar l'operació *geomAgregat* amb els mateixos paràmetres, assignant-ne el resultat a la variable *resultat* i no fer més accions.
  - Si l'atribut *tipus* de la instància *Variable* és 'num', és a dir, un valor numèric, cridar l'operació *valorNumAgregat* amb els mateixos paràmetres, assignant-ne el resultat a la variable *resultat* i no fer més accions.
- Si l'acció és actualitzar ('u'):
  - Si el valor ja existia, actualitzar l'atribut *actualització* de *valorAgregat* amb la nova data del càlcul.
  - Si no existia, crear una nova instància de *valorAgregat*.

3. Finalment retornar el valor de *resultat*.

### C.2.3 valorNumAgregat

*valorNumAgregat(territori=territori,any=any,areaConceptual=None,filtraments=None)*

Aquesta funció agrega els valors numèrics d'una variable en un territori i any. La funció és una operació del tipus d'entitat *Variable*, amb el nom *valorNumAgregat*. La instància de *Variable* per a la qual s'ha d'obtenir el valor ha de passar a la funció els paràmetressegüents:

- Instància de *Territori*: *territori*.
- Any del valor: *any*.

Opcionalment pot passar:

- Una instància d'*AreaConceptual*: *area*.

- *filtrefonts*, una llista d'instàncies de *Font*, amb les fonts de dades a utilitzar. Si el paràmetre *filtrefonts* és nul, es recuperen els valors del territori base de la font de dades de més prioritat.

En la fase de desenvolupament actual s'agregen valors de variables numèriques corresponents als territoris tipusTerr20, tipusTerr40 i tipusTerr60. El procés que es descriu a continuació és un redisseny en què s'han utilitzat la classe *TerritoriRd* i les operacions associades per calcular els valors agregats per a qualsevol tipus de divisió territorial.

Aquesta operació fa un procés recursiu que finalitza quan el tipus del territori d'escala inferior de *territori* és un territori base i es pot començar el procés d'agregació. Abans d'iniciar el procés recursiu, es comprova:

- Si *territori* és del tipus territori base, en aquest cas es crida l'operació *getValor*, es retorna el resultat i finalitza l'operació.
- Si l'atribut *agregació* de la instància de *Variable* és VOC, el resultat s'obté de l'agregació dels valors de les variables de l'operació de càlcul de l'expressió de càlcul. Es crida *calValor*, indicant que s'ha de calcular agregant els VOC, es retorna el resultat i finalitza l'operació.

resultat=calvalor(areamarc=area, agregaVOC=True, terrAgrega=territori, any=any)

Procés recursiu:

1. Obtenir el tipus de territori a partir del qual s'han d'agregar valors. Per a això s'utilitza la variable de configuració TERRAGREGA de la implementació; és un diccionari que defineix per a cada territori quin territori d'escala inferior s'ha d'utilitzar per agregar valors:
  - (a) Obtenim el tipus de territori a què pertany *territori* i l'assignem a la variable *tipusTerrMare*.
  - (b) *tipusTerrFills*=TERRAGREGA[*tipusTerrMare*]
2. Obtenir territoris fills de *territori* que són del tipus *tipusTerrFills*.
3. Per a cada territori fill, *terrFill*.
  - (a) Si *tipusTerrFill* és tipusTerr00:
 

cridar *getValor* per obtenir el valor *v* *terrFill*:

$$v=getValor(areaConceptual=area,territori=terrFill,any=any,filtrefonts=filtrefonts)$$
  - (b) Si *tipusTerrFill* no és del tipus territori base:
 

cridar de nou l'operació *valorNumAgregat* per obtenir el valor *v* agregat per a *terrFill*:

$$v=valorNumAgregat(areaConceptual=area, territori=terrFill, any=any, filtrefonts=filtrefonts)$$
  - (c) Afegir el valor obtingut *v*, a la llista *vt*, que contindrà els valors de tots el territoris fills de *terrFill*.
4. Executar la funció d'agregació corresponen segons l'atribut *agregació* amb els valors de la llista *vt* (sumar, comptar, mitjana, màxim, etc.), retornar el resultat i finalitza l'operació.



## C.2.4 calValor

`calValor(areaConceptual=None,agregaVOC=False,terrAgrega=None,ncal=0,graph="",graphFull=False,**kargs)`

La funció retorna el valor obtingut de l'expressió de càlcul d'una variable per a un territori en un determinat any. La funció es basa l'execució dinàmica d'expressions que contenen instruccions de programació juntament amb les dades necessàries. La funció és una operació del tipus d'entitat *Variable*, amb el nom *calValor* els paràmetres són:

- Una instància d'*AreaConceptual*: *area*.
- Un lògic, *agregaVOC*, que indica si els valors de les variables de l'OC s'han d'agregar. En aquest cas, *terrAgrega* és la instància de Territori per a la qual s'han d'agregar els valors.
- *ncal*, comptador intern de la profunditat del càlcul. S'utilitza per detectar i interrompre càlculs recursiu cíclics.
- *graph* i *graphFull*. En lloc de fer el càlcul, es genera un graf del càlcul. Si el lògic *graphFull* és cert, s'inclouen en els nusos del graf les equacions i els *scripts* que s'executarien.
- *\*\*kargs* és un diccionari que conté la instància del territori i l'any.

L'operació *calValor* de la classe *Variable* és el procés que realitza càlcul de les variables derivades de tipus numèric o text. El diagrama del procés és el següent (figura 91):

1. Separar el contingut de l'expressió de càlcul *Variable::expressioCalcul* en l'operació de càlcul (OC) i les variables de OC (VOC).
2. Obtenir els valors de cada variable VOC.
3. Substituir els valors anteriors en la OC.
4. Si la OC és un *script* o programa, crear un entorn segur del sistema operatiu<sup>37</sup>, executar el *script*, retornar el resultat i finalitzar l'operació.
5. Si la variable és del tipus numèric (*Variable::tipus='num'*) executar el contingut de l'operació de càlcul, retornar el resultat i finalitzar l'operació.
6. Si la variable és d'un altre tipus (text, lògic, etc.), retornar el resultat i finalitzar l'operació.

## C.3 Suport

Cada implementació pot necessitar el desenvolupament d'alguna operació específica per transformar algunes de les dades capturades a internet o generades pels propis usuaris, així com processos de suport com pot ser la realització de còpies de seguretat del sistema d'informació. En aquest apartat recollim, a tall d'exemple, algunes de les operacions que s'han desenvolupat bé sigui per integrar les dades de les implementacions

<sup>37</sup>En un entorn segur, els programes que executen no poden accedir a funcions importants del sistema i comprometre la seguretat.

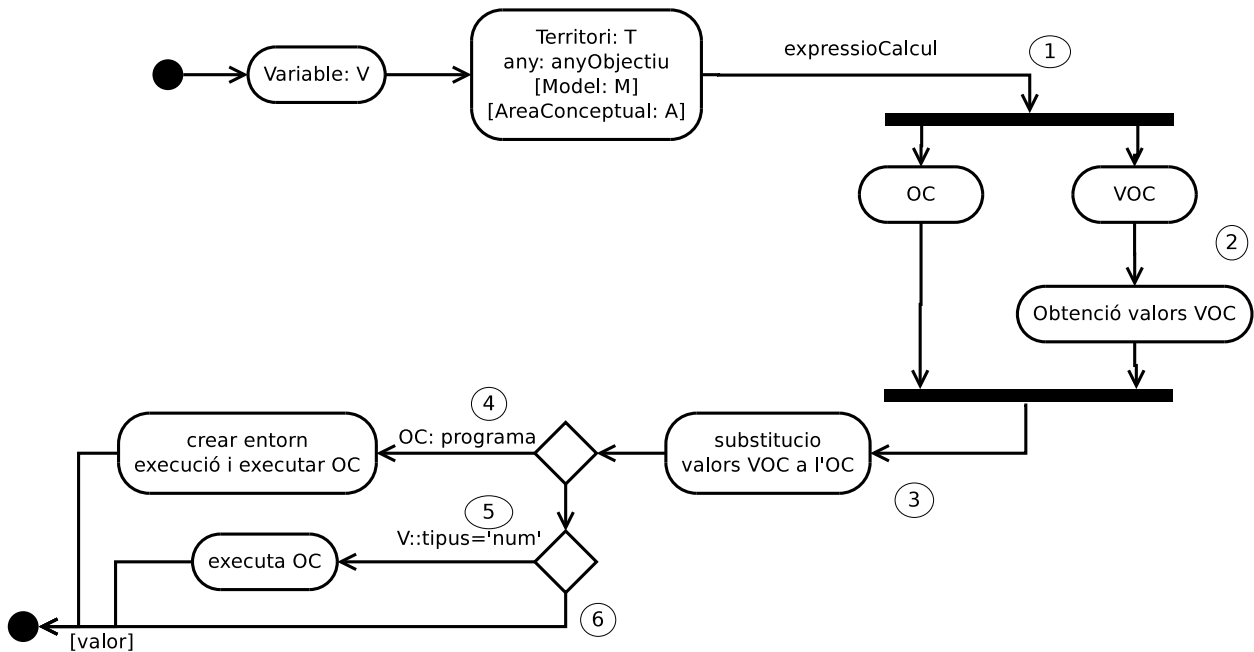


Figura 91: Esquema del procés de l'operació *calValor* d'una *Variable*

corresponents als països del món i als municipis de Catalunya, bé sigui la realització d'altres processos de suport.

Procediments generals:

*gengrafdb* Crea una base de dades Sqlite amb triplets de grafs de divisions territoris segons s'explica a 4.2.1.2, a partir de les dades de territori00, amb una estructura 00, 20, 40, 60.

*testgraf* genera un gràfic en arbre circular per visualitzar les dades generades per *gengrafdb* (figures 34 a la pàgina 70 i 35 a la pàgina 70)

*bulck\_update* Alta massiva de valors utilitzant fulls de càlcul. Llegeix totes els fulls de calcul en format csv existents en un directori, comprova si existeix algun error de format amb l'operació *\_validaValors* de paquet Dades i, sinó hi ha cap error, actualitza els valors dels sistema d'informació amb l'operació *\_updateValors*

*dbcopia* gestiona la realització de còpies de seguretat de la base de dades. Les còpies d'una base de dades es realitzen afegint al nom un numero seqüencial i la data i hora en que s'han realitzat. Per exemple, nombase-43-2010623-20:30.db. Es pot configurar el nombre de còpies que es manté de la base de dades, esborrant les més antigues.

Procediments específics per països del món:

*eez* Programa que, a partir de les dades facilitats per la VLIZ Maritime Boundaries Geodatabase<sup>38</sup>, donat d'alta les Zones Econòmiques Exclusives (ZEE) com una variable geogràfica del sistema d'informació dels països del món. A cada país se li assigna els multi polígons corresponents a la seva ZEE. El nombre de punts per cada ZEE és molt elevat, sobretot degut a que hi ha molta precisió en la costa del país. Per reduir el nombre de punts, eliminem els forats dels polígons

<sup>38</sup>Maritime Boundaries Geodatabase, version 5. Disponible online a <http://www.vliz.be/vmdcdata/marbound>

(frontera interior, en el cas de illes), deixant només la frontera exterior, que correspon a mar. L'àrea de la ZEE es guarda en la mateix instància de valor que la geometria.

*import-un* procediment per incorporar dades de de les Nacions Unides al sistema d'informació. El s'executa *bulck\_update* per incorporar les dades al sistema

Degut a la diversitat de fonts estadístiques que les NU té que utilitzar, a on cadascuna té formes d'obtenir o computar unes mateixes estadístiques, per un mateix indicador es poden seleccionar una o varies d'aquestes formes. Les columnes dels fulls de càlcul descarregats de les NU poden tenir diferents noms segons la variable, com 'record type', en el cas de la població o 'coverage' en el cas de la població en atur. Les estadístiques de població hi ha 7 o 8 tipus de 'record type' possible ('Census, de facto, complete tabulation'; 'Estimate, de facto', etc.). No tots els tipus tenen dades i alguns són més precisos que d'altres. Per tal d'obtenir els valors d'una variable que cobreixin el major nombre de països el màxim d'homogènia possibles, el procediment permet establir un sistema de preferències o prioritats la columna del tipus de registre ('record type', 'coverage', etc.), de forma que dels possibles valors existents per un mateix país i any, s'incorpora al sistema d'informació la fila que té els valors amb prioritat. Per exemple, en el cas del a població per països, el sistema de prioritats s'ha establir com:

- 'Census, de facto, complete tabulation':0
- 'Estimate, de facto':1,'Census, de jure, complete tabulation':2
- 'Census, de facto, sample tabulation': 3
- 'Census, de jure, sample tabulation':3
- 'Estimate, de jure': 4
- 'Sample survey, de jure': 5,
- 'Sample survey, de facto': 6
- 'Record type not defined':99

*traducciocodis* conjunt d'operacions que permeten passar traduir codis entre els diferents normatives o estàndars: 'FIPS', 'ISO2', 'ISO3', 'ISONo' i 'Internet'. El procediment és el següent:

- Les dades són seleccionades i descarregades en un fitxer csv de la web <http://data.un.org/>.
- A partir del fitxer csv descarregat és un fitxers csv per cada any, amb tots el països pels que hi ha dades. El format és el requerit pel sistema d'informació.
- s'executa *bulck\_update* per incorporar les dades al sistema

Degut a la diversitat de fonts estadístiques que les NU té que utilitzar, a on cadascuna té formes d'obtenir o computar unes mateixes estadístiques, per un mateix indicador es poden seleccionar una o varies d'aquestes formes. Les columnes dels fulls de càlcul descarregats de les NU poden tenir diferents noms segons la variable, com 'record type', en el cas de la població o 'coverage' en el cas de la població en atur. Les estadístiques de població hi ha 7 o 8 tipus de 'record type' possible ('Census, de facto, complete tabulation'; 'Estimate, de facto', etc.). No tots els tipus

tenen dades i alguns són més precisos que d'altres. Per tal d'obtenir els valors d'una variable que cobreixin el major nombre de països el màxim d'homogènia possibles, el procediment permet establir un sistema de preferències o prioritats la columna del tipus de registre ('record type', 'coverage', etc.) , de forma que dels possibles valors existents per un mateix país i any, s'incorpora al sistema d'informació la fila que té els valors amb prioritats. Per exemple, en el cas del a població per països, el sistema de prioritats s'ha establert com:

- 'Census, de facto, complete tabulation':0
- 'Estimate, de facto':1,'Census, de jure, complete tabulation':2
- 'Census, de facto, sample tabulation': 3
- 'Census, de jure, sample tabulation':3
- 'Estimate, de jure': 4
- 'Sample survey, de jure': 5,
- 'Sample survey, de facto': 6
- 'Record type not defined':99

*traduccioncodis* conjunt d'operacions que permeten passar traduir codis entre els diferents normatives o estàndards: 'FIPS', 'ISO2', 'ISO3', 'ISONo' i 'Internet'

Procediment específics per Catalunya:

*idescat-municipis* operacions per donar d'alta les divisions territorials de catalanes (províncies i municipis), a partir de la informació de l'IDESCAT <sup>39</sup>

## D FP7 Projecte SMILE

SMILE Vehmas(coord.) (2011) és un projecte FP7 "Ciències socioeconòmiques i humanitats", basat en el treball previ dut a terme en el projecte FP6 DECOIN (Desenvolupament i Comparació d'Indicadors de Sostenibilitat). El consorci del projecte està format per diverses organitzacions de recerca (Finland Futures Research Centre, Parthenope University of Naples, Universitat Autònoma de Barcelona, etc.). El projecte té una durada de 42 mesos i els resultats finals van difondre el juny del 2011 a Finlàndia.

El projecte SMILE analitza el *trade-off* i les sinergies que hi ha entre els diferents objectius relacionats amb el desenvolupament sostenible mitjançant la utilització dels diferents indicadors. Un dels plans de treball és revisar i continuar el desenvolupament del toolkit DECOIN, format per les eines ASA, SUMMA i MSIASEM, per aplicar-les a l'anàlisi de les sinergies i *trades-off* entre diferents tendències en relació amb les tres dimensions del desenvolupament sostenible.

De les tres eines del projecte expliquem l'ASAtool com a cas pràctic d'integració de mètodes de càlcul existents en el sistema d'informació. Per això expliquem amb una mica més de detall els principis teòrics de funcionament, les equacions de càlcul i el desenvolupament de l'eina. Els apartats D.1 i D.2 s'han extret i resumit de Vehmas i col. (2008).

---

<sup>39</sup><http://www.idescat.cat/cat/territori/codis/>

## D.1 ASA

Advanced Sustainability Analysis (ASA).

Una de les característiques principals d'ASA és la descomposició en diferents indicadors de sostenibilitat i la interpretació dels factors descompostos com a forces motrius (*drivers*) a favor o en contra de la sostenibilitat. Un avantatge de l'enfocament d'ASA és que es pot utilitzar per interpretar i quantificar molts conceptes d'ús freqüent, però a vegades mal definits, com ara la desmaterialització de la producció, l'eficiència ecològica o l'efecte rebot. ASA també es pot utilitzar per desenvolupar nous conceptes teòrics com ara la immaterialització del consum, la productivitat de benestar (del PIB), el creixement econòmic sostenible o el desenvolupament tecnològic requerit per a la sostenibilitat.

La descomposició és específica per a cada cas i la interpretació dels resultats és una fase important de l'anàlisi. A continuació es mostra com a exemple la descomposició ASA de les emissions de  $CO_2$  procedents de la crema de combustible. Una equació per identificar els factors que contribueixen a les emissions de  $CO_2$  es pot expressar, en la forma més senzilla, com:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{GDP} \times GDP$$

On  $CO_2$  són les emissions de diòxid de carboni procedents de la crema de combustible i  $GDP$  és el producte interior brut a preus constants. El canvi en les emissions de  $CO_2$  es pot descompondre en els efectes de dos factors:  $CO_2/GDP$ , intensitat de diòxid de carboni del  $GDP$  (o de producció) i el  $GDP$ .

La descomposició calcula l'efecte/contribució de cada factor explicatiu i el seu "efecte conjunt" (termini residual), que en una descomposició completa s'ha d'assignar als dos factors explicatius. El coeficient  $\lambda$  defineix la participació de l'efecte conjunt assignat a l'efecte de  $CO_2/GDP$  i  $1 - \lambda$  defineix el percentatge assignat a l'efecte del  $GDP$ . Quan  $\lambda = 0$ , l'efecte conjunt s'assigna totalment als efectes del  $GDP$ , i quan  $\lambda = 1$ , s'assigna totalment a l'efecte de  $CO_2/GDP$ . Un valor de  $\lambda = 0,5$  assigna l'efecte conjunt "igual" a ambdós efectes. Es pot donar qualsevol valor entre 0 i 1 ( $0 \geq \lambda \leq 1$ ). En aquest cas el valor del coeficient es pot calcular com:

$$\lambda = \frac{\left| \frac{\Delta \left( \frac{CO_2}{GDP} \right)_{t_0}}{\left( \frac{CO_2}{GDP} \right)_0} \right|}{\left| \frac{\Delta \left( \frac{CO_2}{GDP} \right)_{t_0}}{\left( \frac{CO_2}{GDP} \right)_0} \right| + \left| \frac{\Delta GDP_{t_0}}{GDP_0} \right|} \quad (6)$$

Aquesta anàlisi es pot aplicar a múltiples factors explicatius, de forma que el resultat de la descomposició dels dos primers factors és l'inici de la descomposició següent:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{TPES} \times \frac{TPES}{FEC} \times \frac{FEC}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP \quad (7)$$

on  $TPES$  és el subministrament total d'energia primària (incloent-hi tots els combustibles i altres formes d'energia primària, és a dir, abans del procés de combustió i la transferència i distribució d'electricitat o de calor),  $FEC$  és el consum final d'energia i  $POP$  és la quantitat de població en els països/zones estudiats.

L'ordre d'entrar en dels factors influeix en els resultats. Es podrien establir ordres diferents per encadenar les variables per exemple, els debats entorn a l'equació  $IPAT^{40}$  de la dècada de 1970, que podrien argumentar

<sup>40</sup>L'equació IPAT desenvolupada per Paul Ehrlich i John Holdren,  $I = P \times A \times T$ , relaciona els impactes ambientals amb la població ( $P$ ), aflluència ( $A$ ) que mesura el consum i la tecnologia ( $T$ ).

que la quantitat de població hauria d'anar primer, o la importància de l'activitat econòmica que justificaria que fos la primera.

## D.2 Chained two-factor decomposition

Generalitzant l'equació 7 per  $n$  factors,

$$V = \frac{V}{X_1} \times \dots \times \frac{X_{n-1}}{X_n} \times X_n \quad (8)$$

La contribució d'aquests factors per  $n = 4$  seria el següent:

$$\begin{aligned} V/X_1 &= ((X_1)_0 + \lambda_1 \Delta(X_1)_{t0}) \times \Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0} \\ X_1/X_2 &= \left[ \left(\frac{V}{X_1}\right)_0 + (1 - \lambda_1) \Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0} \right] \times [(X_2)_0 + \lambda_2 \Delta(X_2)_{t0}] \times \Delta\left(\frac{X_1}{X_2}\right)_{t0} \\ X_2/X_3 &= \left[ \left(\frac{V}{X_1}\right)_0 + (1 - \lambda_1) \Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0} \right] \times \left[ \left(\frac{X_1}{X_2}\right)_0 + (1 - \lambda_2) \Delta\left(\frac{X_1}{X_2}\right)_{t0} \right] \times \\ &\quad [(X_3)_0 + \lambda_3 \Delta(X_3)_{t0}] \times \Delta\left(\frac{X_2}{X_3}\right)_{t0} \\ X_3/X_4 &= \left[ \left(\frac{V}{X_1}\right)_0 + (1 - \lambda_1) \Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0} \right] \times \left[ \left(\frac{X_1}{X_2}\right)_0 + (1 - \lambda_2) \Delta\left(\frac{X_1}{X_2}\right)_{t0} \right] \times \\ &\quad \left[ \left(\frac{X_2}{X_3}\right)_0 + (1 - \lambda_3) \Delta\left(\frac{X_2}{X_3}\right)_{t0} \right] \times [(X_4)_0 + \lambda_4 \Delta(X_4)_{t0}] \times \Delta\left(\frac{X_3}{X_4}\right)_{t0} \\ X_4 &= \left[ \left(\frac{V}{X_1}\right)_0 + (1 - \lambda_1) \Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0} \right] \times \left[ \left(\frac{X_1}{X_2}\right)_0 + (1 - \lambda_2) \Delta\left(\frac{X_1}{X_2}\right)_{t0} \right] \times \\ &\quad \left[ \left(\frac{X_2}{X_3}\right)_0 + (1 - \lambda_3) \Delta\left(\frac{X_2}{X_3}\right)_{t0} \right] \times \left[ \left(\frac{X_3}{X_4}\right)_0 + (1 - \lambda_4) \Delta\left(\frac{X_3}{X_4}\right)_{t0} \right] \times \Delta(X_4)_{t0} \end{aligned} \quad (9)$$

on  $\lambda_1$  es pot calcular com:

$$\lambda_1 = \frac{\left| \frac{\Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0}}{\left(\frac{V}{X_1}\right)_0} \right|}{\left| \frac{\Delta\left(\frac{V}{X_1}\right)_{t0}}{\left(\frac{V}{X_1}\right)_0} \right| + \left| \frac{\Delta X_{1t0}}{X_{10}} \right|} \quad (10)$$

$\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  i  $\lambda_4$  es calculen de forma anàloga amb els factors  $X_1/X_2$ ,  $X_2/X_3$  i  $X_3/X_4$  respectivament.

## D.3 Self-evaluation of the ASA approach

De l'autoavaluació feta pels autors ens interessa destacar el següent Vehmas i col. (2008):

Capacitats de *reporting* [...]. La metodologia de descomposició és totalment transparent en l'actual format de full de càlcul Microsoft Excel de casos específics de l'enfocament d'ASA.

Facilitat d'ús [...]. De moment, aquest és potser el punt més feble de l'enfocament de ASA, canviar l'any de referència, per tal d'introduir les variables en la descomposició encadenats de dos factors, o el valor del coeficient  $\lambda$  requereix relativament molta feina en les versions actuals dels fulls de càlcul MS Excel

En altres paraules, en el primer cas un full de càlcul permet seguir els passos fets, és a dir, el mètode seguit, cosa que facilita l'elaboració de reports. En el segon cas, el full de càlcul dificulta actualitzar els valors o les referències.