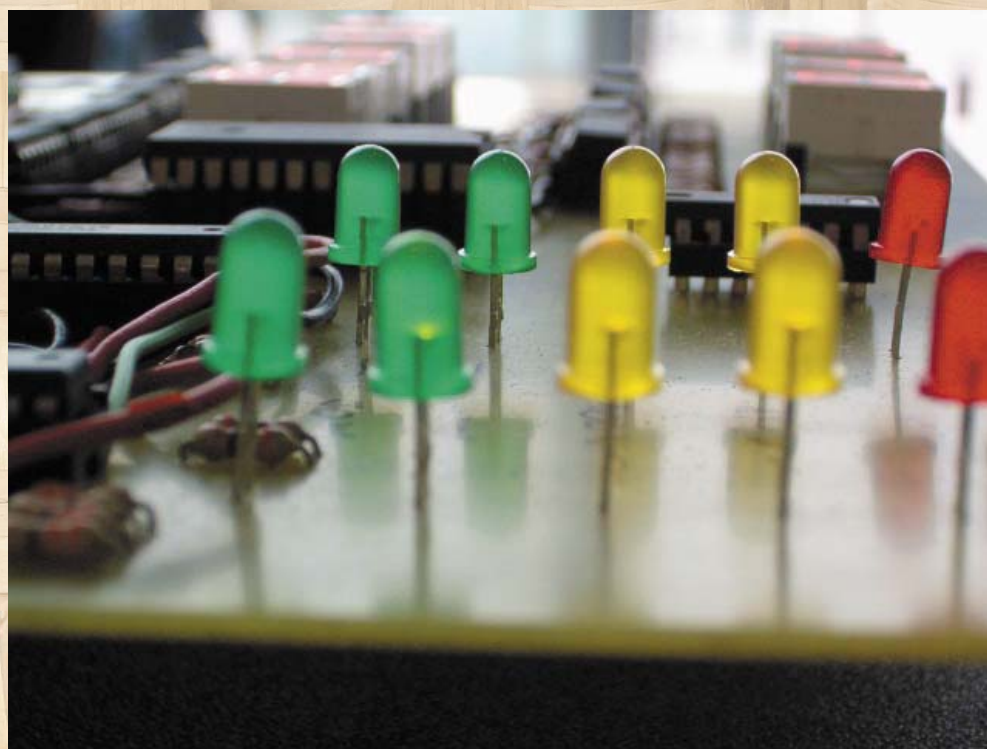


# TTS

# Automàtica i sostenibilitat

Antoni Grau  
Yolanda Bolea  
Joan Domingo  
Juan Gámiz  
Hermini Martínez

Temes de Tecnologia i Sostenibilitat  
Temas de Tecnología y Sostenibilidad



# **Automàtica i sostenibilitat**

**Antoni Grau  
Yolanda Bolea  
Joan Domingo  
Juan Gámiz  
Hermini Martínez**

## Presentació

---

Teniu a les mans un nou exemplar de la col·lecció Temes de Tecnologia i Sostenibilitat, promoguda per Cites en el marc de la planificació de sostenibilitat de la UPC. Actualitzar els programes formatius de nivell universitari no és una qüestió senzilla, però segurament és necessària i essencial per formar professionals de futur que puguin contribuir, cadascun des del seu lloc de treball, al desenvolupament sostenible.

El pas que aquesta col·lecció ens proposa és consolidar nous conceptes, paradigmes i coneixements, posant a l'abast materials originals que permetin introduir conceptes ambientals i de sostenibilitat a disciplines tecnològiques impartides a la UPC. Aquesta col·lecció es compon d'una sèrie de publicacions teòriques que analitzen les relacions entre àrees de coneixement tècniques i el medi ambient. Així mateix, cal destacar que cada una d'aquestes publicacions consta de materials pràctics (exemples, casos d'estudi, etc.) disponibles a Internet, els quals es van actualitzant de forma dinàmica i periòdica.

Els destinataris d'aquesta col·lecció són tant els docents com els alumnes de les àrees de coneixement vinculades a la matèria, que vulguin aprofundir en les interrelacions entre aquesta disciplina i les qüestions relacionades amb la sostenibilitat.

## Introducció

---

### Objectius específics del projecte

El document que teniu a les mans és un gra de sorra més en l'ambientalització curricular i, seguint el seu curs, és un dels compromisos que es varen fixar en el Pla d'ambientalització curricular del Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAI) que es va aprovar l'estiu del 2002.

L'ambientalització curricular suposa un canvi global en el plantejament, els continguts i el context de les titulacions i els estudis en general. Aquest canvi depèn principalment de la voluntat i la dedicació de professors individuals a ambientalitzar la seva assignatura. Tanmateix, l'ambientalització curricular es pot accelerar per mitjà d'un programa col·lectiu que la planifiqui i sistematitzi, i que li dóna visibilitat de conjunt. Els professionals, en aquest cas enginyers, han de ser capaços de tractar de manera ambiental o ambientalitzada els passos que hauran de seguir per tal de resoldre un problema d'enginyeria: formulació del problema, anàlisi del problema, recerca de possibles solucions, selecció de la solució desitjada i especificació de la solució seleccionada.

Per tal d'aconseguir els objectius plantejats, cal proporcionar uns coneixements multidisciplinars. Això vol dir que, sense deixar d'explicar els conceptes clau i la temàtica específica de cadascuna de les assignatures, aquestes s'han de poder tractar d'una manera ambientalitzada.

Així doncs, aquest treball forma part de l'organització i planificació de les eines de suport per al professorat per a l'ambientalització dels ensenyaments de primer i segon cicles, però es poden estendre més enllà, en cursos de postgrau i doctorat.

El Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial imparteix docència en diverses escoles i facultats de la UPC. Atesa aquesta dispersió, la majoria de les assignatures s'han agrupat en quatre grans àrees: tecnologia de computadors i informàtica industrial; enginyeria de control; tecnologia de control i automatització, i robòtica en l'entorn industrial.

Cadascuna d'aquestes àrees té una vinculació estreta amb l'aplicabilitat dels ensenyaments, i precisament aquest apropament entre docència i món real fa que sigui de gran importància aprofundir l'ambientalització de les tècniques que s'expliquen i, sobretot, estudiar com modificar les solucions industrials existents avui dia en altres solucions més ben integrades en un món sostenible.

Al llarg de tota l'obra es podrà comprovar, per mitjà dels aspectes més teòrics de cada disciplina, que no més modificant petits comportaments i hàbits s'arriba a solucions igualment òptimes, després d'aplicar-hi uns criteris de residus mínims, utilitzant material reciclable o reusable, fent una despesa mínima d'energia o usant energies renovables i altres tècniques que tenen gran impacte en el medi ambient.

Juntament amb aquesta edició en paper dels aspectes teòrics de l'ambientalització curricular de l'Enginyeria de Sistemes i Automàtica, els autors han editat i publicat un CD amb exercicis, problemes i tests d'autoavaluació (<http://biblioteca.upc.es/e-ambit/>). Properament també es publicarà, en col·laboració amb el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, un llibre i un CD amb pràctiques de laboratori que complementen la teoria i els problemes d'aquesta àrea.

## Mòduls ambientals

Les quatre grans àrees en les quals s'ha agrupat tota la docència del Departament d'ESAI són els anomenats mòduls ambientals. S'ha dedicat un capítol per a cadascun d'ells i, a la vegada, cada mòdul s'ha subdividit en diferents temes o submòduls, els quals s'enumeren a continuació. Aquesta divisió pretén ser una guia per als professors i alumnes per tal que identifiquin a quin submòdul correspon l'assignatura que imparteixen o reben (segons el cas) per mitjà d'una sèrie de descriptors o paraules clau, que en alguns casos corresponen a noms d'assignatures. Alguns descriptors apareixen en diferents submòduls, atès el seu caràcter pluridisciplinari. Cal notar que els descriptors són prou genèrics per tal que aquest llibre es pugui fer servir en totes aquelles universitats on s'imparteixi docència dins l'àrea de coneixement de l'enginyeria de sistemes i automàtica (ESA).

### Mòdul de Tecnologia de Computadors i Informàtica Industrial

- *Fonaments tecnològics dels computadors.* Dispositius programables en automàtica de processos; disseny i programació de hardware; fonaments d'informàtica; informàtica industrial; perifèrics i interfícies.
- *Sistemes digitals.* Arquitectura de computadors; control lògic i seqüencial; dispositius programables en automàtica de processos; disseny i programació de hardware; fonaments d'informàtica; informàtica industrial; perifèrics i interfícies; sistemes digitals i microprocessadors.
- *Microprocessadors.* Arquitectura de computadors; dispositius programables en automàtica de processos; disseny i implementació amb microcontroladors; disseny i programació de hardware; informàtica industrial; informàtica en entorns industrials; sistemes digitals i microprocessadors.
- *Computadors industrials.* Automatització industrial; informàtica en entorns industrials; informàtica i xarxes de comunicació; informàtica industrial; perifèrics i interfícies; sistemes informàtics en temps real.
- *Visió per computador.* Diagnosi per la imatge; sistemes de percepció automàtica en la indústria; visió per ordinador.

### Mòdul d'Enginyeria de Control

- *Modelització i simulació.* Anàlisi i simulació de sistemes amb ordinador; modelatge i simulació de sistemes; modelització i simulació de sistemes dinàmics.
- *Teoria de control.* Anàlisi del senyal; automàtica naval; control avançat; control i instrumentació de processos químics; control per computador; dinàmica de sistemes; enginyeria de control; fonaments d'automàtica; introducció a l'automàtica; optimització i control òptim; regulació automàtica; tècniques avançades de control; teoria de control.

### Mòdul de Tecnologia de Control i Automatització

- *Instrumentació industrial.* Automatització industrial; control i instrumentació de processos químics; dispositius programables en automàtica de processos; enginyeria de control; tecnologia de sistemes de control.

- *Sistemes per al control de planta.* Automàtica; automàtica bàsica; enginyeria de control; laboratori de sistemes de control; regulació automàtica; sistemes informàtics en temps real; tècniques avançades de control; tecnologia de control; tecnologia de sistemes de control.
- *Sistemes per a l'automatització del procés.* Automatització industrial; control intel·ligent; tecnologia de control; tecnologia de sistemes de control; sistemes de producció integrats.
- *Comunicacions industrials.* Informàtica i comunicacions; informàtica i xarxes de comunicació; programació de sistemes industrials de comunicació; xarxes de comunicacions industrials.

#### Mòdul de Robòtica en l'Entorn Industrial

Robòtica; robòtica aplicada; robòtica industrial; robòtica mòbil; control i programació de robots.

Antoni Grau  
Coordinador del Programa de Medi Ambient  
Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial  
Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona, setembre de 2005

## Índex

---

1	Ambientalització curricular en l'àmbit de l'enginyeria .....	15
1.1	Enginyeria i medi ambient.....	16
1.2	Socioecologia.....	17
1.3	Educació ambiental .....	19
1.3.1	Antecedents i necessitat .....	19
1.3.2	Educació ambiental: definició, valors i característiques .....	21
1.4	Ambientalització curricular .....	23
1.4.1	Orígens .....	24
1.4.2	Planificació de l'ambientalització curricular .....	24
1.4.3	Objectius .....	25
1.4.4	Eines de suport.....	25
1.4.5	Metodologia d'ambientalització en els estudis tecnològics .....	26
2	Mòdul de Tecnologia de computadors i informàtica industrial.....	29
2.1	Fonaments tecnològics dels computadors.....	29
2.1.1	Ambientalització des del punt de vista de l'usuari .....	29
2.1.2	Ambientalització des del punt de vista de l'enginyer .....	30
2.2	Sistemes digitals.....	32
2.3	Microprocessadors.....	34
2.4	Computadors industrials .....	38
2.5	Visió per computador .....	42
2.5.1	Aplicacions de visió per computador en el medi ambient.....	43
3	Mòdul d'Enginyeria de control .....	47
3.1	Dades, models, control i medi ambient.....	48
3.2	Monitoratge.....	51
3.2.1	Recollida de dades per a la predicció .....	51
3.2.2	Sistemes de monitoratge, supervisió i control.....	53
3.3	Modelització i simulació de sistemes .....	55
3.4	Teoria de control.....	59
3.4.1	Disseny de sistemes de control.....	61
3.4.2	Aplicacions ambientals i solucions ambientalitzadores .....	63
4	Mòdul de Tecnologia de control i automatització .....	67
4.1	Instrumentació industrial.....	67
4.2	Sistemes per al control de planta .....	75
4.3	Sistemes per a l'automatització del procés .....	82
4.4	Comunicacions industrials .....	87

---

4.4.1 Introducció. Les comunicacions en l'automatització de processos.....	87
4.4.2 Característiques d'una xarxa de comunicacions industrial .....	89
4.4.3 Ambientalització en les comunicacions industrials.....	92
5 Mòdul de Robòtica en l'entorn industrial.....	97
5.1 Impacte dels robots en la nostra societat.....	98
5.2 Per a què utilitzem els robots.....	99
5.2.1 Per què ens interessen els robots des d'un punt de vista ambiental .....	100
5.2.2 Aspectes socioeconòmics dels robots .....	102
5.3 Elements que cal considerar en l'ambientalització dels àmbits de la robòtica.....	103
5.3.1 Problemes genèrics inherents a l'activitat industrial .....	104
5.3.2 Problemes relacionats directament amb el robot i relatius a la seva estructura mecànica, el seu controlador i tots els elements que el formen .....	106
5.3.3 Problemes indirectament relacionats amb el robot.....	107
5.3.3.1 Problemes derivats de l'activitat del robot dins el procés productiu.....	107
5.3.3.2 Problemes socials derivats de la pròpia presència del robot.....	108
6 Perspectives.....	109
7 Bibliografia.....	111
8 Glossari .....	119



## 1 Ambientabilització curricular en l'àmbit de l'enginyeria

---

L'enginyeria es pot descriure, de manera molt general, com la solució de problemes. Una descripció més detallada seria dir que es tracta de l'aplicació de la ciència per tal d'emprar els recursos disponibles per al benefici de la humanitat. En aquest cas, el terme *ciència* s'empra en un sentit més ampli. Encara que fa algun temps els principals integrants de la ciència eren algunes lleis de la física, avui dia, a causa de la diversitat creixent de les activitats humanes i de la generació de nous coneixements, el volum de les lleis científiques en què l'enginyeria es basa ha augmentat de manera considerable. Les contribucions més evidents són les que es refereixen al medi ambient, la conservació de recursos i les tecnologies de la informació i de la computació. Una conseqüència d'aquesta tendència és que es requereix més creativitat, criteri, intuïció i habilitat per integrar el coneixement dels diversos camps (figura 1.1), amb el propòsit de resoldre els problemes d'enginyeria actuals.

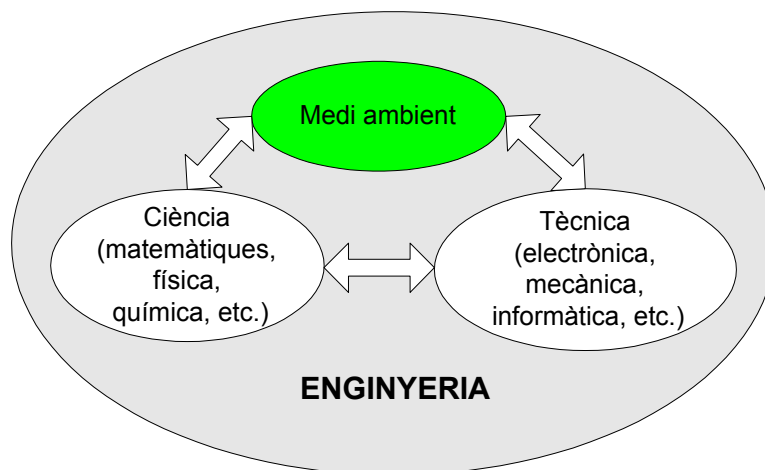


Figura 1.1. Interrelació de les àrees que haurien de formar l'enginyeria ambientabilitzada

Cal destacar que, originàriament, la producció industrial era una activitat que aportava més beneficis que inconvenients i les agressions ambientals que generava es consideraven simples fenòmens aïllats, amb repercussió gairebé local. Algunes catàstrofes naturals propiciades per accidents industrials han estat suficients perquè el paradigma de la producció a cost ambiental nul fos qüestionat. A partir de la sensibilització creixent cap a la problemàtica ambiental s'han proposat diversos marcs d'actuació industrial. Per tant, també es necessiten coneixements ambientals per tal de trobar una "producció més neta" (P+N) des de criteris de desenvolupament sostenible, cosa que significa acceptar el risc tecnològic i minimitzar-lo amb l'aplicació contínua d'una estratègia preventiva integrada en els sistemes i processos. L'objectiu és augmentar l'eficiència ecològica i minimitzar qualsevol risc per a l'ésser humà i el medi ambient.

## 1.1 Enginyeria i medi ambient

El desenvolupament industrial (segle XIX) va tenir lloc en un marc econòmic i social en el qual els problemes ambientals rarament es tenien en compte. No és difícil trobar diverses raons que ho expliquin: en un món menys poblat hi havia altres factors de supervivència més importants; es desconeixia la relació existent entre pol·lució i salut; els primers conflictes tenien caràcter local i es podien resoldre, també localment, difícilment amb l'aturada de l'activitat; a més, des de l'inici de la revolució industrial sempre es va considerar que el benefici que s'obtenia de la indústria era netament superior als inconvenients que podia ocasionar [rig98].

Aquesta situació va començar a canviar quan la industrialització es va estendre i els problemes industrials es van fer molt més evidents perquè els impactes es produïen dins el perímetre de les aglomeracions urbanes. Alguns incidents de gran repercussió van alertar dels problemes de salut, relacionats clarament amb la pol·lució generada pel progrés industrial. Aquest és el cas del famós *smog* de Londres, causat per les centrals tèrmiques alimentades amb carbó amb un contingut excessiu en sofre. Encara que els problemes de salut són els que preocupen més la societat actual, els problemes ecològics han adquirit una gran importància en aquests darrers anys. El desenvolupament sostenible exigeix la reducció en origen d'abocaments i residus mitjançant tecnologies netes, però també solucions per a l'aprofitament i el reciclatge dels residus produïts (urbans, industrials, etc.) i per a l'eliminació efectiva de les deixalles no aprofitables [cal99].

Encara que la importància actual i futura de la indústria resulta indiscutible, també és cert que en el seu desenvolupament més recent (segona meitat del segle XX) aquesta indústria ha contribuït a l'esgotament progressiu d'importants primeres matèries i recursos energètics, com també al deteriorament del medi ambient. Aquest deteriorament progressiu de la qualitat ambiental ha motivat una presa de consciència creixent del problema i una preocupació per a la seva resolució [cal99].

Actualment, la indústria afronta uns reptes importants que, depenent de la manera com es considerin i de les possibles solucions que s'abordin, n'afectaran, en gran mesura, el desenvolupament futur. La producció a gran escala i l'ús intensiu i creixent de l'energia han provocat que en menys de dos-cents anys s'estiguin consumint recursos energètics primaris (combustibles fòssils) que van trigar milers d'anys a formar-se. Gran part del sector industrial actual (per exemple, la indústria química) es basa en el gas natural i el petroli i, per tal d'allargar tot el possible les seves reserves, el seu consum s'ha de limitar. En aquest sentit, l'adopció d'algunes mesures, com les que s'indiquen a continuació, ajudarien a assolir aquests objectius: 1) allargament de la vida del petroli substituint la seva contribució energètica per altres fonts d'energia netes i abundants; 2) desenvolupament de noves fonts energètiques (energies renovables: eòlica, solar, geotèrmica, etc.); 3) aprofitament integral de les primeres matèries i els productes residuals, mitjançant la millora de les condicions d'operació del procés, la incorporació de tècniques que permetin la recuperació i/o reutilització dels residus, com també la introducció de nous processos productius, entre altres. En definitiva, un canvi cap al que avui es coneix com a *tecnologies netes*. També cal tenir en compte una sèrie d'impactes ecològics (referents al canvi climàtic) sobre la indústria de l'energia (generació d'energia hidroelèctrica i d'energia eòlica), com, per exemple, els canvis de règim i de la intensitat de les precipitacions, dels vents i de l'evaporació [neb97].

L'any 1986, els ambientalistes americans varen lluitar per tal que s'aprovés la Llei de planificació d'emergència i el dret a saber, la qual ha propiciat la creació de la base de dades sobre contaminants més racional, el *Toxic Release Inventory* (TRI), que inclou dades de substàncies químiques tòxiques emeses al sòl, a l'aire i a l'aigua per 24.000 indústries cada any només als Estats Units [epa99].

El TRI va ser fundat amb la creença que els habitants de les comunitats on operaven les indústries tenien el dret a saber els perills que aquestes indústries podien representar. Quan es va proposar per primera vegada aquest inventari, va ser atacat per l'administració Reagan i per nombrosos grups industrials, que el veïen com un malson per a ells i per la paperassa burocràtica que els representaria. De fet, amb els mètodes tradicionals de manteniment de registres, el sistema s'hauria convertit indub-

tablement en això: paperassa burocràtica. No obstant això, amb l'ús d'ordinadors, l'Agència de Protecció del Medi Ambient (EPA) i altres agències estatals sobre contaminació, les quals recullen i introdueixen les dades originals, han estat capaces de manipular de forma eficient l'enorme quantitat de dades que aquest monitoratge implica. Cada any s'enregistren més de 500.000 documents. Els elogis per al TRI han arribat, fins i tot, des dels mateixos líders industrials, els quals són conscients dels seus problemes de contaminació i aquest registre els ajuda a controlar la producció, els residus químics i, en definitiva, els seus diners.

El coneixement públic dels problemes sobre contaminants i la pressió per reduir-los que sovint comporta, pot canviar dràsticament la voluntat d'una empresa de reduir les seves emissions. A Northfield, Minnesota, per exemple, un estudi de les dades del TRI de 1999 realitzat pel Consell per a la Defensa del Recursos Naturals (NRDC) va alterar la forma com els habitants veien la factoria local de circuits electrònics. L'estudi va revelar que la companyia Sheldahl, Inc., estava emetent 400 tones de clorur de metilè, sospitosament carcinogen, a l'atmosfera cada any, una quantitat que la situava en el lloc 45è dels emissors de substàncies químiques causants de càncer en els Estats Units. Les veus que es varen aixecar provocaren suficient pressió a la companyia perquè es negociessin retallades en les emissions com a part d'un nou conveni laboral [smi99]. En altres llocs, també, el fet de fer públiques algunes dades del TRI ha demostrat ser un estímul poderós per centrar l'atenció de la indústria.

Alguns grups han utilitzat les dades del TRI per denunciar més de 150 problemes ambientals a escala local, regional o nacional. Alguns d'aquests estudis han demostrat repetidament quines són les entitats que més contaminen, i hi han fet pressió perquè regulin aquestes emissions. La preparació d'aquestes denúncies s'ha dut a terme de forma senzilla ja que el TRI no sols està recollit de forma informatitzada, sinó que també hi poden tenir accés –i sovint així és– grups externs mitjançant els seus propis ordinadors personals. El TRI ha estat la primera base de dades federal que el Congrés ha demanat que sigui accessible en format electrònic al públic en general [mac93]. El concepte del TRI ha atret l'atenció fora de les fronteres dels Estats Units. El sistema de l'Inventari nacional d'emissions contaminants al Canadà, seguint el model del TRI, va començar a funcionar el 1993. Aquesta base de dades inclou alguns contaminants que el TRI no té en compte, alhora que manté el “dret a saber” dels ciutadans, és a dir, l'accés públic.

Les coses a Europa també han seguit el mateix camí. L'Europa dels 12 va aprovar la creació de la seva pròpia base de dades el gener de 1994. Aquests moviments segueixen els passos de l'*Agenda 21* [age92], l'avantprojecte de la col·laboració global per al medi ambient aprovat per tots els països membres de les Nacions Unides a la Cimera de la Terra de Rio de Janeiro de 1992, la qual reconeixia el concepte del “dret a saber” comunitari i recomanava a totes les nacions que seguissin i establissin sistemes de seguiment i monitoratge de la contaminació segons l'estil TRI [rep92].

## 1.2 Socioecologia

Malgrat alguna floreta semàntica, com la de titllar les ciències socials benenteses com les veritables “ciències pures”, el determinisme biològic de Wilson [sah82] obliga els científics socials a seguir una línia subordinada als científics experimentals, especialment als ecòlegs, amb la qual cosa les ciències naturals i les ciències socials continuen mantenint posicions força irreconciliables. Existeixen, però, altres camins alternatius que volen aproximar el discurs físic amb el discurs social i que, de manera creixent, estan capturant l'interès de la recerca en ciències socials sobre el canvi global. Aquestes alternatives se centren a replantejar la dualitat objecte-subjecte no ja en el terreny epistemològic com ho faria el realisme crític, sinó en el terreny ontològic, ja que és en aquest nivell on encara es manté la separació entre natura i societat i on, almenys implícitament, s'admet l'existència d'un “ordre natural” situat més enllà de l'abast humà [fit89].

L'*impasse* ontològic es mira de solucionar abandonant la idea de considerar “natura” i “societat” com a categories establertes apriorísticament. Més aviat es tractaria d'elements relacionals que s'associen

entre ells d'igual a igual i que donen lloc a entitats que no són ni objectes ni subjectes sinó més aviat formes híbrides, "quasiobjectes" o "quasisubjectes" procedents de la natura i la cultura. Així doncs, autors com Bruno Latour, que ha inspirat aquesta nova formulació dels dos conceptes anteriors, pretenen transcendir el dualisme, acabar amb la terminologia objecte-subjecte i substituir-la per una terminologia que parla d'entitats humanes, entitats no humanes, associacions i "híbrids". Els treballs de Bruno Latour i Donna Haraway, entre d'altres, han donat lloc al que s'anomena *actor-network theory*, que representa una aportació molt innovadora al debat sobre el canvi global, per bé que les seves potencialitats encara no s'hagin explorat gaire [lat93] [har91].

Autors com Víctor Toledo destaquen que la tensió derivada de la crisi ambiental constitueix un escenari positiu ja que suscita noves formes de participació/intervenció, com l'anàlisi multicriterial, en la qual fins i tot l'antagonisme esdevé un valor intel·lectualment motor. La mateixa tensió força el plantejament de noves formes de participació de baix a dalt, tot obrint processos innovadors de desfronterització sectorial, amb la qual cosa la interdisciplinarietat esdevé una eina de treball imprescindible.

Per bé que cal atorgar-los la importància que es mereixen, les lleis de la natura difícilment poden explicar les dinàmiques socials, com tampoc l'ecologia per ella sola no pot abastar totes les modalitats de relació entre les societats humanes i el medi. D'aquí la necessitat d'interdisciplinarietat, ja que els principis entròpics imposen límits materials als fenòmens socials, però no els governen. Pròxim a aquest darrer enfocament, Toledo parla amb to esperançador del que hauria sorgit a contracorrent de la tendència predominant en la ciència contemporània, la qual promou l'especialització excessiva i la parcel·lització del coneixement [tol81]. Aquest nou enfocament pretén integrar les ciències de la naturalesa amb les ciències socials i humanes. Segons J.M. Naredo, suposa una revolució conceptual alimentada per una visió geocèntrica i per una nova consciència global, que intentaria superar el "neoobscurantisme" sense precedents al qual condueix l'especialització científica en camps inconnexos. Per aquest motiu, la necessària interdisciplinarietat es planteja en un procés obert de desfronterització professional i/o corporativisme, encara que aquest sigui de baixa densitat [nar87].

El mateix Toledo [tol96] parla del naixement de "disciplines híbrides" (figura 1.2) com a resposta a la necessitat de transcendir l'"objectivitat fragmentària" mitjançant una explicació multidimensional o integrativa. No cal dir que aquest plantejament ha topat amb la resistència d'alguns ecòlegs, que s'esforcen a circumscriure el seu enfocament només a l'estudi dels fenòmens de la naturalesa, concebuda com una entitat pura, prístina o intocada [wil99]. Però, en aquest esquema on es tenen en compte disciplines tan variades com la història, l'ecologia, la geografia, l'economia, l'agronomia, la sociologia, l'antropologia i l'urbanisme, hi falta la tecnologia. Una tecnologia sostenible que resolgui els diferents problemes actuals (d'enginyeria, informàtica, indústria, medicina, etc.) tenint en compte una solució que, a més d'eficient i barata, sigui "verda".

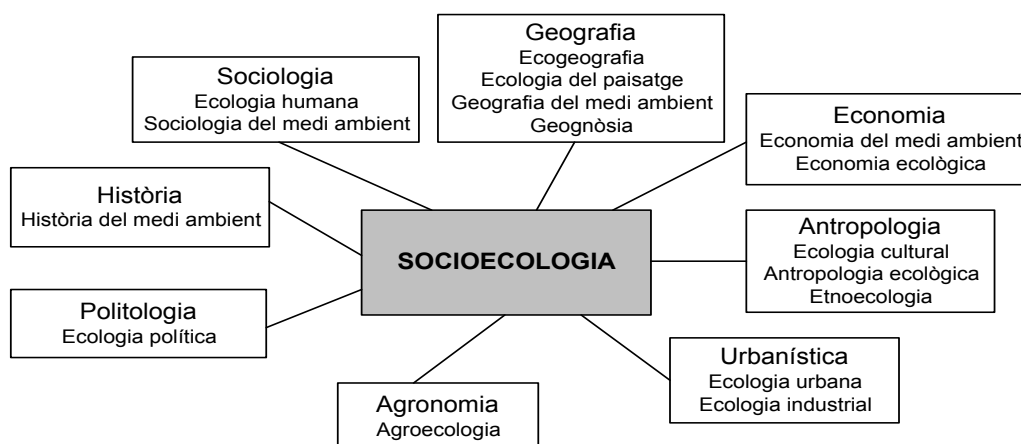


Figura 1.2. Disciplines híbrides, segons Víctor Toledo. Font: [tol96]

En síntesi, la separació entre natura i cultura ha fronteritzat els diferents camps de recerca sobre la crisi ambiental (canvi global, estalvi energètic, educació ambiental, etc.), cosa que ha dificultat enormement la integració necessària entre aquestes dues formes del coneixement i ha contribuït a la reproducció d'esquemes d'anàlisi que no resulten gaire útils per abordar la complexitat entre problemes ambientals actuals. Tanmateix, existeixen propostes d'integració i de síntesi que fan èmfasi en el caràcter dinàmic de natura i cultura, que n'exploren les interrelacions i que no volen privilegiar cap discurs en detriment de l'altre. El repte de la nova ciència global consistiria, doncs, a desenvolupar significats compartits [boa03].

### 1.3 Educació ambiental

Actualment s'està produint una presa de consciència gradual del paper que aconsegueix l'educació en la comprensió, la prevenció i la solució dels problemes ambientals. Entenem que la clau d'aquests problemes està, en bona part, en els factors socials, econòmics i culturals que els provoquen i que, per tant, no serà possible prevenir-los o resoldre'ls amb mitjans exclusivament tecnològics, sinó que sobretot s'haurà de considerar l'actuació dels valors, les actituds i els comportaments dels individus i grups respecte al seu medi.

La idea de no separar l'escola de la vida és molt antiga; només cal recordar que Rousseau ja declarava que "no hi ha més llibre que el món, ni menys instrucció que els fets" i que "la natura és el nostre primer mestre". Avui, aquestes idees encara no estan plenament assumides [dav98]. No obstant això, molts educadors des de sempre han après a partir de l'observació del nostre entorn. A més, és important ser conscients que, des de fa molts anys, els educadors han potenciat actituds de coneixement i respecte d'allò que ens envolta i que ens és imprescindible. És a partir de l'última dècada, però, que es generalitza la consciència de la necessitat de valorar i transmetre unes actituds adequades per al manteniment de la qualitat de vida (conservació dels recursos naturals, utilització intel·ligent del medi, creixement harmònic, etc.). Els valors com a part de la personalitat de l'individu ajuden a l'adquisició d'idees pròpies i indueixen a comportaments conseqüents, la qual cosa aporta la coherència que tota persona necessita reconèixer-se per tal de sentir-se a gust amb ella mateixa.

Ensenyar i aprendre un concepte de matemàtiques, llenguatge, ciències, història, etc., requereix una sèrie de coneixements tècnics que el professor ha de saber transmetre i que l'alumne ha de practicar. Educar per al medi ambient suposa, a més d'ensenyar una bona colla de conceptes, el convenciment que amb aquesta tasca s'incideix per a un canvi de vida o, fins i tot, es treballa per a l'aparició d'una nova ètica.

El problema bàsic que l'educació ambiental (EA) planteja és que no es pot considerar una assignatura asèptica semblant a les que habitualment componen els coneixements transmesos des de l'escola. Requereix una actitud sense dogmatismes, una gran interdisciplinarietat i sobretot el ple convenciment, per part dels docents, que cal incidir plenament en les actituds de la mainada i els joves [ter96b] [ter96c].

#### 1.3.1 Antecedents i necessitat

La problemàtica ambiental que avui viu el nostre món ha esdevingut un tema important de reflexió i de preocupació, tant en el conjunt de la societat com per part d'organismes internacionals i d'institucions nacionals i locals. Qüestions com el creixement accelerat del conjunt de la població mundial en relació amb els recursos (especialment els alimentaris) disponibles en determinades zones del món, la desaparició de grans zones boscoses (concretament, les selves tropicals), la desertització progressiva d'àmplies zones del planeta, l'esgotament dels combustibles fòssils, el perill d'accidents nuclears, les pluges àcides o la disminució de la capa d'ozó, entre altres, són objecte de preocupació per gran part de l'opinió pública mundial i, en tot cas, repercuteixen sobre el

conjunt de la humanitat. Se sol reconèixer la gravetat d'aquesta problemàtica, sobretot en determinats aspectes, fins al punt de considerar-se que poden arribar a posar en perill, a llarg termini, la pròpia continuïtat de l'espècie humana sobre la Terra. No obstant això, és el propi model de desenvolupament dominant en el planeta el marc en el qual es generen els desequilibris ambientals més importants. Així, la situació arriba a ser paradoxal: mentre es produeixen esforços reals des de molt diverses instàncies per abordar i controlar els problemes ambientals, la dinàmica general del sistema socioeconòmic vigent i, més concretament, determinades polítiques de desenvolupament contribueixen a agreujar aquests problemes. La consciència sobre aquesta situació, com també les primeres iniciatives que es poden considerar relacionades amb l'educació per afrontar els problemes ambientals, no sorgeixen en el context de l'escola sinó en altres àmbits socials, i són recollides i difoses sobretot per organismes dependents de l'ONU.

En efecte, a part de determinades accions endegades a final dels seixanta per alguns països europeus, han estat realment els programes de la UNESCO els que han donat rellevància mundial a l'educació ambiental. La posada en funcionament, el 1971 del programa MAB per part de diversos organismes internacionals (FAO, OMS, IUCN i UNESCO) té una importància especial. Després d'aquest primer pas, se'n succeeixen d'altres, com ara l'informe del Club de Roma (Conferència d'Estocolm, 1972), l'UNEP (1973), el IEEP (1975), la Declaració de Tbilisi (1977), l'Estratègia mundial per a la conservació (1980), l'Informe Brundtland (1987), l'Agenda 21 (Cimera de la Terra, 1992), el Pla d'acció de Lisboa (1992), la Carta d'Aalborg (Conferència Europea sobre Ciutats i Pobles Sostenibles, 1994) i diferents informes desenvolupats en la Cimera de Johannesburg (2002), que van consolidant les bases d'una educació ambiental.

Concretament, a la Conferència d'Estocolm es va adjudicar a l'EA un paper clau. Pocs anys després, es consideraria excessiu, sobretot per la direcció que se li va donar, exclusivament orientada als joves i als professors, mentre que s'alliberava de responsabilitats la societat adulta, particularment els sectors que actuaven sobre el medi. De tota manera, cal conèixer-ne els continguts, ja que aquest és el punt d'inici conceptual de l'educació i de la comunicació ambiental.

En efecte, al cap de cinc anys, l'octubre de 1977, a la Conferència Inter-governamental sobre Educació convocada per la Unesco a Tbilisi (Geòrgia), es van precisar les aportacions corresponents a l'educació i es van delinear la funció, els objectius, els principis rectoris, els destinataris, els continguts i els mètodes de la innovació educativa denominada educació ambiental. En aquesta conferència es definirà per primera vegada aquest concepte, juntament amb una declaració que serà l'eix vertebral de l'EA, entesa com la via que ha de portar a la solució dels problemes ambientals.

Actualment es necessiten professionals que puguin incidir molt en la sostenibilitat i el medi ambient, capaços d'oferir una visió global dels reptes ambientals per tal de preservar els recursos naturals, prevenir catàstrofes i el canvi climàtic, etc. La globalitat i l'abast del repte sostenible necessita la participació de tothom, en particular de les persones que en el futur puguin prendre decisions.

Calen empresaris, constructors, científics, informàtics, enginyers, advocats i filòsofs que construeixin solucions ambientals de baix a dalt en el seu lloc de treball i en el seu marc competencial.

La universitat, com a institució orientada a la generació de consciència crítica, té la responsabilitat de donar una formació integral amb valors ètics i ambientals als estudiants adults que estan a les portes de la seva vida professional.

Com a institució de generació de coneixement, ha d'oferir una formació inter-disciplinària per tal de poder combatre els problemes ambientals a partir de diferents disciplines, com les ciències naturals i socials, les tecnologies, l'ètica, etc. Per tant, l'ambientalització curricular, és a dir, l'educació ambiental realitzada a la universitat és un dels aspectes clau per tal d'aconseguir una societat sostenible i amb una millor qualitat de vida [cap99].

### 1.3.2 Educació ambiental: definició, valors i característiques

#### Definició

L'educació és la institució social que té la responsabilitat principal en la transmissió a les generacions futures de la saviesa, els coneixements i l'experiència obtinguts del passat. A més, pot ser el que més pot influir en el canvi de les actituds i els comportaments humans, en la promoció del creixement econòmic i l'augment de la qualitat de vida, i en l'aportació del coneixement i les habilitats que generen ocupació i incrementen la productivitat. En un món on la manca de recursos i els desastres naturals han quedat ben palesos, s'han de desenvolupar programes educacionals que incorporin conceptes de sostenibilitat en tots els nivells de l'ensenyament, des del primari fins a l'universitari, i per a tots els grups de la societat. En aquesta ambiciosa tasca d'educació ambiental que moltes persones i institucions s'han plantejat d'ençà els anys vuitanta, a les escoles catalanes ja s'ha recorregut un bon tram de camí, en el qual són molts els qui hi han fet la seva aportació [age92] [cri02] [ter83].

L'educació ambiental és un procés educatiu de caràcter continu i permanent perquè les persones i la col·lectivitat prenguin consciència de les interrelacions entre l'ésser humà i el medi (en els seus aspectes físics, biològics, químics, socials, econòmics, psicològics i culturals) i adquireixin les habilitats necessàries per aconseguir una relació sostenible. Requereix coneixement, informació i anàlisi [cri02]. Per tal d'incidir en els aspectes anteriors sobre les persones, existeixen dos tipus d'educació ambiental: la formal i la informal. La primera és la que s'imparteix dins el sistema públic i privat d'educació (ja sigui primària [can81] [ter96b], secundària [ter96c], de batxillerat, universitària o professional [cap99] [sem01] [url45] [url36] [url32]); mentre que l'EA informal consisteix en les pràctiques educatives que, encara que estiguin estructurades i siguin intencionals, sistemàtiques i amb objectius ben definits, tenen un caràcter no escolar i, per tant, resten fora del sistema educatiu reglat o formal.

A l'escola, els eixos transversals es defineixen com aquells aspectes destacables en la nostra societat que també han de formar part del currículum i, per tant, del procés d'ensenyament-aprenentatge. Aquests eixos transversals han de tenir un tractament interdisciplinari. Exemples d'eixos transversals en l'educació primària poden ser les tecnologies de la informació, la seguretat viària, l'educació per al consum, l'educació per a la salut i l'educació ambiental [jun01].

A més, l'EA necessita cercar inèrcies (tant internes com externes als centres) i fomentar la transversalitat a tots els nivells educatius (figura 1.3) per tal que l'alumne estableixi relacions entre diverses disciplines i experimenti un creixement intens en la seva formació actitudinal i socioemocional, i en el seu desenvolupament cognitiu.

#### Valors

L'educació ambiental, com que és un procés educatiu, necessita incidir en un conjunt de valors que ens guiïn en l'adquisició d'actituds, hàbits i normes per aconseguir una relació sostenible amb la natura. Per tant, l'objectiu principal és educar per aconseguir la sostenibilitat, que és la situació social i ambiental que assoleix, a través de tots els mitjans possibles (polítics, econòmics, culturals, científics i socials), un sistema basat en dues premisses fonamentals: no ser agressiu amb el medi ambient i ser socialment just. Els valors principals de l'EA són el respecte i l'empatia per la natura. El primer valor consisteix a reconèixer i considerar la vàlua de la natura i que la nostra interferència amb ella sigui mínima i compatible amb el seu funcionament. El segon consisteix a posar-se en el lloc de la natura, sentir-se'n part (integrat en ella).

Per propiciar aquests dos valors respecte de la natura, se'n poden utilitzar altres que, sense ser exclusius de l'EA, n'afavoreixen el desenvolupament. Aquests valors són la cooperació, la solidaritat, la responsabilitat, la sensibilitat i la universalitat, i s'anomenen *instrumentals* ja que ens en servim per aconseguir els dos valors principals.

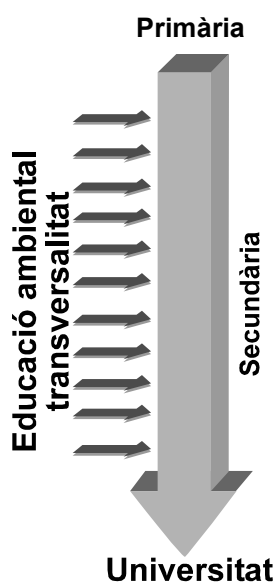


Figura 1.3. Educació ambiental transversal en tots els nivells educatius

La *cooperació* tracta de reconèixer la necessitat de considerar i aplicar l'esforç comú, la tasca en equip, la valoració del grup, per trobar la millor solució dels problemes, per a l'aprenentatge dels processos.

La *solidaritat* tracta de reconèixer la necessitat d'atenció i suport a la solució dels problemes aliens encara que, aparentment, no ens afectin de manera directa ja que les dificultats de la humanitat ens repercuteixen.

La *responsabilitat* tracta de reconèixer la necessitat d'actuar de manera conscient, dels efectes i les conseqüències que produeix la pròpia actuació (o no actuació).

La *sensibilitat* tracta de reconèixer la necessitat d'actuar, de tenir present i atendre els aspectes afectius de les situacions i persones.

La *universalitat* tracta de reconèixer la necessitat d'actuar, de tenir present i d'atendre els problemes dins el context general i com a conseqüència d'un conjunt de relacions que van més enllà dels aspectes locals.

### Característiques

Amb relació a l'educació ambiental, la Conferència Intergovernamental d'Educació Ambiental de Tbilisi va descriure, a la Carta de Belgrad, les etapes d'aprenentatge en què es basen els objectius de l'educació ambiental contemporània, considerant que les actituds humanes són el resultat d'un lent procés d'aprenentatge i de transmissió de valors. Les etapes són les següents: informació, coneixements, comprensió, consciència, sensibilització, actituds (valors), capacitat i participació.

Els principis rectors de l'educació ambiental contemporània, segons la Declaració de Tbilisi [une75] [une77], són els següents:

- Considerar el medi com un tot, amb els seus aspectes naturals i els creats per la societat, tecnològics i socials (econòmics, polítics, científics, històrics, culturals, morals, estètics).
- Ser un procés continu, que ha de començar en l'àmbit pre-escolar i continuar a l'escolar i l'extraescolar.
- Adoptar un punt de vista interdisciplinari i utilitzar els recursos de cada disciplina, de manera que els problemes del medi ambient se situïn en una perspectiva global i equilibrada.
- Examinar les qüestions principals del medi des de les òptiques local, estatal, regional i internacional, per tal que els alumnes es facin una idea de les condicions ambientals que es donen en les altres regions geogràfiques.
- Centrar-se en les situacions actuals i futures del medi, tenint en compte la seva perspectiva històrica.
- Insistir sobre el valor i la necessitat d'una col·laboració local, estatal i internacional en la prevenció i la resolució dels problemes del medi ambient.
- Estudiar sistemàticament, des del punt de vista del medi, els plans de desenvolupament i creixement.
- Fer participar els alumnes de les seves experiències d'aprenentatge, i donar-los l'oportunitat de prendre decisions referents a aquestes i d'acceptar-ne les conseqüències.
- Ajudar els alumnes a revelar els símptomes i les causes reals dels problemes ambientals.
- Remarcar la complexitat de les qüestions del medi, com també la necessitat de desenvolupar el sentit crític i les aptituds concretes per resoldre els problemes.



- Utilitzar mitjans educatius variats i una àmplia gamma de mètodes de comunicació i d'adquisició dels coneixements sobre el medi, i atendre adequadament les activitats pràctiques i les experiències.
- Elaborar un informe per als estudiants de totes les edats, adreçat a sensibilitzar-los en el tema del medi ambient, a proporcionar-los els coneixements i l'aptitud necessaris per solucionar els problemes i determinar els valors, que atregui especialment l'atenció dels més joves cap a qüestions del medi que es produeixen en la seva pròpia comunitat.

## 1.4 Ambientalització curricular

L'ambientalització curricular comprèn la introducció de coneixements, criteris i valors ambientals i sostenibles en els estudis i programes universitaris. La particularitat de l'ambientalització curricular és que representa una educació ambiental d'un ampli abast, ja que va dirigida a persones adultes amb gran capacitat d'anàlisi i reflexió, persones que estan al llindar del món professional. Suposa incloure, en els plans d'estudis, els conceptes i els instruments que permeten comprendre i apreciar el medi ambient i la seva complexitat, entendre la relació entre l'activitat humana i el medi ambient i integrar el factor ambiental en l'activitat professional. Comporta la integració d'aquests coneixements i del paradigma del desenvolupament sostenible en les titulacions existents, per mitjà d'assignatures ja establertes. Per tant, representa un canvi radical en la concepció i l'explicació de moltes de les matèries que s'imparteixen a la universitat.

De fet, els acords de Tbilisi [une77] representen el punt d'inflexió històric de la formació ambiental. En el fons, marquen el punt de partida de les diferents variables d'ambientalització curricular, que d'alguna manera acabaran influïnt en les diferents formacions universitàries, i de fons representen la gènesi de les ciències ambientals.

La consciència sobre la bondat o la maldat d'alguns actes individuals determinats només s'assoleix després de rebre informació i coneixements sobre el problema i comprendre'l. Posteriorment, si hi ha una empatia afectiva respecte del problema arriba la "sensibilització".

La sensibilització davant els problemes ambientals planteja nous dilemes morals que fan revisar paradigmes i condueix a una revisió de l'escala ètica de valors i, per tant, de la forma d'actuar davant el problema. A continuació, per poder participar activament en la solució del problema, calen "aptituds" que capacitin per analitzar i avaluar objectivament els problemes i permetin utilitzar les eines tecnicosocials disponibles per intervenir en la direcció del mínim impacte ambiental i social. Però tot això no serveix de res si no provoca una "implicació personal" davant els problemes plantejats que en faciliti la solució. Així doncs, la "participació" i el "compromís" que comporta és la finalitat última del procés d'educació ambiental [car98].

Aquesta reflexió només pretén remarcar que, si es vol crear una generació d'estudiants que esdevinguin llicenciats, enginyers i científics, que entenguin la seva responsabilitat en dissenyar una societat més pròspera i sostenible i que tinguin les eines per actuar en el seu futur professional, igual que en nivells educatius inferiors, no n'hi ha prou amb la simple addició de continguts ambientals a les assignatures. Cal que el context, el to del professor i els valors que es desprenguin de les classes condueixin al compromís de l'estudiant, és a dir, del futur professional.

L'ambientalització curricular coincideix també amb la majoria de les demandes laborals de les empreses. Les empreses sol·liciten titulats en disciplines tècniques (enginyeria industrial, civil, de telecomunicacions, informàtica, etc.) que estiguin familiaritzats amb els aspectes ambientals de la seva titulació i que siguin capaços de fer servir els seus coneixements tecnològics i ambientals per prendre decisions. Fins ara, els projectes d'enginyeria incorporaven, indefectiblement, la viabilitat econòmica i la viabilitat tècnica; ara és el moment d'afegir-hi la viabilitat ambiental [dom03d].

Les universitats graduen cada any milers de persones. Persones que al llarg de la seva vida professional poden incidir molt en la sostenibilitat i el medi ambient. La societat necessita especialistes que respectin i tinguin en compte l'entorn natural, que siguin capaços d'oferir una visió global dels reptes ambientals, i la universitat ha de començar a formar-los [cap99].

### 1.4.1 Orígens

Universitats i centres de recerca capdavanters en l'ambientalització de la seva docència i recerca són el Massachusetts Institute of Technology (MIT) [url44], la Universitat d'Edimburg [url45], la Universitat de Delft (TUD) [url36], la Universitat de Chalmers (Goteborg) i l'ETH Zurich (Suïssa), entre altres. Darrerament, la UPC [url32] està fent esforços molt seriosos en aquesta línia i el seu nivell està en llocs destacats a Europa.

El MIT va crear l'any 1991 el *Program for Environmental Education and Research* (PEER), amb l'objectiu d'aprofundir els coneixements i els valors ambientals al llarg dels programes formatius de la institució. A partir del convenciment que cada àrea de coneixement de cada escola pot contribuir a la comprensió de la problemàtica sostenible global, el PEER ofereix suport al professorat interessat a ambientalitzar la seva assignatura. Així mateix, el programa actua com a centre de recursos de les assignatures i els cursos ambientals oferts al MIT.

La Universitat d'Edimburg ofereix un paquet de recursos per a la integració de perspectives ambientals en els cursos. Aquest paquet conté una exposició raonada sobre l'ambientalització curricular: des d'una perspectiva global, en el context de l'ensenyament superior, i des del punt de vista dels estudiants i els professors. Perfil diversos mètodes per posar les idees ambientals en pràctica, que inclouen l'ús d'exemples ambientals, posant el material ja existent en un context ambiental i triant temes per a exàmens i treballs de projectes.

La TUD està treballant en tres àmbits interconnectats: 1) Dissenyar una assignatura que ofereixi coneixements de tecnologia i desenvolupament sostenible, i la seva interrelació, amb l'objectiu que s'imparteixi a tots els estudiants de la universitat en els primers cursos. 2) Integrar el desenvolupament sostenible en totes les assignatures que la universitat ofereix, amb una aproximació i profunditat diferents segons el tipus de matèria. 3) Preparar una especialitat en desenvolupament sostenible a cada facultat i departament.

Per la seva banda, la UPC, des de l'aprovació del segon Pla de medi ambient (2002-2005) està treballant intensament per incorporar la cultura de la sostenibilitat en els estudis que s'hi imparteixen. Concretament, en el desenvolupament de material didàctic per part del professorat mitjançant col·leccions en paper i recursos d'Internet de problemes i exercicis ambientalitzats, com també amb la impartició d'alguna assignatura de caràcter optatiu per tal d'introduir l'alumnat en conceptes ambientals seguint l'exemple de la TUD.

### 1.4.2 Planificació de l'ambientalització curricular

L'ambientalització curricular, com ja s'ha dit abans, suposa un canvi de concepció de les matèries i provoca un replantejament global de les titulacions, sobretot dels estudis tecnològics, que depèn fonamentalment de la voluntat i la dedicació dels professors individuals a ambientalitzar la seva assignatura. S'ha d'afavorir la interdisciplinarietat, fent èmfasi especialment en la complexitat dels problemes ambientals i en el fet que moltes vegades les solucions es tracten mitjançant enfocaments interdisciplinaris. La interdisciplinarietat implica la capacitat de pensar àmpliament, de saber quina cosa va lligada amb què. Però, el medi ambient i la sostenibilitat representen un punt de contacte entre àrees de coneixement tradicionalment aïllades entre si. D'aquesta manera, es poden crear nous projectes docents entre escoles i facultats diferents, o entre assignatures, com ja s'ha fet en algunes universi-

tats europees i americanes [url36] [url44] [url45]. L'ambientalització curricular també es pot accelerar per mitjà d'un programa col·lectiu que la planifiqui i sistematitzi, i que li doni visibilitat institucional. Aquesta planificació té més ressò encara si està lligada a processos de revisió dels plans d'estudi. Malgrat que la planificació de l'ambientalització curricular s'esdevindrà de manera particular segons la universitat, la facultat i la titulació, se'n poden entreveure alguns trets metodològics comuns.

Per tal d'aconseguir tirar endavant l'ambientalització curricular de les titulacions d'estudis superiors tecnològics és important seguir els passos següents [gra02]:

1. Informar i sensibilitzar el professorat per tal que sigui conscient que les assignatures que imparteix s'han de poder tractar "de manera ambiental o ambientalitzadora". No obstant això, cal continuar explicant els conceptes clau i la temàtica específica de cadascuna de les assignatures.
2. Donar als professors la formació, les eines necessàries i els incentius suficients per fer aquesta reestructuració de temaris, exercicis i/o pràctiques.

### 1.4.3 Objectius

La inclusió del medi ambient i del desenvolupament sostenible a les titulacions suposa nous paradigmes i plantejaments, que provoquen canvis profunds en algunes assignatures o, en algun cas, la incorporació de noves assignatures. Per tant, l'objectiu principal de l'ambientalització curricular és aconseguir que els professors incorporin en les seves assignatures les consideracions sobre la sostenibilitat que fan referència a les matèries que imparteixen, tant d'una manera formal (explicant aquests aspectes en les classes) com d'una manera implícita (transmetent als estudiants la importància de ser respectuosos amb el medi) [gra02]. Però, atès que falta temps per desenvolupar completament els temaris específics de les assignatures i que la introducció de conceptes de sostenibilitat en aquests seria irrealitzable en la pràctica, en alguns casos se segueixen els passos de la Universitat de Delft [url36] desenvolupant una assignatura (optativa o de lliure elecció, segons el tipus de titulació) per transmetre exclusivament conceptes i coneixements de medi ambient i sostenibilitat per tal de proporcionar als alumnes una educació ambiental en l'enginyeria. D'aquesta manera, l'alumnat interessat pot aconseguir cursar les assignatures específiques de les carreres científicotècniques amb unes bases suficientment sòlides sobre medi ambient. No obstant això, caldria que aquesta assignatura fos obligatòria perquè així tots els nostres futurs enginyers tinguessin uns coneixements bàsics de la sostenibilitat i fossin capaços de relacionar-los amb els problemes d'enginyeria que es poden trobar en el món professional.

### 1.4.4 Eines de suport

El procés d'ambientalitzar els estudis d'enginyeria és llarg i costós, i demana un gran esforç per a un professorat que, en molts casos, està poc preparat per realitzar aquesta ambientalització curricular. Per això, existeixen eines de suport al professorat que s'han desenvolupat de manera experimental, com per exemple: cursos, l'ambientalització del material de suport, l'ambientalització de les biblioteques, jornades i conferències, projectes de tipus ambiental, etc., [cap99] [url32].

En relació amb els cursos per al professorat, una primera aproximació són els programes, ja existents, de postgrau i mestratge de medi ambient. Una mesura especialment important és la creació de cursos específics que tractin els temes ambientals principals d'una manera bàsica i que ofereixin les eines bibliogràfiques i de suport que permetin al professorat continuar avançant i aprenent d'una manera autodidàctica. Un aspecte clau d'aquests cursos és el seu disseny pedagògic, el qual, segons les etapes d'aprenentatge de la Carta de Belgrad [une75], s'orienta en el sentit que la informació ha de servir per sensibilitzar, replantejar els valors i incentivar el compromís i la participació de les persones. La universitat pot afavorir i motivar el professorat per tal que participi en els cursos mitjançant la difusió d'aquests i oferint suport econòmic.

L'ambientalització del material de suport comporta treballar en l'elaboració de bibliografia pròpia i en l'ambientalització de les biblioteques. La redacció d'una bibliografia pròpia facilita la visualització dels coneixements i dels plantejaments de la universitat, però també fa treballar en comú el professorat expert de diverses àrees de coneixement i possibilita sinergies interdisciplinàries. La bibliografia de qualitat serveix per donar suport tant al professorat, per a la realització i planificació de la seva tasca d'ambientalització curricular, com als estudiants, per a la realització dels seus treballs i projectes.

L'ambientalització de les biblioteques representa comprar llibres de medi ambient i desenvolupament sostenible per a les biblioteques universitàries, com també facilitar la recerca de bibliografia i documentació al professorat.

Les jornades i les conferències [url46] representen una eina de sensibilització del professorat, que faciliten que aquest s'impliqui en el nou paradigma de la sostenibilitat. Són eines adequades si hi assisteixen un bon nombre de professors i si s'estableix un debat entre els conferencians (experts de prestigi reconegut) i el professorat, per tal d'arribar a conclusions pràctiques.

#### 1.4.5 Metodologia d'ambientalització en els estudis universitaris tecnològics

La concreció de l'ambientalització curricular dins cada assignatura en particular varia segons la titulació, el tipus d'assignatura, els recursos disponibles i també la visió personal del professor, especialment en relació amb la transmissió de valors i compromisos [cap99] [gra02]. Durant el període d'ambientalització de les assignatures els professors s'hauran de reunir per posar en comú les seves idees i aportacions i distribuir els continguts, els exercicis i les pràctiques de les diferents assignatures per tal d'evitar solapaments de conceptes entre aquestes.

Els punts més importants que s'han de tractar a les universitats per tal d'aconseguir una ambientalització dels estudis universitaris són els següents:

1. Ambientalització del temari de les assignatures.
2. Problemes, exemples, pràctiques i treballs ambientals o ambientalitzadors.
3. Creació de noves assignatures centrades en el medi ambient i en el desenvolupament sostenible.
4. Ambientalització dels projectes de final de carrera (PFC), les tesines i les tesis.

L'ambientalització del temari de les assignatures és segurament l'aplicació més estricta de l'ambientalització curricular. Implica replantejar les assignatures per introduir-hi aquells coneixements que, particularment per a l'assignatura en concret, tenen relació amb el medi ambient i el desenvolupament sostenible. Aquest canvi és diferent per a cada assignatura. Per exemple, en assignatures d'enginyeria química, pot comportar un replantejament global del programa, traient temes per afegir-ne de nous d'una magnitud i profunditat considerables. En canvi, en altres assignatures suposa afegir-hi mitja hora d'un concepte nou en un espai del programa, sense que això signifiqui un replantejament global dels temes. Algunes assignatures, sobretot les més bàsiques, no tenen per què veure's'n afectades directament. En general, l'ambientalització del temari afecta sobretot les matèries tecnològiques, en la mesura que dona entrada a noves tecnologies i procediments.

Altres assignatures ja existents es poden ambientalitzar mitjançant problemes i exemples de medi ambient (ambientals) o "ambientalitzadors" (solució amb caràcter ambiental d'un problema no ambiental). D'aquesta manera, tindrem com a resultat una docència "per a l'ambientalització". En el primer cas, l'ambientalització s'aconsegueix per mitjà d'aplicacions ambientals reals, com per exemple la modelització de la xarxa de clavegueram. En canvi, en el segon cas, com que es tenen en compte els criteris sostenibles a l'hora de proposar una solució a un problema no ambiental, és bo proposar una concepció "essencial" de disseny en la qual s'indiqui explícitament que el disseny d'un producte consisteix no solament a fer realitat el producte i les seves prestacions, sinó que a més es dissenya el

procés de fabricació, es dissenya la utilització del producte, i s'hi inclouen i es prevenen els efectes col·laterals d'aquesta utilització, com poden ser els residus i el consum. Un exemple ambientalitzador pot ser el disseny d'un sistema de control de calefacció que satisfaci l'estalvi energètic com a especificació ambiental.

Un cas semblant però més profund és el de pràctiques i treballs de temes ambientals o de caràcter general, però amb la proposta d'una solució que tingui en compte el medi ambient i la sostenibilitat. Representa ambientalitzar les pràctiques de laboratori i els treballs extensos que constitueixen el nucli d'algunes assignatures. L'ambientalització de les primeres representa una oportunitat per introduir normes de bona pràctica, com ara la separació dels residus especials, el seu envasament i etiquetatge correctes, etc. Per exemple, la utilització de sistemes de visió per computador per a la identificació de components electrònics, els quals són retirats per un robot i classificats posteriorment per a una possible reutilització. El desmuntatge ha estat una peça clau en el reciclatge i la reutilització de components i els seus suports. En relació amb els treballs, el medi ambient pot afavorir l'estudi interdisciplinari mitjançant la participació d'estudiants de diverses disciplines o especialitats, com també el contacte amb la realitat del campus i amb la realitat social externa, tant de les empreses com de l'Administració. Els treballs poden servir a l'estudiant per aprofundir tècniques d'autoaprenentatge, i per familiaritzar-se amb la legislació ambiental o a interpretar la comunicació ambiental. En aquest apartat, també es poden incloure les pràctiques a empreses de medi ambient o a empreses que treballin aspectes ambientals (on la resolució dels problemes no solament tingui com a pauta l'aspecte econòmic, o d'eficàcia, sinó que també tingui en compte la solució "més verda", sempre considerant els dos aspectes anteriors), que permeten als estudiants conèixer millor el món professional.

La creació d'assignatures noves pot comportar un avenç substancial de l'ambientalització curricular. Aquestes assignatures es poden concebre en tres sentits. Una primera opció és com a assignatures globals que ofereixen una visió general del medi ambient i de la sostenibilitat, per tal de fer entendre el paper de la tecnologia en el procés de desenvolupament i oferir tècniques bàsiques per a la seva aplicació en el món professional. Aquestes assignatures les pot desenvolupar professorat de diferents departaments, cosa que els ofereix el valor afegit de la interdisciplinarietat. D'altra banda, tenen sentit sobretot quan es desenvolupen al primer any de carrera, ja que faciliten que els estudiants reflexionin per si mateixos sobre les implicacions ambientals i socials de la resta de matèries que veuran posteriorment, i d'aquesta manera inciten l'esperit crític dels alumnes. Una segona opció és la creació de noves assignatures específiques d'àmbits disciplinaris allunyats de la titulació, com la d'Ecologia a l'Enginyeria o la de Comunicació Ambiental a l'Economia. Finalment, una tercera opció més comuna la representen assignatures específiques, que amplien aspectes concrets del medi ambient lligats a la titulació. En aquest cas, un grup de matèries específiques de temes lligats al medi ambient poder constituir una intensificació o especialitat ambiental de la titulació.

Tanmateix, per diverses raons, també hi ha enfocaments crítics amb la introducció de noves assignatures específiques als programes: un és que l'alfabetització ambiental correspon, en el nostre sistema educatiu, a l'última etapa de l'ensenyament secundari; un altre és que el problema de les titulacions actuals és la saturació d'informació, i que no s'ha d'afegir més informació nova a les titulacions, sinó que s'han de canviar les actituds que transmeten els professors i la connectivitat entre matèries; una tercera raó en contra de les assignatures centrades en el medi és que aquestes poden desmotivar la resta de professorat en l'ambientalització de les seves pròpies assignatures [col98].

En tots els casos, l'ambientalització curricular prioritza arribar a tots els estudiants, per mitjà de les assignatures troncales i obligatòries. El fet d'impartir aquestes assignatures com a optatives o de lliure elecció és positiva si serveix per experimentar. Tanmateix, l'objectiu de l'ambientalització curricular és arribar a la globalitat d'estudiants, cosa que d'aquesta manera no s'aconsegueix.

L'ambientalització de projectes de final de carrera (PFC), tesines i tesis suposa l'arrodoniment de totes les accions anteriors. La seva importància està en el caràcter global, en la seva obligatorietat en algunes titulacions i en el fet de realitzar-se al final de les titulacions, en el punt de màxim contacte

entre el món universitari i el món professional de l'estudiant. Treballant sobre el PFC o la tesina, la universitat pot arribar a tots els estudiants, en el seu punt més alt de maduresa estudiantil. Això ha fet que algunes universitats es plantegin aquesta ambientització com una prioritat i com una via relativament senzilla d'arribar al conjunt de titulats.

L'ambientització del PFC i de la tesina no comporta fer un estudi d'impacte ambiental. En alguns casos, l'estudi d'impacte ambiental representaria un projecte nou. Per contra, l'ambientització del projecte implica incloure els elements que permetin la integració en el medi des de la concepció del projecte. És a dir, dissenyar preventivament afavorint els projectes que generin menys impacte, garanteixin més eficiència energètica, minimitzin la producció de residus i efluent, etc. Això no és obstacle perquè el projecte també inclogui un apartat específic de repercussió ambiental, que contingui una avaluació de la incidència en el medi i la definició de les mesures de correcció i adaptació oportunes.

Evidentment, cada PFC i cada tesina són particulars i s'han d'ambientitzar diferentment segons l'àrea d'estudi i de treball. De tota manera, el fet que un estudiant reflexioni sobre el seu estudi particular i arribi raonadament a la conclusió que, per la seva naturalesa, el seu cas no té implicacions ambientals o socials, significa un avenç i un clar exemple d'ambientització, sobretot tenint en compte que ho haurà de justificar davant d'un tribunal.

Un cas diferent és l'ambientització de les tesis doctorals, ja que aquestes tenen una relació directa amb la recerca i el seu enfocament. L'ambientització dels programes de doctorat representa un aspecte clau en l'enfocament global de l'ambientització, ja que molts dels seus estudiants seran els futurs professors i investigadors i, com a tals, seran responsables de l'ambientització curricular de les assignatures i de trobar nous paradigmes sostenibles a la recerca.

## **2 Mòdul de Tecnologia de computadors i informàtica industrial**

---

### **2.1 Fonaments tecnològics dels computadors**

En aquest mòdul es presenten les idees que permeten ambientalitzar els blocs constructius en què es basen els equips informàtics actuals. Aquests blocs són de naturalesa diversa (circuitos electrònics, elements mecànics de protecció, cablejat de connexions, unitats de discos, etc.), que impliquen un ventall ampli de possibilitats a l'hora d'ambientalitzar aquest camp.

En general, el procés d'ambientalització de productes electrònics de gran consum, com és el cas particular dels actuals ordinadors personals i d'altres equips d'ús comú a la nostra societat (cadena de música Hi-Fi (*high-fidelity*), televisors, vídeos, telèfons mòbils, etc.) requereixen un elaborat procés de reflexió per part dels enginyers encarregats dels seus desenvolupaments, a causa, en gran part, de la diversitat dels elements, blocs i components que intervenen en les diferents etapes de la seva elaboració, des de les primeres etapes de concepció i disseny del producte, fins a les últimes de transport i venda, passant, naturalment, per la fabricació i l'emmagatzematge.

Quan parlem sobre l'ambientalització tecnològica dels computadors electrònics, podem pensar en dues vessants ben diferenciades, segons la persona que en faci la reflexió:

1. Des del punt de vista de l'usuari (particular o entitat) que compra un equip informàtic per al seu ús (professional o lúdic).
2. Des del punt de vista del fabricant que fabrica, transporta i comercialitza el producte informàtic o de l'enginyer que el dissenya.

#### **2.1.1 Ambientalització des del punt de vista de l'usuari**

En el primer cas, el procés d'ambientalització passa per la compra intel·ligent de sistemes que tinguin una sèrie de paràmetres que facin que el producte que s'adquireix sigui "amigable" i respectuós amb l'entorn i el medi ambient, tant en la fase de fabricació, com en el transport, la vida útil i, finalment, quan el producte ha acomplert la seva missió i ha de ser reciclat. Aquests aspectes que cal tenir en compte passen pels punts següents:

a) *Adquisició d'equips de baix consum.* Els fabricants d'equips informàtics indiquen, generalment, el consum als manuals d'usuari dels seus productes. Per tant, convé que el futur comprador d'un d'aquests equips s'informi sobre el consum elèctric de l'equip que està interessat a adquirir. En aquest punt, s'ha de tenir en compte que, per exemple, l'adquisició d'un monitor TFT és molt més rendible des d'un punt de vista del consum que la d'un monitor de tub de raigs catòdics, a més d'altres avantatges associats a la salut dels usuaris, com el fet d'emetre menys radiacions, etc.

b) *Adquisició d'equips amb els components mínims imprescindibles.* Aquest aspecte incideix en la compra d'equips compactes, amb els elements mínims que necessitem com a usuaris per a la nostra aplicació. Des d'aquest punt de vista, un equip portàtil, per exemple, seria una adquisició més bona que un equip de sobretaula, a més d'altres avantatges addicionals, com l'estalvi d'espai que representa per a la gran majoria dels habitatges i les oficines actuals, on l'espai és un bé ben escàs.

c) *Adquisició d'equips amb materials que es puguin reciclar fàcilment.* Malgrat que aquest aspecte és un punt que als usuaris corrents els pot resultar difícil de tenir en compte, perquè, entre altres raons, l'interior de l'equip generalment no és accessible a la majoria d'ells, la compra d'un equip es pot veure afectada pels materials amb els quals estan fets. Els materials metàl·lics i gran part dels plàstics actuals amb què estan fetes les carcasses i les caixes dels equips informàtics d'avui dia són fàcilment reciclables.

d) *Adquisició d'equips que disminueixin l'emissió de radiacions i interferències electromagnètiques.* La gran majoria d'usuaris acaben treballant hores i hores davant del monitor de l'ordinador. Un punt important per a la salut és, per tant, l'emissió de radiacions electromagnètiques dels equips informàtics (especialment de la pantalla). Com a usuaris, només podem confiar en els diferents fabricants d'ordinadors. Així, molts fabricants de monitors d'ordinadors incorporen ja una etiqueta "low radiation", que d'alguna manera garanteix una minimització de la radiació electromagnètica que aquests equips poden radiar a l'ambient.

## 2.1.2 Ambientaltització des del punt de vista de l'enginyer

Des del punt de vista dels enginyers encarregats del disseny, el desenvolupament, la fabricació, el transport i l'emmagatzematge del producte, els aspectes que cal considerar són molt més amplis i, naturalment, més tècnics. En efecte, els actuals computadors contenen una sèrie d'elements i blocs constructius de la naturalesa més diversa. Aquests blocs constructius van des d'elements purament electrònics (com són circuits integrats SSI, MSI i VLSI, targetes de circuits impresos, etc.) fins a dispositius electromecànics (com unitats de discos durs, unitats de CD-ROM, DVD, etc.), passant per elements mecànics (bastidors de subjecció, caixes de protecció, etc.) i una gran quantitat de cablejat de connexions.

L'ambientaltització d'aquests sistemes, independentment de la funcionalitat final a què van destinats, parteix d'una sèrie de punts clau no excloents entre ells:

a) *Realització del disseny sobre la base de criteris ambientals.* Per definició, l'enginyeria és una ciència que té per objectiu fer que les propietats de la matèria i de les fonts d'energia siguin útils a l'ésser humà, d'acord amb l'entorn on aquest habita i preservant el medi ambient. Com queda clar a partir d'aquesta definició, la concepció, el disseny i la construcció d'equips i màquines per a la millora de la qualitat de vida de la nostra societat ha d'estar en perfecta consonància amb el medi ambient, per on aquests sistemes són dissenyats, fabricats, emmagatzemats, transportats, venuts i, finalment, instal·lats. A partir d'aquesta idea general i principal, i centrant-nos en els elements tecnològics dels actuals computadors, convé destacar diferents punts que la concreten i que es desenvolupen a continuació.

b) *Reducció dels elements que intervenen en la fabricació dels computadors.* Els computadors electrònics s'implementen mitjançant circuits integrats (CI) interconnectats entre si amb conductors de coure adherits a una placa de baquelita o de fibra de vidre. Aquestes plaques, per una banda, estan fetes de múltiples materials (resines, adhesius, etc.) i, per l'altra, en els processos tant de producció de les pròpies plaques com de materialització de cada circuit específic, hi intervenen diferents productes químics que suposen la generació de residus que sovint acaben, en el cas pitjor, al clavegueram públic o es disposen en deixalleries controlades. En tot cas, en la mesura que l'àrea d'un circuit imprès és més gran, més elevada és la generació de residus que comporta la seva consecució final.



### 3 Mòdul d'Enginyeria de control

---

Les darreres dècades del segle xx s'han caracteritzat per un conjunt de canvis substancials en el medi ambient (desforestació, desastres naturals, canvi climàtic, contaminació...) que experimenta el nostre planeta, els quals per la seva rapidesa i abast, no sembla que tinguin cap precedent en la història de la humanitat. Arran d'això, la societat està començant a prendre consciència, preocupar-se i interessar-se per trobar solucions a aquests problemes. Per tant, actualment l'àrea d'enginyeria de control (es pot descriure com la solució de problemes de regulació i control automàtic) també està experimentant forts canvis. S'han començat a incorporar i a tractar dins aquesta disciplina coneixements de matèries fins ara impensables, com ara la biologia, l'ecologia, etc., per tal de resoldre problemes de caràcter tecnològic. Per exemple, la incorporació als anys setanta a les llars espanyoles de sistemes de calefacció es regien principalment per dos criteris: la màxima eficàcia i prestacions, i la mínima despesa econòmica. Ara, tot just entrat el segle XXI, la necessitat d'afegir altres criteris per aconseguir el benestar social, per exemple amb la mínima despesa de recursos naturals (mínim consum energètic, utilització d'energies renovables, etc.), queda palesa als països desenvolupats, on es persegueix cada vegada més un desenvolupament tecnològic respectuós amb el medi ambient, és a dir, sostenible.

De fet, l'enginyer de sistemes de control està interessat en el coneixement i control d'una part del seu medi, sovint denominat *sistema*, amb el propòsit de proporcionar un producte econòmic i útil per a la societat, i ara, a més "verd". És a dir, un producte que no faci malbé el medi ambient, ecològic, renovable, reutilitzable, reciclable i que, per tal d'obtenir-se, s'utilitzin els mínims recursos naturals possibles, és a dir, que compleixi les 3R<sup>1</sup>. Els objectius de conèixer i de controlar un sistema són complementaris ja que, per poder-lo controlar més efectivament, aquest s'ha d'entendre i modelitzar.

L'enginyeria de control automàtic té un paper fonamental en els sistemes i processos tecnològics moderns. Els beneficis que s'obtenen amb un bon control poden arribar a ser enormes. Aquests beneficis inclouen productes de més bona qualitat, menor consum d'energia, minimització de deixalles, nivells més alts de seguretat i reducció de la pol·lució.

L'enginyeria de control es basa en els fonaments de la teoria de la retroalimentació i l'anàlisi de sistemes lineals i no lineals, i integra els conceptes de les teories de xarxes i comunicacions. Per tant, aquesta àrea de coneixement no està limitada a cap disciplina de l'enginyeria, sinó que és igualment aplicable a les enginyeries aeronàutica, química, mecànica, del medi ambient, mèdica, civil i elèctrica. Es pot dividir principalment en tres parts: modelització, monitoratge i adquisició de dades, i teoria de control. Aquesta disciplina és de caràcter teòric i conceptual, i proporciona els fonaments i coneixements teòrics

---

<sup>1</sup> 3R: reduir, reutilitzar i reciclar.

bàsics per tal d'arribar a realitzar una automatització<sup>2</sup> eficaç dels processos. Per tant, està estretament lligada a la tecnologia de control i l'automàtica, disciplines de tipus més pràctic però que necessiten uns fonaments previs i teòrics (que els proporciona l'enginyeria de control). Malgrat el debat recent sobre el buit que hi ha entre la teoria i la pràctica en l'enginyeria de control, és natural que la teoria precedeixi les aplicacions en molts camps de l'enginyeria. No obstant això, és interessant observar, per exemple, que a les centrals elèctriques –la indústria més important dels Estats Units– aquest buit és relativament insignificant. Aquesta indústria té com a interès principal la conversió, el control i la distribució de l'energia. És decisiu que el control per computador s'apliqui cada vegada més a la indústria energètica per millorar l'eficiència de l'ús dels recursos energètics. També ha tingut un augment important el control de les centrals elèctriques per tal de minimitzar la contaminació.

Aquest capítol pretén apropar més el monitoratge, la modelització i la teoria de control als problemes i a les aplicacions ambientals en què es troba immersa cada vegada més la nostra societat, i que els futurs professionals puguin afrontar aquests aspectes amb les suficients bases teòriques i pràctiques per tal de crear i desenvolupar una societat més industrial, tecnològica i informatitzada, però tenint en compte els problemes ecològics i ambientals del nostre planeta. A continuació, es veu com, mitjançant l'adquisició i el monitoratge de dades i de la creació de models matemàtics i informàtics, es poden pronosticar determinats comportaments i ajudar a la implementació real dels sistemes en les òptimes condicions. Després es veurà com, per mitjà de la teoria de control, podem fer que el sistema real respongui de la manera desitjada, sempre tenint en compte els factors de més risc per al medi ambient.

### 3.1 Dades, models, control i medi ambient

Els éssers humans arribem a entendre remarcablement poc dels ecosistemes del nostre planeta o dels milions d'espècies que l'habiten. Massa sovint, algunes espècies desapareixen àdhuc abans de ser identificades i catalogades. El biòleg de Harvard Edward O. Wilson ha estimat que unes 50.000 espècies estan condemnades a l'extinció cada any només en les selves tropicals, la majoria com a resultat de l'activitat humana. Al mateix temps, els nostres coneixements de l'impacte de les activitats en mineria, agricultura o ramaderia extensiva, com de la pròpia activitat industrial, són mínims. Les quantitats, els efectes i les conseqüències de la majoria dels milers de substàncies contaminants i compostos sintètics que s'escampem pel medi ambient són àmpliament desconeguts. De la mateixa manera, per mantenir l'estat de benestar de les societats desenvolupades es gasten recursos naturals (per tal de garantir el subministrament d'aigua potable, la climatització a les llars, la ventilació en edificis del sector terciari, com ara hospitals i oficines, etc.) de manera excessiva i innecessària, cosa que causa al planeta, en ocasions, mals irreversibles.

Els ordinadors ofereixen una potència enorme per tal de recollir, guardar i organitzar la informació que ens pot ajudar a entendre el medi ambient global i l'efecte de l'activitat humana sobre ell. Els sistemes per tal de conduir aquestes tasques es poden classificar en dues categories: sistemes de monitoratge i models.

Els sistemes de monitoratge s'utilitzen per estudiar i seguir els processos naturals i industrials, com ara les emissions de diòxid de carboni o l'escalfament del planeta. La modelització dels sistemes s'utilitza per provar teories sobre processos complexos, com ara la relació causal entre el diòxid de carboni i l'escalfament del planeta, i permet així la simulació d'experiments massa perillosos o excessivament llargs en el temps per tal de dur a la pràctica en el món real. Una forma de monitoratge industrial, en què els països desenvolupats han fet un ràpid progrés, és el seguiment de la pol·lució, la qual cosa es concreta en la identificació de les substàncies tòxiques que s'emeten a l'atmosfera, en quines quantitats, on i per qui.

---

<sup>2</sup> El control d'un procés industrial (fabricació, producció i altres) per mitjans automàtics sovint es coneix com a *automatització*. L'automatització és habitual a les indústries químiques, de generació d'electricitat, paperera, automotriu i siderúrgica, entre d'altres.

## 4 Mòdul de Tecnologia de control i automatització

---

### 4.1 Instrumentació industrial

Per aconseguir una regulació correcta de les principals variables físiques que afecten un procés industrial determinat, cal conèixer la naturalesa dels sensors que s'utilitzen, les tècniques d'enllaç amb els diferents equips indicadors i/o controladors, les característiques d'aquests equips i les prestacions dels elements d'actuació que intervenen. Aspectes com l'arquitectura del sistema de control, l'elecció i la ubicació correcta dels sensors, la idoneïtat dels actuadors emprats, l'apantallament de les línies que transporten el senyal de mesurament, etc., resulten fonamentals per aconseguir el control correcte del procés. A més d'aquests aspectes, s'han de tenir en consideració els relacionats amb l'impacte ambiental que provoca la utilització d'aquests instruments, com són: la seguretat de la instal·lació, la contaminació acústica o electromagnètica, la vida útil i el reciclatge de components, els residus, etc.

Aquest capítol tracta, de manera qualitativa, la problemàtica de la instrumentació industrial des del punt de vista funcional i ambiental.

Per poder contextualitzar, en l'àmbit del medi ambient, una disciplina com la instrumentació industrial, l'interessat ha de posseir uns coneixements previs sobre els principis de transducció, les característiques de la mesura, el condicionament de senyals, etc., i alguns fonaments en l'àrea de teoria de control, tots ells propis de disciplines com la instrumentació electrònica i la regulació automàtica.

La visió global del conjunt d'instruments que incorpora la planta i l'anàlisi de la seva funcionalitat i prestacions, de la seva robustesa i seguretat, de la seva arquitectura, integració i impacte ambiental, constitueixen les pautes que cal seguir per a una bona planificació en el disseny i desenvolupament de sistemes instrumentals de mesurament i control; per això és convenient que el lector, a més, tingui uns coneixements bàsics o estigui familiaritzat amb una disciplina com l'automatització industrial.

Des que la casa Ford va fer a la seva línia de fabricació el primer exemplar del model T, fins a les modernes plantes de producció actuals, s'ha produït una racionalització profunda de la producció i s'han millorat, notablement, els processos de control que l'afecten. El repte tecnològic de fabricar productes cada cop més homogenis, de més qualitat i quantitat, implica la inclusió d'un nombre més gran d'elements de detecció i control dins dels processos productius, i de més qualitat de les mesures relacionades amb els paràmetres d'interès que hi intervenen. Les indústries no estalvien esforços en la realització de potents sistemes d'adquisició i control que, interconnectats entre si, intenten mantenir el procés dins els límits previstos. En aquesta tasca, té un paper determinant l'ús dels equips adequats i els dispositius instrumentals que s'ubiquen en la planta i els requisits ambientals que fan possible implantar-los.

La instrumentació necessària per mesurar les variables del procés sempre ha tingut un paper important per aconseguir un control fiable i precís, el desenvolupament de nous instruments i el fet de fer servir noves tècniques de control han anat sovint junts en la consecució d'aquest fi. Durant dècades s'han anat desenvolupant potents sistemes mecànics i pneumàtics, sensors precisos, transductors i actuadors, i una gran varietat i barreja d'instruments analògics i digitals. L'espectacular desenvolupament informàtic i microelectrònic dels últims temps ha fet possible l'aparició en el mercat de dispositius digitals de camp (sensors, transmissors, actuadors, etc.) de caràcter intel·ligent (*smart*), que han permès dotar l'operador d'un instrument flexible i versàtil que pot integrar una gran varietat d'aplicacions.

Convé aclarir el significat dels termes d'ús habitual en l'àrea de la instrumentació industrial, els quals en molts casos, dificulten la interpretació de les arquitectures que incorporen dispositius o equips per al mesurament i/o el control. Així doncs, es pot parlar de:

a) *Sensor*. Element mitjançant el qual es poden detectar quantitats físiques que, per la seva naturalesa o magnitud, no poden ser percebudes directament pels sentits. És un dispositiu que, a partir de l'energia del mitjà d'on se situa, proporciona un senyal útil que varia segons la magnitud física mesurada. En terminologia francesa, s'utilitza el nom de *capteur*.

b) *Transductor*. Dispositiu que transforma el tipus d'energia d'interès en una altra, capaç de ser mesurada. El terme *transductor* suggereix que el senyal d'entrada i el de sortida no es corresponen amb tipus d'energies homogènies, ja que en cas que ho siguin el dispositiu s'acostuma a denominar *convertidor*.

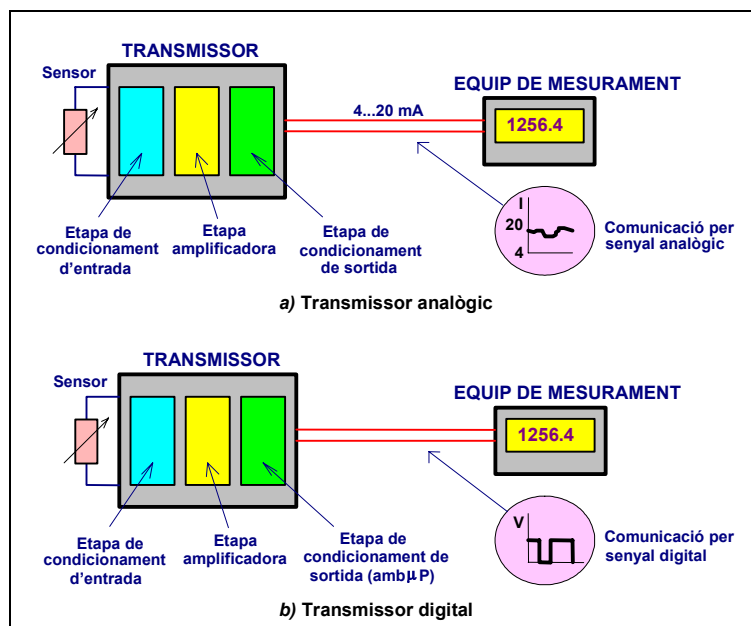


Figura 4.1. Transmissors de mesurament

c) *Transmissor*. Terme aplicat a dispositius que permeten establir una comunicació amb un equip receptor a través del mitjà físic adequat. Generalment, es transmet el senyal de mesurament i/o control en forma pneumàtica, hidràulica o elèctrica, i és freqüent, en els transmissors elèctrics, que el sensor o transductor i el circuit de condicionament del senyal comparteixin el mateix habitacle i que el senyal comunicat sigui del tipus analògic, de tipus digital o de tipus mixt quan coexisteixen ambdós. En el grup dels transmissors analògics, el senyal de 4 a 20 mA és el més utilitzat i el que s'ha consolidat com a estàndard. En aquest cas, el transmissor comunica, mitjançant una intensitat contínua de 4 mA a 20 mA, el valor de la magnitud de mesurament. Un transmissor que utilitzi un senyal amb

aquestes característiques es denomina *transmissor analògic* (figura 4.1 a). Els transmissors digitals utilitzen un senyal digital per comunicar la magnitud del mesurament i altres paràmetres d'interès (figura 4.1 b).

d) *Actuador*. Dispositiu que converteix un tipus d'energia, habitualment elèctrica, en un altre tipus d'energia, freqüentment mecànica. Un actuador característic, que sol ser instal·lat al final del llaç de regulació, és la vàlvula automàtica. Dissenyada per controlar el flux de vapor, aigua, gas o un altre fluid, pot ser considerada un orifici variable que és regulat mitjançant un accionament elèctric o pneumàtic en resposta al senyal corrector que rep de l'equip controlador. Incorpora al seu interior l'obturador i els seients que li permeten variar la superfície de pas del fluid i, generalment, conté una rosca o unes brides que poden ser inserides en els conductes. Alguns tipus de vàlvules, dins de les denominades de desplaçament lineal (figura 4.2), són les següents:

- *De seient simple*. S'empren habitualment per permetre o bloquejar el cabal del fluid mitjançant un senyal corrector de dues posicions. Es fabriquen per tal de suportar diferents rangs de pressió i amb materials aptes per treballar amb fluids de naturalesa diversa.
- *De seient doble*. Són dissenyades per a pressions mitjanes. En disposar de dos seients, requereixen menys força en la tija perquè l'obturador bloquegi el pas del fluid.
- *De mescla*. Permeten, segons la posició de l'obturador, conduir tot el fluid d'una o d'una altra entrada cap a la sortida, o aconseguir, a la sortida, una barreja proporcional dels fluids de l'entrada. També reben el nom de *vàlvula de mescla de tres vies*.
- *De desviació*. Es denomina habitualment *vàlvula de desviació de tres vies o bypass*. Permet desviar el flux d'un fluid, totalment o parcialment, d'un conducte a un altre.

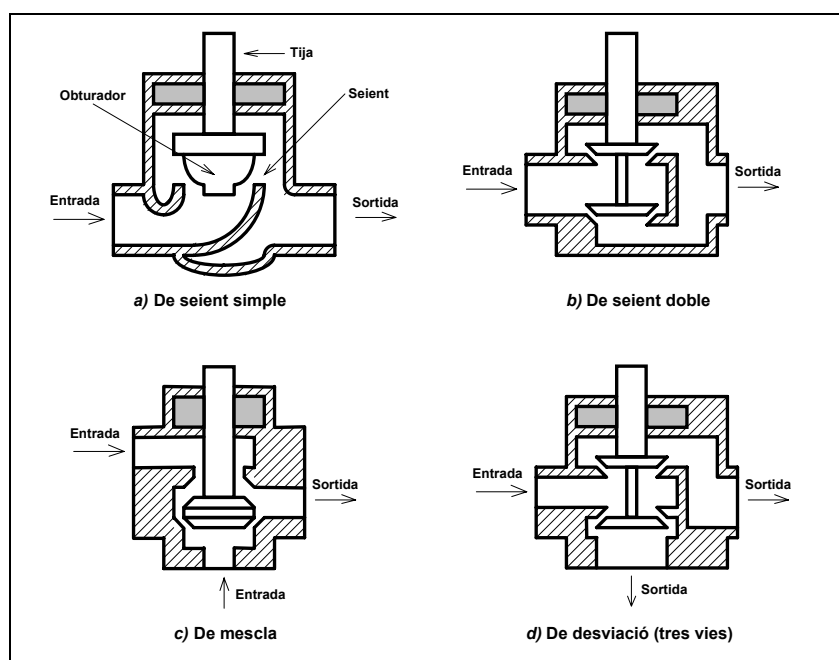


Figura 4.2. Alguns tipus de vàlvules de desplaçament lineal

El condicionament de la vàlvula generalment sol ser algun dels tres tipus següents:

- *De solenoide*. Consisteix en un enrotllament d'un fil (bobina), pel qual es fa passar una intensitat que provoca el moviment de la tija metàl·lica dins seu. La majoria d'aquests accionaments es dissenyen per funcionar amb accions correctores del tipus tot o res. Per aconseguir

## 5 Mòdul de Robòtica en l'entorn industrial

---

L'àmbit de la robòtica, en relació amb altres matèries, no es pot considerar altament ambientalitzable ni dóna massa joc per incorporar-hi els elements clàssics de l'ambientalització com el respecte al medi ambient, la no-contaminació d'aigües, la protecció d'ecosistemes, etc., per la qual cosa s'han de posar en joc alguns elements que seran propis de la robòtica i que són els que es volen posar de manifest en aquest apartat. Així, si es pren l'ambientalització en un sentit prou ampli, és possible prendre elements que permetin a la robòtica sumar-se al col·lectiu d'agents que s'incorporen progressivament al corrent sostenibilista, que és el que ha d'acabar per imposar-se si es vol tenir un futur en el qual sigui possible viure en les millors condicions. Tanmateix, es té l'avantatge que els plantejaments ambientals s'han generalitzat i han passat a ser una prioritat<sup>1</sup> de molts governants, tot i que encara compten amb reticències notables.

Els robots són elements amb un notable impacte sobre alguns processos productius molt comuns i la seva activitat no es pot dissociar d'aspectes com la quantitat d'energia que consumeixen o que manipulen, els materials dels quals estan fets i els que manipulen, la qualitat de l'aire al voltant dels processos que duen a terme (soldadura, pintura, contaminants, etc.), l'acceptació (impacte) social del propi robot en l'entorn de treball immediat i de l'activitat que desenvolupa, la incidència de la presència de robots en les auditories ambientals, els costos tangibles i intangibles associats al propi robot o a la seva activitat. Aquests són, a grans trets, els elements que han de permetre un ús racional, ambientalment parlant, dels robots.

A Espanya no es fabriquen robots de manera estàndard tot i que, de tant en tant, tres marques nacionals en fabriquen algun a mida; cal molt pressupost en recerca per fabricar robots industrials de manera seriada i una gran infraestructura de distribució comercial. En tot cas, a Espanya el que s'ha fet molt bé ha estat utilitzar les tecnologies capdavanteres a escala mundial, i aplicar i incorporar els robots als processos productius; a partir d'ara, només es tracta de fer-ho de la manera més respectuosa possible des d'un punt de vista ambiental.

Un robot és un conjunt encertat format per una part mecànica i una d'electrònica; la part mecànica és una estructura poliarticulada i motoritzada en les seves articulacions, i la part electrònica, bàsicament, és un ordinador que executa un programa orientat al control dels accionaments de la part mecànica.

---

<sup>1</sup> A la Cimera de la Terra de Rio de Janeiro, el 1992, es va arribar a acords amb relació al canvi climàtic, la desertització i la desforestació, i es va aprovar l'"Agenda-21", un pla de treball per als assumptes de l'ambient i el desenvolupament. El Conveni marc de les Nacions Unides va dur a la signatura del Protocol de Kyoto per a la reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> (no subscrit pels Estats Units, el país que més contaminació aporta a l'atmosfera, aproximadament la quarta part del total), i l'estiu de 2002 les Nacions Unides es van tornar a reunir a la Cimera Mundial per al Desenvolupament Sostenible de Johannesburg, on, malgrat la vaguetat dels acords presos, en van sortir alguns aspectes concrets interessants, com la Declaració de Gauteng, signada per 27 grups regionals entre els quals hi ha Catalunya i per la qual es comprometen a adoptar polítiques de sostenibilitat i a aplicar els principis de subsidiarietat.

Rep el nom de *manipulador* o *braç* del robot el conjunt que formen tots els elements mecànics encaminats a moure cap un determinat punt, i seguint una determinada trajectòria, l'element final, *efector* o mà; normalment, la mà no es considera part integrant del manipulador, que acaba en el canell, que és justament on s'acobla la mà. L'objectiu de la robòtica industrial és dur i orientar (posicionar) un *efector* a un punt concret de l'espai al qual pot accedir alliberant les persones de tasques repetitives, feixugues o perilloses, i realitzant aquestes tasques amb gran qualitat i precisió. La seva contribució a la millora de la productivitat i la competitivitat és més que notable.

La idea comuna que es té d'un robot industrial és la d'un conjunt d'elements com ara:

- Un braç format per elements mecànics rígids units per articulacions. El braç mecànic el formen diversos elements: base o pedestal, cos, braç i avantbraç. El nombre d'elements del braç i de les articulacions que els relacionen determinen el nombre de *graus de llibertat* del manipulador. Clàssicament, en tenen sis, tres sobre el braç i tres al canell, per posicionar i orientar l'*efector*.
- Uns elements motors que són els que accionaran les articulacions. El més freqüent és que els elements motors estiguin incorporats en la mateixa estructura mecànica del braç, alhora que les transmissions i els engranatges reductors.
- Un controlador, generalment basat en un ordinador. El controlador és el dispositiu electrònic que s'encarrega de regular el moviment dels diferents elements del manipulador per tal que la mà assoleixi la posició desitjada en cada moment; tanmateix, i per poder arribar a aquestes posicions, calcula, processa informació de sensors, actua sobre motors i representa la interfície amb l'operador humà.
- Un element terminal, mà o *efector*, a l'extrem lliure del braç mecànic. L'element terminal del manipulador s'acobla al canell i pot ser una eina específica per fer un treball (soldadura, pintura, etc.) o una pinça per a la manipulació, el transport, el muntatge, etc.
- Sensors que donen informació a un controlador sobre el braç mecànic i el seu entorn.
- Elements de programació dels moviments que el braç mecànic ha de fer. La programació es pot fer mitjançant un llenguatge des d'un ordinador, per comunicació en sèrie o paral·lela i utilitzant estàndards, o no, amb el controlador del robot. Una altra possibilitat és mitjançant una consola connectada al controlador per la qual es poden anar fent els moviments punt a punt, o descrivint les trajectòries que cal seguir, amb control no tan sols de la posició, sinó també de l'orientació i de la velocitat i acceleració.

En l'estudi de la robòtica, hi conflueixen moltes tecnologies, algunes de molt innovadores, per la qual cosa treballar en robòtica demana una forta especialització; és una eina al servei de cada aplicació, de manera que per arrodonir l'estudi sempre cal conèixer detalls i dades de l'aplicació (mecanitzat, pintura, soldadura, muntatge, manipulació, etc.), que, en cada cas, implica també una certa especialització específica. D'aquí que l'estudi de la robòtica, per tots els conceptes enumerats i el que implica cadascun d'ells, sigui complex, no trivial i gens senzill.

Tanmateix, atès que el nombre d'aplicacions a què es destinen els robots és molt nombrós, es pot aprofitar la incorporació d'un robot en un lloc de treball o la modificació de les tasques que du a terme per plantejar una sèrie de qüestions ambientals. El robot, doncs, pot ser una excusa immillorable per adequar els processos productius en aquells aspectes que ho requereixin.

## 5.1 Impacte dels robots en la nostra societat

Es pot considerar, sense cap mena de dubte, que a la història de la humanitat hi ha hagut tres revolucions significatives que han provocat grans canvis socials; la del Neolític, on la societat es dota d'eines i instruments, la industrial a finals del segle XIX, on es passa de les societats agràries a les industrials, i la darrera, a finals del segle XX, on els avenços en el camp de les comunicacions han abocat la societat industrial a transformar-se en la que tenim ara mateix, la societat de la informació [cet02].

La societat industrial ha estat motor de transformacions dels recursos naturals que han dut el planeta a la via de l'esgotament; el pas cap a la intercomunicació entre persones ha ajudat molt a afrontar aquesta situació i fer que les societats s'autoimposin límits en l'explotació dels recursos, i així promoure la idea de sostenibilitat<sup>2</sup> que avui dia tenim [esp02], en la qual el respecte al medi ambient és crucial, juntament amb àrees com l'aigua, el sanejament, l'energia, la producció agrícola, la biodiversitat i la gestió dels ecosistemes.

Pel que fa a aquest apartat de robòtica, i amb relació a qüestions de medi ambient i de sostenibilitat, a part de les normatives ambientals existents, no es tracta tant de tenir un pla d'acció detallat ni unes fórmules a seguir sinó de prendre decisions en l'àmbit individual encaminades a minimitzar l'impacte ambiental tant del robot com de l'activitat que se'n deriva. Una activitat sostenible és aquella que, entre d'altres, prevegi la qualitat total, l'anàlisi del cicle de vida del producte, l'eficiència energètica, la tecnologia neta, l'ecologia industrial, la producció zero de residus, el valor dels recursos naturals, l'equitat social, i la seguretat i la higiene laborals. La robòtica ha de sumar-se al corrent sostenibilista en el camp i amb els instruments que li són propis; no fer-ho seria avui socialment insolidari, i no fer-ne proselitisme des de les aules de les escoles d'enginyeria i facilitar la transmissió d'aquestes idees, una irresponsabilitat greu.

No obstant això, els horitzons que es proposen en els plantejaments sostenibilistes pensen en terminis de 50 anys o més; tanmateix, el camp i els instruments que ens són propis –els processos productius i la robòtica– tenen cicles de vida força curts i, per tant, caldrà dissenyar un món local sostenible i, consegüentment, ambientallitzat.

## 5.2 Per a què utilitzem els robots

En una primera aproximació, les conseqüències de l'ús de robots són un augment de la productivitat, una millora de les condicions de treball feixugues i una millora de la qualitat dels productes fabricats. Aquests tres trets són els que han fet que els països més desenvolupats adoptin els robots com a elements integrants dels seus processos productius. La implantació més gran és al Japó (allà, però, gairebé tot ho consideren robots i és difícil comparar xifres amb la resta del món), després als Estats Units i després a Europa.

Pel que fa a la productivitat, les causes que l'originen, entre d'altres, són:

- Augment de la velocitat dels processos productius.
- Optimització de trajectòries.
- Temps elevat de funcionament sense errors.
- Poc manteniment i reparació per substitució de mòduls tant electrònics o mecànics com de programació, la qual cosa provoca temps de parada mínims.
- Adaptabilitat a l'entorn (diferents màquines, màquines noves, etc.)
- Reprogramació que facilita sèries curtes i manté un baix cost de producció. Es pot pensar en el robot com una cèl·lula de fabricació flexible.
- Amortització ràpida del robot com a substitutiu de la mà d'obra. Reducció de costos directes i indirectes.
- Millor aprofitament d'eines i de primeres matèries.
- Temps constant a cada cicle operatiu, la qual cosa permet preveure quantitats relacionades amb la producció (producte final, compres, parades programades, etc.).

Pel que fa a la millora de les condicions de treball feixuc, les causes que l'originen, entre d'altres, són:

---

<sup>2</sup> El desenvolupament sostenible és el desenvolupament que satisfà les necessitats del present sense comprometre l'habilitat de generacions futures de satisfer les seves pròpies necessitats (definició donada a l'informe Brundtland).



## 6 Perspectives

---

El sistema de producció actual dels països industrialitzats ha portat a un profund desequilibri en les relacions socials i ambientals, que es caracteritza, des del punt de vista social, com a generador d'injustícia i, des del punt de vista ambiental, agressiu amb l'entorn. Un sistema sostenible tendiria justament al contrari, perquè no seria agressiu amb el medi ambient i comportaria la millora i el manteniment del funcionament, del dinamisme i de la composició de la biosfera i dels ecosistemes naturals que la formen. Així mateix, seria socialment just, la qual cosa implica la millora de qualitat de vida de la humanitat i el seu manteniment indefinit posterior. Ambdues variables són inversament proporcionals des del punt de vista de la sostenibilitat: quan hi ha més justícia social, s'estableixen les condicions necessàries perquè deixin de donar-se les situacions agressives amb l'entorn.

Una de les accions principals per tal d'aconseguir-ho és l'educació ambiental a tots els nivells educatius (primària, secundària, batxillerat, àmbit universitari o professional). En aquest llibre, ens hem centrat en l'educació ambiental a la Universitat, és a dir, l'ambientalització curricular universitària. Concretament, s'han recollit aspectes teòrics sobre tecnologia de computadors, teoria i tecnologia de control, modelatge i robòtica. L'enfocament que s'ha donat a aquests conceptes teòrics escapa de la perspectiva clàssica dels llibres docents que s'usen per cobrir les assignatures. En canvi, ara s'ha presentat un punt de vista nou: l'educació per a la sostenibilitat i l'ambientalització de les matèries que impartim cada dia.

L'ambientalització cal entendre-la com un nou punt de vista dels continguts teòrics, mai com a nova matèria que cal introduir. Només canviant alguns exemples, només canviant la forma d'explicar els continguts, es pot donar als alumnes una nova llum perquè entenguin com influeix cada matèria en la nostra vida i en la vida del nostre entorn. Cal dotar als alumnes de la capacitat de reflexió sobre l'impacte que tindrà l'ús real de tots els coneixements que adquireixen a la universitat i fer que siguin capaços de modificar moltes de les estratègies i tècniques industrials per tal de fer una indústria més sostenible amb el medi ambient.

Ara bé, perquè el veritable esperit ambientalitzador que recull aquesta edició es pugui portar a terme queden alguns aspectes que ja escapen de l'abast dels autors.

Cal una actualització constant dels continguts pràctics que hi ha darrere dels aspectes més teòrics. En el món de la tecnologia, els avenços són més ràpids del que un mateix pot arribar a assumir i, sobretot, si es tracta de portar-los als alumnes com una part més de l'assignatura. Els professors s'han de formar contínuament perquè només sabent la realitat podran aplicar tècniques d'ambientalització que s'adaptin al món canviant.

Per a properes edicions, caldria acabar de cobrir totes les matèries que s'engloben dins l'àrea de l'enginyeria de sistemes i automàtica i que en aquesta edició no s'han cobert perquè considerem que cal començar per les àrees que arriben a més alumnes.

Calen els mitjans tècnics i materials per aplicar els plantejaments presentats, juntament amb l'edició en *web* dels problemes i les fitxes que complementen aquest text teòric.

Finalment, el més difícil és, com sempre, aconseguir la implicació de tots els professors involucrats en la impartició de les assignatures que es cobreixen amb aquest text. Tampoc no cal seguir el llibre al peu de la lletra; tan sols que cada professor faci la seva petita aportació perquè les matèries siguin més ambientalitzades, i que generin inquietud en l'alumne. Si s'aconsegueix això, ja haurà valgut la pena l'esforç que s'ha esmerçat en aquest llibre.

Cal estar a l'alçada dels temps i de les circumstàncies; no estar-hi seria una irresponsabilitat greu. La manca de visió ha dut a relliscades històriques; així, el primer ministre britànic Disraeli va dir que la màquina analítica de Babbage només serviria, literalment, "*per calcular la quantitat enorme de diners públics que s'han gastat a desenvolupar-la*". Així mateix, un polític de l'època de Bell, va dir que "*seria de dubtosa utilitat connectar la veu humana mitjançant fils i amb base en l'electricitat*". Encara, quan van aparèixer els automòbils, es van posar de manifest suposades evidències mèdiques que assenyalaven amb tota seguretat que el cervell sofria danys irreversibles quan es circulava a 30 milles per hora. Thomas J. Watson, un dels fundadors d'IBM, va estimar que, per tot el món, amb cinc ordinadors n'hi hauria prou, i que al Regne Unit, amb tota probabilitat, seria suficient un ordinador. Imagineu, ara algú que digui que, si ja n'hi ha alguns que ambientalitzen, amb això ja n'hi ha d'haver prou, i que continuï anteposant l'interès econòmic a l'interès global. Avui, n'hi ha que estan cometent aquest error; no ens hi afegim nosaltres.