

# L'ENGINYERIA ENTRA DESENVOLUPAMENT

per Kenneth C. Rogers

86 (358/especial 1981

ciència 5/6)

L'enginyeria està travessant un seguit de canvis molt importants sota l'impacte del microprocessador i la crisi energètica. Les consideracions socials estan alterant els criteris normatius d'aquesta ciència, mentre que els sistemes de fabricació dirigits per computador requereixen uns enfocaments completament nous. La tendència general es dirigeix cap a una enginyeria més autònoma i no tan dependent de les ciències bàsiques tradicionals. Farà falta realitzar una sèrie de canvis importants en l'ensenyança d'aquesta disciplina. El nostre medi ambient tan tecnificat exigeix una connexió més profunda entre els cercles acadèmic, industrial i professional —la trinitat essencial de l'enginyeria.

K.C. Rogers és president de l'Stevens Institute of Technology, Hoboken, N.J. 07030. El seu article fou publicat amb el títol *Engineering Enters New Cycle of Development and Definition a "Science"*, vol. 209, pàgs. 127-132, el 4 de juliol del 1980. Copyright 1981 de l'American Association for the Advancement of Science

completament diferent.

## L'ENGINYERIA I LA SOCIETAT

Una tasca d'importància cabdal que cada generació d'enginyers ha interpretat segons els seus esquemes de pensament ha estat el fet de satisfer la ineludible necessitat de "continuar avançant" i els requeriments materials de la societat. Totes aquestes interpretacions han confirmat que l'enginyeria és "l'art del possible" i que la responsabilitat d'un enginyer, que treballi pels interessos de la seva societat, és la d'aprofitar qualsevol tecnologia disponible. Durant els últims deu anys, el punt central d'enfocament (l'avantatge tècnic i econòmic) s'ha vist ampliat per una gran quantitat de preocupacions socials, com poden ésser la necessitat d'estalviar energia i recursos materials, de protegir el medi ambient, d'augmentar la seguretat en el treball i de conformar un seguit de regulacions governamentals.

Com a resposta a aquests punts, s'ha desenvolupat una tendència a conservar i augmentar les possibles fonts d'energia, fet que ha estimulat un nou creixement de la tecnologia. De fet, la indústria ja ha aconseguit un progrés excel·lent en trobar mitjans de conservació més duradors. En canvi, l'avenç en l'aprofitament de noves fonts d'energia no ha estat tan satisfactori. Actualment hom està afrontant aquest problema de moltes maneres, però és molt improbable que s'assoleixi una única tecnologia energètica que pugui aportar una solució completa; però tampoc no hem de menysprear la possibilitat de modernitzar els coneixements que ja tenim, com per exemple, la tecnologia del carbó. De tota manera, l'impacte d'aquestes activitats sobre la naturalesa de la pràctica de l'enginyeria

no serà gaire gran, perquè fins i tot els enfocaments més innovadors inclouen mètodes tradicionals en grans quantitats.

El contrast entre la importància social de les noves tecnologies de l'energia i llur limitada influència sobre l'enginyeria il·lustra la distinció entre el que fan els enginyers i com ho fan. Cada avenç de la tecnologia constitueix un assoliment molt important per a l'enginyeria. Cada innovació n'amplia l'envergadura i aporta una nova direcció de treball per als enginyers. No obstant això, hem de fer una important distinció entre els avenços de l'enginyeria assolits gràcies a l'aplicació de les tècniques clàssiques i la producció de noves tecnologies a través de formes de pensament totalment diferents. La indústria nuclear d'avui dia dona treball a una gran quantitat d'enginyers, però en canvi ha tingut un impacte molt petit en les disciplines clàssiques de l'electricitat i de la mecànica. Per altra part, la indústria dels computadors digitals ha provocat l'adopció forçosa de conceptes completament nous.

Durant els últims anys, els Estats Units han perdut l'avantatge que tenien en alguns sectors de la tecnologia, tals com les indústries de l'acer i de l'automòbil; i revitalitzar-les ara representa una gran dificultat. Desgraciadament, molt sovint s'ha atribuït aquest problema a la falta d'innovació, encara que això no és cert si analitzem la situació detalladament. Fins en les situacions en què la indústria americana està netament endarrerida, aquest retard no es pot atribuir a l'enginyeria. Per exemple, al Japó hom utilitza més robots en el camp industrial que als Estats Units, però les primeres firmes que els van fabricar van ésser americanes, i aquest país és encara al capdavant en llur producció (fig. 1). La disminució de la innovació industrial als EUA, amb el consegüent decandiment de la producció, no és un problema de l'enginyeria, sinó que és el resultat d'una manca de capital d'inversió i d'empresa, d'una política

**11** En el moment de celebrar el centenari de "Science", trobem que l'enginyeria està començant un període de canvi i redefinició bastant similar, per cert, a la transformació que va coincidir amb la fundació de la revista. En aquell moment, l'època del sorgiment de la tecnologia elèctrica, hom va donar un aspecte analític a l'enginyeria i es va establir un nou tipus de relació entre la indústria i el coneixement científic. Per primera vegada, els descobriments contemporanis van produir noves indústries, com per exemple l'elèctrica i la química.

A "Science" no se li va escapar la importància d'aquests avenços. Diversos articles del primer número van ser dedicats a la nova relació entre la ciència i la indústria. Cal destacar una acotació del que va escriure T. H. Huxley: "Es innegable la importància del coneixement de la física com un mitjà per a "continuar avançant". Pràcticament no hi ha cap branca de la indústria, a part de la de venedors ambulants, en la qual el coneixement de la ciència no tingui un profit directe. A mesura que una indústria assolix estats més elevats de desenvolupament, les diferents ciències són atretes, una a una, perquè participin del combat".

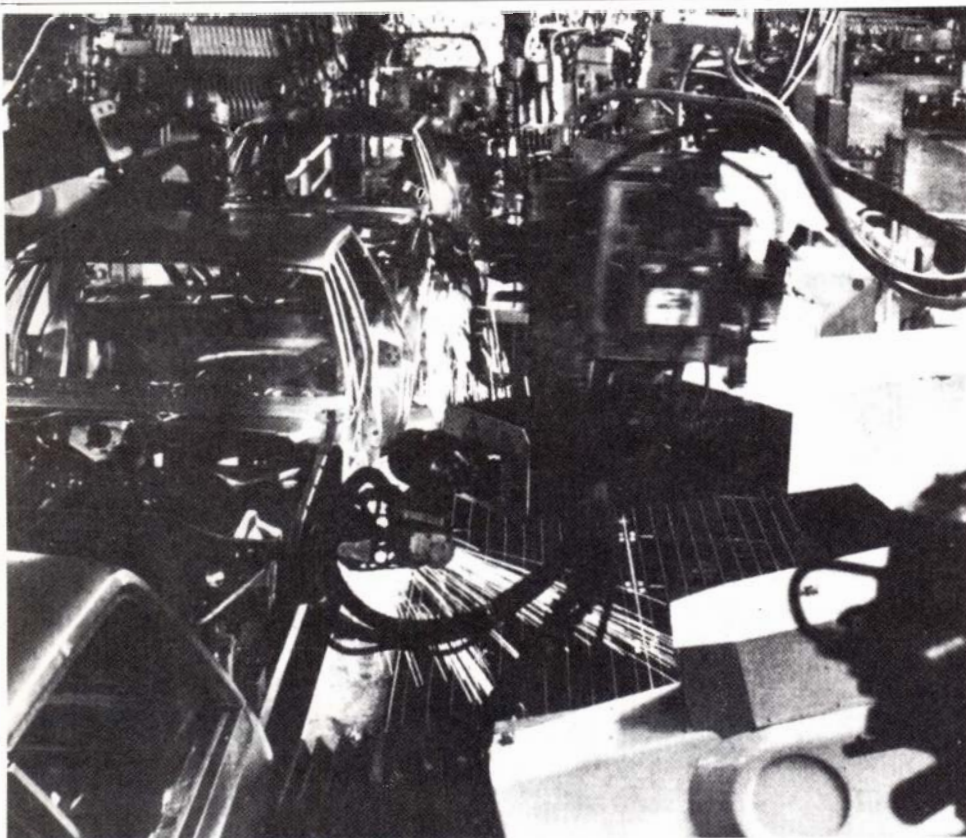
Un segle després, les observacions de Huxley continuen essent totalment certes. La indústria continua assolint nivells més alts de sofisticació i complexitat, i el seu progrés es basa fermament en el coneixement científic. Encara que aquest procés de canvi tecnològic continua avui dia, el context social, cultural i material és

# EN UN NOU CICLE DE I DEFICIICIÓ

Fig. 1. Tretze robots UNIMATE fan 450 soldadures en 50 segons en les carrosseries dels cotxes de la Chrysler Corp, a Newark, Delaware. El Respot Welding System que la UNIMATION, Inc. va instal·lar a la Chrysler consta de robots, control supervisor i cinta transportadora de carrosseries. (Cortesia d'UNIMATION, Inc.)

(ciència 5/6

especial 1981/359) 87



d'impostos mal dirigida i d'una inèrcia per part de l'administració i la gerència.

## LA REVOLUCIÓ DE LA MICROELECTRÒNICA

Tot i que les consideracions socials són cada vegada més importants, l'enginyeria encara està molt influenciada pel canvi tecnològic. Podem veure que l'impacte de la revolució de la microelectrònica es manifesta a tot arreu. És quelcom evident en els nous sistemes industrials, especialment en la nova instrumentació dotada d'autocalibració, en els microsensors "intelligents" que tenen l'habilitat de detectar una gota de rosada o de determinar la pressió més minsa; en els robots "intelligents" amb llurs "urpes" i llurs múltiples articulacions, que treballen sense que ningú els vigili en els torns de nit de les cadenes de muntatge. Dins d'uns quants anys,

la microelectrònica entrarà en les oficines i les cases, en els automòbils, les rentadores, els forns i les segadores.

Per atendre aquesta enorme diversitat d'aplicacions ha sorgit la tecnologia de la integració a molt gran escala (VLSI), amb els seus microprocessadors de setze bits amb cent mil components, i amb un computador complet en un sol *chip*, com el MAC-4 construït fa poc per Bell Laboratories. S'espera amb prou confiança l'arribada de les memòries d'un megabit durant els propers cinc anys, i es calcula que la producció anual assolirà  $10^{14}$  components de circuit, o aproximadament l'equivalent a un computador per cada dos habitants del món.<sup>2</sup> La característica més notable de la revolució microelectrònica és la seva capacitat d'infiltració. Eventualment, no hi haurà cap branca de la indústria ni cap aspecte de la vida americana que pugui *sostreure's* de l'impacte del microprocessador. Aquest tret és el que fa d'aquesta revolució un d'aquells canvis tecnològics tan singulars que acaben reorganitzant tota la pràctica de l'enginyeria.

## EL NOU PARADIGMA DE L'ENGINYERIA

Tenint en compte l'estat d'esgotament de les fonts energètiques de l'actualitat, podem deduir que el poderós impacte del microprocessador servirà per a refondre el marc conceptual de treball i els criteris normatius de l'enginyeria.

Els nous criteris. Només el temps dirà com seran els criteris finals de la nova enginyeria, tot i que ja es poden distingir algunes característiques importants. Des de la revolució industrial, l'enginyeria ha estat guiada pel desig d'assolir el màxim d'eficàcia augmentant la producció al cost més baix possible. En l'última dècada, però, hom ha modificat aquest principi substancialment. El cost, com una mesura de l'eficiència, continua essent el criteri primordial, però la seva definició s'ha expandit fins a incloure el cost total de la renovació de les fonts esgotades. L'equilibri inestable entre la inversió inicial i les despeses de manteniment ha emfasitzat la importància d'ampliar el cost per cobrir cicles de vida complets, tenint en compte d'una manera realista la inseguretats dels recursos.<sup>3</sup> En el futur, a mesura que la geopolítica s'introdueixi més freqüentment en els criteris de l'enginyeria, potser s'haurà de sacrificar l'eficàcia econòmica a canvi d'una més gran capacitat d'adaptació a la manca de primeres matèries.

A part d'insistir en la conservació dels recursos, la nova enginyeria farà molt d'èmfasi en la flexibilitat i la versatilitat de la funció i tindrà la tendència d'organitzar els sistemes en estructures jeràrquiques. Aquestes darreres característiques tenen la marca característica del computador. La flexibilitat i la facilitat de reconfiguració són els trets essencials dels microprocessadors, i és el que assegura llur àmplia adaptabilitat.<sup>4</sup> Les memòries jeràrquiques són típiques dels sistemes amb bases de dades molt nombroses, i en l'última generació de microcomputadors s'observa una tendència similar.<sup>5</sup>

La infiltrabilitat dels computadores ha marcat, de manera general, els productes de l'enginyeria, no solament en els aspectes senzills, sinó també en processos i sistemes tecnològics complexos. Aquestes característiques es poden assolir de diferents maneres. De vegades se'n fa un excés. Més sovint, però, té lloc una divisió de les estructures i dels sistemes en segments modulars, els quals són articulats en el seu moment

en formes complexes i integrades.

La fabricació coordinada per computador. Hom pot observar totes aquestes tendències en la fabricació coordinada per computador. La versatilitat s'assoleix organitzant les parts del treball a l'atzar i classificant-les en famílies genèriques apropiades per al processament automàtic. Aquesta tècnica es porta un pas més enllà en el processament de la tecnologia de grup, en la qual la producció té lloc en un sistema cel·lular. Cada una de les cèl·lules d'aquest sistema produeix una família de parts de gran similitudat geomètrica o de seqüència de processament. En els nivells més alts, els computadores coordinen el treball de les cèl·lules individuals, de manera que permeten que la gerència de l'empresa tingui un control total de la producció.<sup>6</sup>

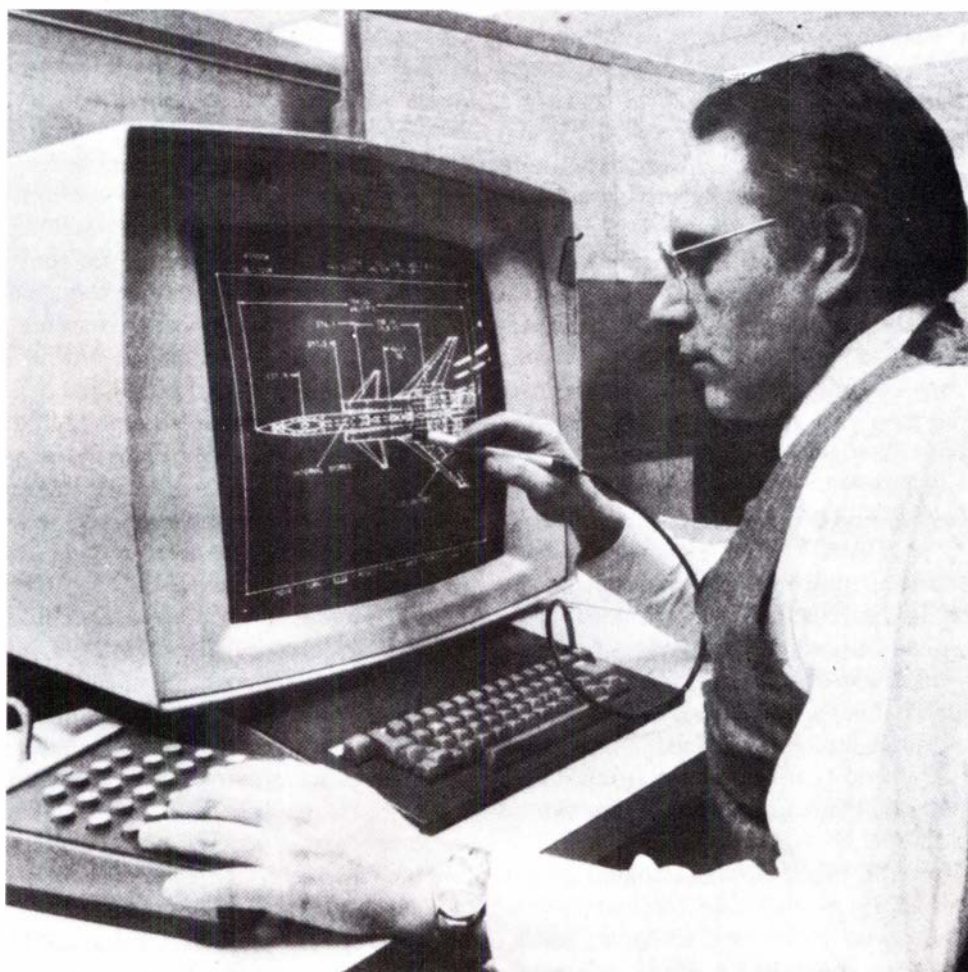
També s'obté una gran flexibilitat en les sales de màquines, ja que es programen unes eines controlades per computador per realitzar totes les operacions de les màquines de perforació, de soldadura i de les fresadores. Això s'ha posat en pràctica en màquines modulars que fabriquen indiferentment motors de sis cilindres o V-8, segons quines siguin les instruccions del programa,<sup>7</sup> i en la nova instrumentació "virtual" que pot transformar un analitzador d'espectres en un oscil·loscopi.

**Materials.** L'enginyeria també es veurà influenciada pels nous materials. Gràcies als últims progressos de la ciència, actualment els enginyers poden treballar amb materials sense preocupar-se de si llurs característiques satisfan els criteris estipulats. En aquest context, els polímers i els materials compostos tindran una gran importància. Amb el nostre coneixement actual del camp molecular, podem fabricar estructures amb polímers de molècules rectes amb resistències de l'ordre de les dels metalls. La nova tècnica de l'emmotllament per injecció permet fabricar carrosseries, caixes d'aparells fotogràfics i altres components d'aquest tipus a preus molt baixos.<sup>8</sup>

**Importància primordial del disseny.** La integració dels grans sistemes articulats, tant si són circuits VLSI com complexes plantes de fabricació de materials o de processament de productes químics, requereix una planificació i un disseny extremament precisos.

De fet, els computadores ja han escurçat i simplificat moltíssim alguns aspectes de la planificació. El "disseny controlat per computador" (CAD) ha reemplaçat els taulers de delineació

Fig. 2. Frank Dellamura, enginyer de disseny preliminar de la Grumman Aerospace. Aci utilitza un terminal de grafics interactius per a desenvolupar la configuració d'un nou avió de guerra. (Cortesía de Grumman Aerospace, Corp.)



per pantalles de televisió que reproduïen automàticament el pla geomètric i les projeccions ortogràfiques que abans hom havia de realitzar tan laboriosament (fig. 2). La planificació dels processos de fabricació s'ha fet també una mica més fàcil a través dels procediments basats en el control dels computadores. No obstant això, el CAD assoleix la seva màxima importància quan s'utilitza d'acord amb la "manufacturació controlada per computador" (CAM). En les fàbriques del futur, que no hauran d'utilitzar cap paper, les dades del disseny es comunicaran directament a les màquines que estiguin funcionant en aquell moment i a les altres parts automàtiques de la planta.<sup>9</sup>

Sortiran encara relacions més íntimes entre el desenvolupament i la manufacturació gràcies a l'ajuda dels computadores. Fins ara, un cicle de desenvolupament comportava invariablement tota una sèrie de passos llargs i cars: preparació

del prototip, la pre-producció i, finalment, la producció. El sistema CAD/CAM permet, en principi, que la producció comenci directament amb el producte final del dissenyador. Aquest procés es tornarà més fàcil amb tota la informació dels manuals d'enginyeria i les regles de disseny que tindrem a la nostra disposició. Paradoxalment, doncs, el poder i la intel·ligència dels computadores augmentarà, en comptes de disminuir, la importància del rol del dissenyador. Encara que aquestes màquines substituïxin la persona en algunes de les seves tasques tradicionals, augmenten el predomini, la responsabilitat i la importància del judici del dissenyador. Els qui es dediquin a controlar els computadores prendran decisions que repercutiran directament sobre tot el complex sistema d'operacions. En el futur, el paper del dissenyador estarà tan realçat pels computadores que tindrà una primàcia irrevocable en tot el procés

industrial. L'èxit esplèndid del Gossamer Albatross mostra que no és necessari que el computador desplaci la ingenuïtat humana. Aquest disseny ha nascut d'una integració única entre els materials, els instruments i la funció i ha menat, a més a més, a la realització d'un somni molt antic del vol humà.

## LA CIÈNCIA DEL "SOFTWARE"

Entre la gent que treballa amb computadores, la frase més actual és "el que domina és el *software*". Per una part, això es refereix senzillament a l'alt cost de la manutenció i de les solucions dels problemes que de vegades tenen els complexos programes *software*. D'una manera més general, aquesta frase descriu la tendència a donar més importància al *software* en comptes de dedicar-se molt al *hardware*. La flexibilitat i l'economia d'aquesta substitució estan essent aprofitades actualment en àrees com la de mesures i controls industrials. Hi ha, però, programes més llargs i complexos que poden necessitar una dedicació contínua per tal de trobar-hi les solucions, ja que aparentment desemboquen en conflictes insolubles. Per a resoldre aquesta crisi del *software* hom ha ideat unes quantes solucions, com poden ésser dividir les feines de programació i posar més confiança en els programes modulars.

No obstant això, haurem d'esperar a tenir una millor comprensió dels principis del *software* per a poder avançar una mica en aquest aspecte. Un veritable progrés només es pot obtenir a través d'una comprensió completa de tècniques tan noves com el processament de vectors, o gràcies a uns nous enfocaments, com per exemple la programació funcional, fent un esforç per sobrepassar els obstacles inherents a les màquines seqüencials de Von Neumann.

L'última fita és el descobriment de principis fonamentals que hom pugui utilitzar per a codificar el desenvolupament del *software*. L'ideal seria trobar un conjunt de principis bàsics que generessin unes tècniques formals per a estandarditzar i sistematitzar el *software*, i que aportessin un desenvolupament dels programes de complexitat mínima, lliures de contradiccions. Hem d'admetre que avui dia només podem tenir fe en l'existència d'aquests principis, però la fita és prou important perquè la indústria i les universitats s'hi dediquin.<sup>10</sup>

## L'AUTONOMIA DE L'ENGINYERIA

L'efecte final de la revolució de la microelectrònica sobre l'enginyeria pot ésser la ràpida acceleració de la tendència adoptada cap a una més gran autonomia intel·lectual. Durant molt de temps hom ha considerat l'enginyeria com una disciplina subordinada, donat que utilitza les tècniques analítiques de les matemàtiques i que obté els seus principis fonamentals de la física. No ens ha de sorprendre que en general hom confongui la ciència amb l'enginyeria, i que qualsevol assoliment important de la segona sigui atribuït a la primera.

Podem exemplificar aquesta confusió amb el programa espacial dels Estats Units. L'arribada de l'home a la Lluna és, sens dubte, el fet més grandios que devem a l'enginyeria, i el programa Apol·lo ha aportat una enorme quantitat de beneficis en aquest camp, directament i indirectament. Per exemple, va fer crear noves tècniques, materials i procediments; va promocionar la microelectrònica i les comunicacions per satèl·lit. N'hi ha prou amb un benefici d'aquest ordre per a amortitzar totes les despeses que va tenir el país amb aquest programa. En canvi, tots aquests triomfs de l'enginyeria són vistos com un aspecte de l'aventura científica.<sup>11</sup>

La ciència del *software*, a mesura que es vagi desenvolupant, farà que la pràctica de l'enginyeria obtingui mètodes, aplicacions i, eventualment, arrels que seran molt més àmplies i per tant diferents que els seus recursos intel·lectuals d'avui dia, és a dir, les matemàtiques i la física. D'aquesta manera s'obtindrà una nova dimensió de l'enginyeria, i per tant podrà ésser considerada com un camp d'activitats que no es dedica tan sols a aplicar els coneixements de les altres ciències.

## LA DEMOGRAFIA DE L'ENGINYERIA

L'enginyeria enclou una enorme quantitat d'activitats humanes, des de la funció més pràctica del tècnic fins al nivell més alt de la gerència. Per tant, amb un camp tan gran és molt difícil definir la quantitat d'enginyers que hi ha als Estats Units.

L'últim estudi de més gran importància<sup>12</sup> va

proporcionar la xifra d'1.268.700 enginyers. Aquest càlcul, però, no es basa en cap criteri estàndard, donat que enclou tots aquells qui es consideren enginyers.

El 1976, només n'hi havia 6.700 que fossin dones, i una minoria (24.900) eren nadius d'aquest país.<sup>13</sup> Això no obstant, el nombre d'estudians a enginyeria ha augmentat de 6.064, el 1973 a 34.518, el 1978 —un augment del 570 per cent. Durant el mateix període, els estudiants minoritaris van experimentar un augment més modest, d'11.462 a 22.785.<sup>14</sup> Aquestes xifres seran encara més grans en el futur.

## CENTRES D'ENSENYANÇA DE L'ENGINYERIA

Aquesta carrera s'ensenyava a dos-cents quaranta-quatre centres associats al Col·legi d'Enginyers, i ofereixen cent trenta-un plans d'estudis.<sup>15</sup> Aquesta gran varietat d'opcions reflecteix l'èmfasi que fa la nostra societat en la força basada en la diversitat. La tecnologia americana requereix una àmplia multiplicat d'institucions pedagògiques, i, en canvi, no hi ha cap programa d'enginyeria que satisfaci totes aquestes necessitats. La resposta nacional ha de continuar essent pluralista.

Igual que en el segle XIX, hi ha molts enginyers que adquireixen experiència professional sense tenir cap graduació universitària. El 1970, una mica més de la meitat de la gent que treballaven com a enginyers als EUA tenien un títol oficial, mentre que més d'un terç no s'havien graduat a la universitat.<sup>16</sup> L'any passat, més de 52.000 estudiants, la més gran quantitat des de 1950, van acabar la carrera d'enginyeria. Endemés, va haver-hi 16.000 llicenciatures i 2.815 doctorats. Les deu escoles més grans representen només el 3,5 per cent de la quantitat total, però van proporcionar el 16,7 per cent dels títols. Cal destacar que només una d'aquestes, la Massachusetts Institute of Technology, és privada. Totes les altres són facultats d'universitats estatals. En els cursos més avançats, les escoles privades tenen molta més importància. La meitat dels llocs que tenen més quantitat de llicenciats és constituïda per institucions privades, de la mateixa manera que ho són cinc de les tretze facultats que atorguen el nombre més gran de doctorats en enginyeria.<sup>17</sup>

El fantasma de la disminució de la quantitat de gent que s'hi inscriu persegueix les facultats d'enginyeria tant com les altres. Tindrà una repercussió molt forta la disminució del nombre d'estudiants d'entre divuit i vint-i-quatre anys (les edats tradicionals d'universitat) que, segons han predit els estudis demogràfics, començarà en els anys vuitanta. El tipus d'impacte, però, és indeterminable. Si la demanda d'enginyers continua essent tan alta durant aquesta dècada, hi haurà una gran quantitat d'estudiants que s'apuntaran a aquesta carrera. Però òbviament això té uns certs límits, donat que no tota la gent que s'admet a la universitat té la inclinació o la capacitat per a realitzar uns estudis d'aquest tipus amb un cert èxit.

Les diferents possibilitats dels plans d'estudis de les facultats d'enginyeria corresponen àmpliament a la distribució que existeix en aquesta professió. L'enginyeria elèctrica és la branca que escull la més gran majoria d'estudiants (vint-i-cinc per cent), a causa de la seva associació amb la ciència dels computadors.<sup>18</sup>

Malgrat la decadència general dels estàndards d'educació, la qualitat de l'enginyeria ha restat en un nivell molt alt. Molta gent de la indústria americana ha expressat la seva satisfacció amb el treball dels enginyers que s'acabaven de graduar. D'una manera unànime, se'ls ha elogiat la intel·ligència, la bona base de coneixements científics, la familiaritat amb els computadors i la mestria sobre els processos analítics, i, finalment, l'entusiasme i la dedicació. En canvi, l'educació que han rebut no ha sabut desenvolupar llurs habilitats de comunicació, i els ha inculcat una preocupació excessiva pels formalismes analítics i una tendència a veure cada tasca de l'enginyeria com un projecte de recerca.<sup>19</sup>

Tampoc no es dubta de la qualitat del treball dels estudiants que estan fent llur doctorat, tal com pot observar-se a partir de les notes mitjanes de la Graduate Record Examination. Les xifres s'han mantingut més o menys constants des del 1975, bàsicament com a resultat de l'equilibri entre americans. Aproximadament un trenta per cent de la gent que està realitzant el doctorat són estrangers amb visats temporals.<sup>20</sup>

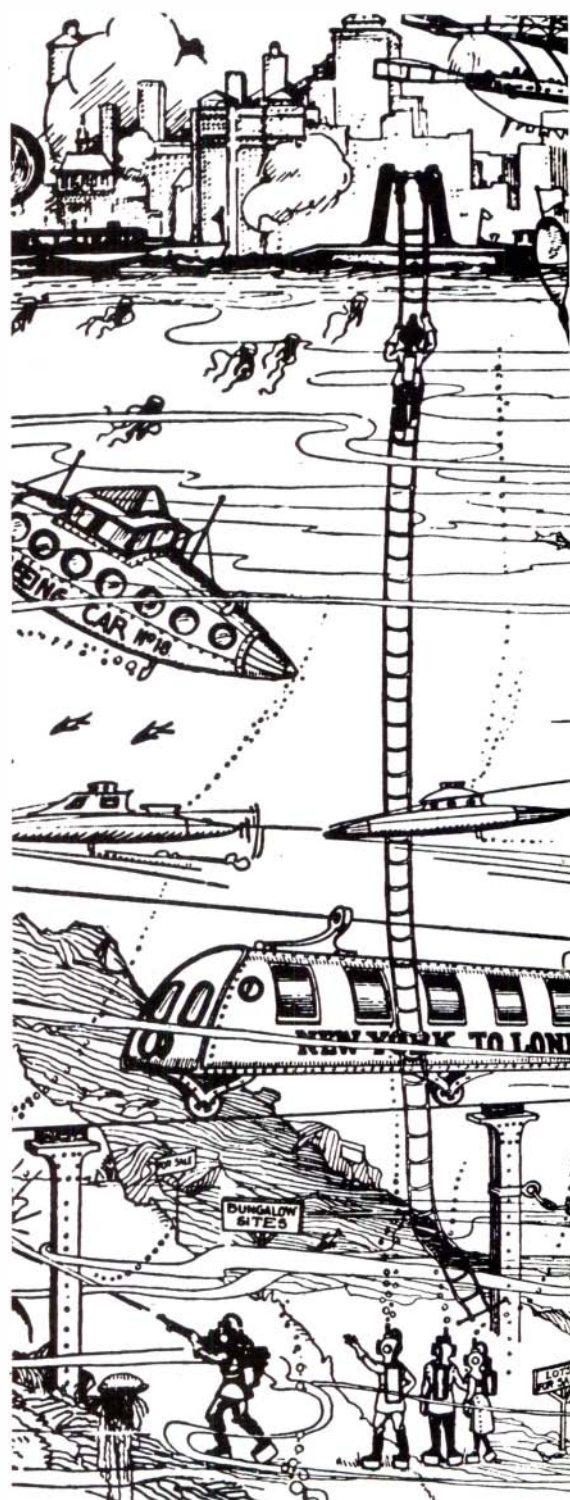
Les institucions que s'encarreguen d'educar els líders de la tècnica del país haurien d'enfocar adequadament les necessitats futures de la tecnologia. Això requereix un coneixement de les noves direccions i els nous avenços de les ciències bàsiques així com una comprensió de

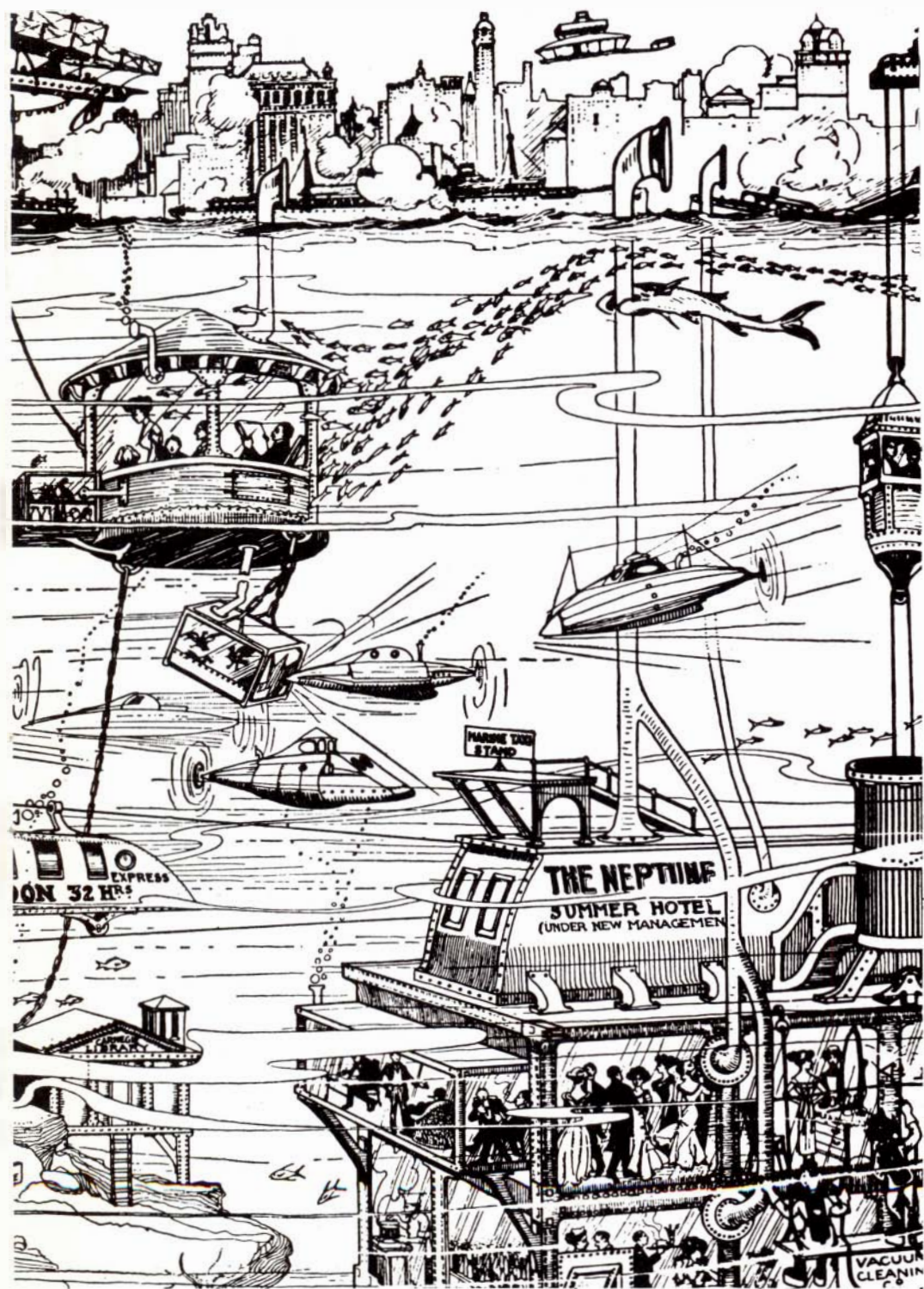
## L'EDUCACIÓ PER A DIRIGENTS TECNOLÒGICS

les necessitats de la indústria i de la societat, cosa que exigeix una sèrie d'enllaços íntims entre les escoles industrials i les d'enginyeria. Aquests contactes es poden realitzar de diferents maneres. Les escoles han establert unes associacions de recerca i programes industrials donat que s'han trobat amb una considerable necessitat educacional a través del mecanisme de les experiències clíniques industrials. En aquestes condicions, els estudiants realitzen unes tasques que estan d'acord amb les decisions mútues de llur facultat i de l'escola industrial. Durant aquest projecte, l'estudiant té l'entrada lliure a les instal·lacions de les companyies i treballa sota la supervisió conjunta d'un gerent industrial i d'un conseller universitari. Tots aquests acords aporten uns lligams molt importants entre la indústria i les universitats. El suport que les universitats poden aportar és d'un valor incalculable. No obstant això, aquestes activitats han de mantenir un caràcter secundari, donat que la funció primària de les escoles d'enginyeria és atorgar el coneixement intel·lectual mitjançant el desenvolupament dels principis bàsics de la pràctica diària d'aquesta disciplina. Abans de tot, les facultats d'enginyers han d'ésser els principals líders en la formació de les noves tendències intel·lectuals que hom necessita per a satisfer les necessitats d'avui dia.

Hem de fer, però, una advertència important en aquest aspecte. Les universitats no podran tenir mai amb l'enginyeria la mateixa relació que tenen amb la ciència en general. Els intents de copiar els models de recerca dels anys cinquanta, substituint l'enginyeria per la ciència, no poden tenir èxit. La majoria de la recerca de l'enginyeria continuarà fent-se en el seu hàbitat natural, el laboratori industrial. No hi ha cap manera de fer una còpia a la universitat del amplis sistemes amb els quals es troben els enginyers. De tota manera, això no tindrà greus conseqüències de cara a l'educació si es porten a terme una sèrie de connexions més profundes entre la indústria i l'ensenyança perquè els estudiants tinguin l'oportunitat de familiaritzar-se amb la realitat industrial contemporània.

Durant el reforçament d'aquestes relacions, el canvi de les exigències de la indústria tindrà automàticament un efecte principal sobre el treball del professorat universitari i sobre els





estudiants. Al mateix temps, és important deixar una certa separació entre la indústria i l'ensenyança per a poder tenir una continuïtat institucional i per a evitar que les escoles pateixin les ràpides variacions característiques de les indústries i les tecnologies.

Això no obstant, per a assimilar aquests canvis les facultats hauran de revisar detalladament llurs plans d'estudis. En el futur, farà falta tenir una base més coherent per a l'educació d'aquesta disciplina, centrada en un sol camp unificat de ciència fonamental, habilitats analítiques i pràctica de l'enginyeria.<sup>16</sup> En un món tecnològic que està canviant tan ràpidament, els llicenciats en enginyeria amb una àmplia educació i capaços d'assimilar a bon ritme les noves tècniques i responsabilitats, tenen moltes més possibilitats d'ésser els líders que aquells qui s'han dedicat a una especialització més concreta. Els cursos d'aquesta carrera travessaran un seguit de reestructuracions intenses. El predomini del *software* s'haurà de notar en cada curs. Pràcticament, tots els estudiants d'enginyeria es veuran forçats a comprendre el funcionament dels computadors i la síntesi i la interacció del *hardware* i el *software*. Desgraciadament, serà molt difícil disposar dels computadors gegants que hom utilitza en la recerca científica i en la indústria, i caldrà crear nous procediments per a donar una comprensió correcta del funcionament i del potencial d'aquests sistemes tan complexos.

Hom també haurà de posar més atenció en l'ensenyança del disseny. Durant els passats vint anys, la majoria de les facultats d'aquesta disciplina van oblidar aquest punt tan important. Avui dia, però, les institucions són molt més conscients que el disseny ha d'ésser una part fonamental de tots els programes d'enginyeria. Hom ha de donar aquesta assignatura amb una àmplia perspectiva que inclogui l'anàlisi, la producció, l'economia i l'impacte social, deixant al mateix temps un camp molt gran per a la imaginació i la intuïció. Posar en pràctica aquestes consideracions obligarà les facultats d'enginyeria a reforçar les capacitats de llur professorat i a obtenir un nou equipament d'ensenyança. Tant l'un com l'altre són uns problemes enormes d'abast nacional.

La manca actual de professorat d'aquesta carrera i les pobres perspectives de trobar-hi una solució faran més difícil que les escoles d'enginyeria es dediquin a restablir els programes de disseny en llurs plans d'estudis. Actualment hi ha una gran quantitat de vacants en aquests centres d'estudis, especialment les que afecten

els camps de l'energia i de l'enginyeria mecànica i física<sup>12</sup> i els sistemes *software*. Aquest problema es troba augmentat pel fet que els salaris del professorat d'aquesta carrera no són gens comparables amb els de la indústria. Aquesta situació pot arribar a unes proporcions catastròfiques al final de la dècada dels vuitanta, quan s'espera que es jubilin una quantitat molt important de catedràtics d'enginyeria.<sup>16</sup>

També existeixen dificultats relacionades amb les instal·lacions de les facultats. Els edificis i els equips s'han fet vells, cosa que vol dir que les facultats d'enginyeria d'avui dia no estan ben equipades per a treballar amb la indústria. Fa poc es va fer una revisió de catorze escoles d'enginyeria independents (sense comptar el Califonia Institute of Technology i el Massachusetts Institute of Technology). De resultes d'aquest estudi hom va veure que aquestes institucions trigaran quaranta anys a renovar llurs equips, tenint en compte els coeficients mitjans de despeses. S'ha de recordar que aquests equipaments instrumentals tenen una duració mitjana de 6,5 anys. Els pressupostos d'aquests centres per a comprar nous aparells haurien d'ésser de mil cinc-cents dòlars anuals. Si aquestes xifres es traslladen al nivell de tota la nació, les facultats d'enginyeria dels EUA haurien de despendre, en total, 150.000.000 de dòlars l'any només en instruments. De moment no sembla haver-hi cap programa que pugui solucionar aquest problema.<sup>21</sup>

Malgrat tot això, és obvi que les escoles d'enginyers s'acostaran molt més a la indústria en el futur i que llurs programes canviaran de tal manera que puguin satisfer les necessitats de la indústria dels EUA, proporcionant al mateix temps una excel·lent educació en aquesta carre-

a resultat, no hi ha hagut gaires figures que destaquin per si mateixes. Els *superstars* de la recerca científica, tan importants per al públic, en general no tenen un equivalent en el camp de l'enginyeria.

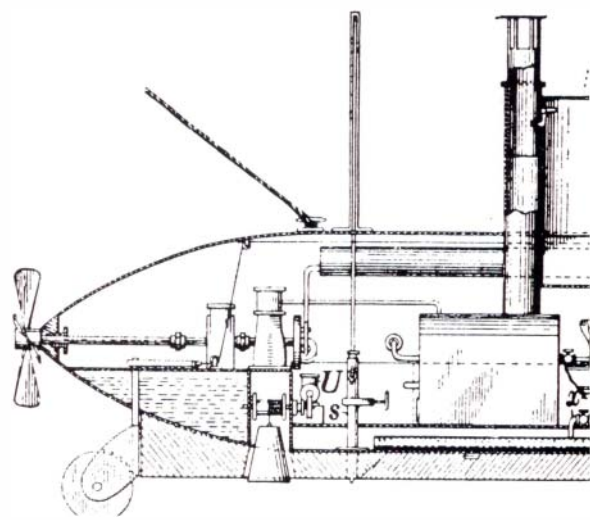
Aquesta falta de fama ha creat un sentiment entre els enginyers que llur professió no ha rebut el reconeixement i la consideració que mereix. Mirant la història, podem veure que l'enginyeria no ha estat mai considerada una de les set arts, i fins i tot avui dia hi ha una tendència de no incloure-la entre les professions més cultes. Sempre ha estat com un grup heterogeni que no ha tingut cap punt de referència comú a tots els seus membres.

**El registre professional.** Una de les respostes davant aquesta situació ha estat la creació del registre professional. El 1978, entre un 25 i un 30 per cent d'enginyers es van inscriure en agències estatals.<sup>22</sup> La National Society of Professional Engineers ha treballat molt en aquest sentit i ha tingut cada vegada més èxit en establir aquest registre com un criteri per a definir qui és i qui no és enginyer. El problema és que no tothom està d'acord que els enginyers s'hi hagin d'inscriure.

La indústria considera que és una forma innecessària d'interferència governamental. Els gerents hi estan en contra atès que creuen que l'enginyeria de la indústria té una relació indirecta amb el públic, no necessita la mateixa regulació que una petita empresa o un enginyer que treballa pel seu compte. Molts enginyers que es dediquen a fer recerques en les indústries d'alta tecnologia no tenen cap interès a inscriure's en aquest registre per tal com no consideren important de fer-ho. Endemés, molts dels enginyers que s'hi han inscrit reconeixen lliurement que els resultats de l'examen de llicenciatura no determina l'habilitat d'un enginyer. No obstant això, és probable que la tendència a inscriure-s'hi continui augmentant.

**Les societats d'enginyers.** Actualment existeixen més de trenta societats professionals d'enginyers. Han creat un sistema de preparació de programes educatius lliure de qualsevol crítica. Han encapçalat el desenvolupament de codis i d'estàndards de disseny i han lluitat per definir un codi ètic de la pràctica professional. S'han mantingut informats dels avenços tècnics i d'altres tipus gràcies a llurs butlletins, publicacions i reunions.

Malgrat tot això, molts enginyers pensaven fins ara que la societat i que fins i tot llurs propis membres no els reconeixien com a pro-



fessionals, i que no es donava prou importància a llurs coneixements i opinions. Els enginyers sempre han intentat evitar la controvèrsia social i política i s'han apartat de les activitats que els obliguen a prendre decisions sense tenir una oportunitat adequada de sopesar adequadament les alternatives. Els darrers esdeveniments, però, els han obligat a canviar aquesta posició tradicional. Cada vegada hi ha més enginyers que consideren amb molta preocupació l'acceptació creixent de la il·lusió que la legislació pot crear un món lliure de perills. Aleshores, senten la responsabilitat de conscienciar la gent del fet que només una argumentació lògica, sense un coneixement tècnic genuí, és insuficient per a establir regles d'abast nacional que entrin dins del camp de la tecnologia.

Conseqüentment, les societats d'enginyers han començat a tenir molta més activitat pública en adherir-se a posicions concretes sobre qüestions tecnològiques que tenen unes repercussions molt àmplies en la societat, com per exemple l'energia nuclear, la reforma reguladora i la productivitat. Aquests i altres punts de preocupació han produït unes posicions molt més agressives per part de les societats d'enginyers. S'han format comitès d'acció política per tal de prestar suport als candidats al Senat i al Parlament les posicions dels quals en referència a les qüestions tecnològiques semblen tenir una forta base tècnica.<sup>23</sup> També hi ha hagut proposicions per a crear una National Engineering Foundation (o per a eixamplar la National Science

## ELS ENGINYERS, COM A LÍDERS PROFESSIONALS I SOCIALS

Els enginyers constitueixen una cultura força especial que contribueix enormement al desenvolupament i el benestar de la nostra societat d'una manera totalment anònima. Aquests homes intenten deixar de banda tots els trets personals possibles i funcionar com un equip esportista o com una societat professional. Com

universitats, les societats professionals i els directius hauran de compartir la responsabilitat de facilitar que els enginyers puguin mantenir-se al dia. Encara no existeix la infraestructura necessària per a portar a terme aquests programes. Potser això sigui un problema que l'AAES ajudarà a resoldre.

## LA TRIÀDE ESSENCIAL

Tots els punts que acabem de tractar ens donen una visió de l'enginyeria com un camp ple d'oportunitats. No obstant això, si hom les vol desenvolupar al màxim, s'hauran d'establir noves connexions de tipus econòmic, social i de gerència entre la indústria, l'ensenyament i la professió de l'enginyeria —la triàde essencial. L'actitud més eficaç que el govern podria adoptar seria la de facilitar el desenvolupament d'aquestes connexions i (quan no hi hagi cap altre mecanisme) ajudar que cada membre de la triàde pugui obtenir els elements necessaris per a col·laborar eficaçment amb els altres. El govern mateix, però, s'ha d'encarregar d'equilibrar les seves iniciatives. Hom hauria de permetre que les direccions i les prioritats evolucionessin d'una manera natural si la societat vol obtenir el màxim d'avantatges que l'enginyeria li pot aportar en un temps mínim.

( K. C. Rogers )

### Referències i notes

1. T.H. Huxley, "Science" núm. 1, 5 (1880).
2. P. Marsh, "New Sci." núm. 84, 618 (1979).
3. W.G. Phillips, "Prof. Eng." núm. 49, 36 (1979).
4. R. Allan, "IEEE Spectrum" núm. 16, 53 (gener 1979).
5. D. Queyssac, *ibid.* núm. 16, 39 (maig 1979).
6. J. Fagenbaum, *ibid.* núm. 17, 54 (gener 1980).
7. E.J. Lerner, "High Technol" núm. 1, 46 (febrer 1980).
8. Z. Tadmor i C.G. Gogos, *Principles of Polymer Processing* (Wiley, Nova York, 1979).
9. Z. Tadmor i C.G. Gogos, *Conference of*

*computer-Aided Manufacturing* (National Engineering Laboratory, Glasgow, 1978).

10. National Research Council, *Science and Technology: A five-Year Outlook* (Freeman, San Francisco).

11. R.A. Frosch, "IEEE Spectrum", núm. 16, 44 (juny 1979).

12. National Science Board, *Science Indicators 1978* (National Science Foundation, D.C. 1979).

13. P. Doignan, *Proceedings, 1979. Frontiers in Education Conference* (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Nova York, 1979).

14. National Research Council, *Retention of Minority Students in Engineering* (National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979).

15. *47th Annual Report 1978-79* (Engineer's Council for Professional Development, Nova York, 1979).

16. Center for Policy Alternatives, Massachusetts Institute of Technology: *Future Directions for Engineering Education* (American Society for Engineering Education, Washington D.C., 1975) pàg. 48.

17. Engineers Joint Council, "Eng. Manpower Bull." (novembre 1979).

18. A. Astin, M. King, G. Richardson: *The American Freshman: National Norms for Fall 1979* (Cooperative Institutional Research Program of the American Council on Education and the University of California de Los Angeles).

19. Comunicacions personals de prop de 30 dirigents de la indústria americana i de l'enginyeria.

20. National Research Council: *Summary Reports 1978, Doctorate Recipients from United States Universities* (National Academy of Sciences, Washington D.C., 1979).

21. G. Low, president de l'Association of Independent Engineering Colleges a R.C. Atkinson, el 8 d'agost del 1978.

22. M. Fine "Prof. Eng." núm. 49, 25 (1979).

23. M. Fine, *ibid.*, pàg. 12.

24. B. Weinschel, "IEEC Spectrum", núm. 17, 58 (febrer 1980).

25. S. Reis "Natl. Soc. Prof. Eng. Times", núm. 2, 16 (gener 1980).

26. J. Moskowitz, "Mech. Eng." núm. 102, 2 (1980).

27. Més de trenta dirigents de la indústria i el món de l'enginyeria dels Estats Units varen consentir ser entrevistats per a possibilitar la redacció d'aquest article. Vull expressar el meu reconeixement a tots ells pels seus comentaris i els seus consells.

Foundation a una National Science and Engineering Foundation) i per a reforçar la National Academy of Engineering (24, 25).

Un pas que pot tenir un efecte profund en la influència legislativa i en l'envergadura nacional de l'enginyeria és la formació de l'American Association of Engineering Societies (AAES), fundada a final del 1979, i a la qual estan federades trenta-set societats.<sup>26</sup> L'AAES proporcionarà un centre de coordinació actiu a Washington per tal que els legisladors obtinguin una ràpida informació de les noves tendències. Hi ha una gran part de la nova legislació que té un contingut altament tècnic i la idea de l'AAES és aportar un testimoni objectiu als legisladors i els seus equips com a ajuda en l'elaboració de les noves lleis. Aquesta associació també s'encarregarà de tenir informats tots els enginyers dels avenços que tinguin lloc en el govern i en la regulació pública. L'AAES constituirà l'única veu capaç d'ésser escoltada per tota la nació.

**L'ensenyament de l'enginyeria.** El repte més gran de l'ensenyança de l'enginyeria és el problema de la continuació de l'educació. Hi ha moltes àrees en les quals el ràpid desenvolupament de la tecnologia està deixant antiquats tots els coneixements dels enginyers en menys temps que el que van passar estudiant la carrera. Mantenir-se al dia és un problema molt seriós per a molts enginyers, especialment per a aquells qui no viuen a la vora de les grans ciutats o dels grans centres d'ensenyança. Les

