

Programari i escenaris de disseny

Pablo Vicente Legazpi

pvl@caesoft.es

Enginyer de mines CAEsoft consulting S.L. (www.caesoft.org)

Resum

En aquest article, l'autor intenta centrar l'interès en els diferents aspectes que actualment estan involucrats en el procés de disseny, per acabar remarcant la creixent importància del factor humà, el treball en equip i els recursos de programari. Aquests temes influeixen definitivament en el tipus de formació del nou enginyer, més semblant a un enginyer-artístic que a un científic racionalista. Els recursos tecnològics i el ritme d'avenç dels desenvolupaments de programari superen la capacitat d'assimilació de qualsevol enginyer, per la qual cosa cal un entorn col·laboratiu. D'altra banda, un petit equip d'enginyers ben dotat d'eines té un potencial de creació inimaginable anys enrere.

Paraules clau

Disseny, elements finits, selecció de materials, tècniques CAD/CAE

Què involucra el procés del disseny avui en dia?

En el mes de desembre de 2001, un diari electrònic espanyol⁽¹⁾ recollia els invents més destacats de l'any. Sense voler ser excessivament rigorós, aquests invents sí que poden ser un bon exemple de l'activitat creativa dels enginyers-dissenyadors en l'actualitat. Vam contemplar uns invents sofisticats, de formes complexes i acabades, amb materials evolucionats i, sobretot, a punt per ser venuts. El cicle creatiu s'ha completat d'una manera ràpida i el producte està a punt per entrar en la carrera dels preus.

Un altre aspecte interessant i comú és la reducció de mides. O no sols la reducció de mides, sinó també la integració de components en espais reduïts, fins i tot quan les formes són corbes i és difícil de predir de manera intuïtiva la col·locació de les peces en el seu interior. Els nous dissenys han estat provats per ordinador en un espai virtual tridimensional per comprovar-ne l'encaix de totes les peces, fins abans de portar a terme qualsevol prototipus. L'espai s'ha aprofitat al màxim. El muntatge s'ha assajat abans de produir qualsevol peça. La nanotecnologia passa fins i tot a nivell submil·limètric implementant complexos circuits de piping en combinació amb reduïts sensors i components electrònics. La geometria perd en molts casos el seu caràcter intuïtiu a causa de la mida dels models. El dissenyador ha utilitzat tècniques de disseny i producció molt complexes per aconseguir implementar sensors que redueixen la mida mil vegades, robots de la mida d'una canina o sistemes de bombeig tan petits com el cap d'una agulla.

Però, en què s'estan basant les modernes tècniques de disseny? Què hi ha rere aquests invents tan sorprenents? Com han aconseguit els enginyers evolucionar fins a completar cicles de disseny reduïdíssims amb productes a punt per ser venuts en qüestió de mesos? Podríem dir que les sofisticades tecnologies de disseny, abans privatives de grans companyies aeronàutiques o automobilístiques, han arribat a ser del domini públic? És evident que sí. La revolució del disseny s'ha popularitzat tot comportant avenços conjunts en geometries, materials o modes d'ús.



Figura 1. Patinet revolucionari presentat als EUA al final de 2001. Una solució al transport personal en distàncies petites

Cap tècnica concreta és la responsable del conjunt

En qualsevol desenvolupament hi ha sempre una idea original innovadora, però aquesta idea quedaria realment aïllada sense l'ajut i el suport de tècniques més o menys sofisticades. El resultat final és, doncs, una suma integrada de geometria, anàlisi i materials en què tots els elements sense excepció tenen un pes fonamental. Per tant, la clau no rau exclusivament en la innovació, sinó en la integració, en la capacitat de ser "avançat" simultàniament en camps paral·lels per aconseguir finalment plasmar en una creació cada una de les aportacions sinergitzades de geometria, anàlisi i selecció de materials (2).

Un nou material requerirà molt probablement el redisseny geomètric o el replantejament d'unions. Un nou sistema de control pot tenir unes implicacions decisives sobre l'estructura de suport. El material pot interferir en el funcionament normal d'un component... Tots aquests factors estan intensament relacionats entre si, i aïllar-los conceptualment ens inclina a l'error.

Així doncs, el nou repte de l'enginyer serà la integració de tècniques de generació geomètrica, mètodes de simulació i anàlisi i sistemes de selecció de materials. Cal un coneixement profund de cada una d'aquestes tècniques per poder fer front a projectes de caire modern amb èxit. No hi ha prou temps ni és l'objectiu crear superespecialistes en materials que en realitat no hi entenen en condicionants geomètrics, o quelcom de més habitual: grans especialistes en control automàtic

que no hi entenen absolutament gens de què significa la rigidesa d'una estructura o el procés químic que hi ha subjacent en els seus algoritmes.

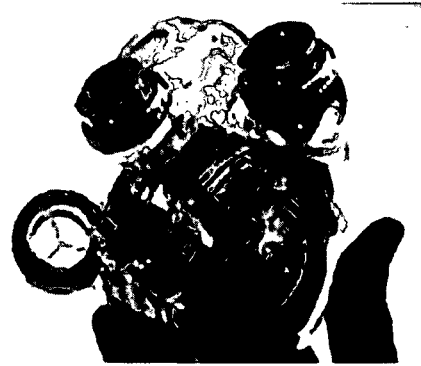


Figura 2. Cor mecànic 100% artificial. La complexitat de les formes es correspon amb la sofisticació del disseny intern, els materials i els sistemes d'accionament

L'objectiu de la integració vol donar més importància a l'ésser humà

En el centre d'aquesta integració conceptual dels grans pilars en què es basa el disseny hi ha l'home, el dissenyador. Tant si és enginyer com si no, aquest dissenyador portarà una feixuga càrrega a l'esquena que -a més de la seva història- seran els nombrosos coneixements i l'experiència adquirits durant el període de formació. Si aquesta formació està mal orientada, en lloc de potenciar la creativitat de l'enginyer, l'anul·la, fins a produir uns mutants fantàstics que s'estampen contra la seva pròpia ignorància. Pensem, per exemple, en la immensa quantitat de continguts que els enginyers de la meua generació hem hagut d'estudiar sobre geometria descriptiva. Evidentment, són conceptes importants per a un especialista, però totes aquestes tones d'informació potser van impedir que juguéssim com infants amb argila, que projectéssim en un taller de peces trencades.

He viscut una experiència recent en un centre d'educació xilè, on em va sorprendre l'agilitat amb què els professors canviaven les matèries, s'adaptaven al que consideraven més pràctic i generaven autèntiques fures del disseny industrial. Els alumnes posaven mans a l'obra i dissenyaven ganivets, cadires, vehicles, vestits... Feien servir eines de modelat sòlid, selecció de materials, anàlisis FEA. Un enginyer sènior de la nostra empresa es va sorprendre força en veure-ho. Ell mai no havia fet el mateix en la seva escola d'enginyers (4).



Figura 3. Nanorobots presentats al final de 2001

En aquesta escola que esmento es van adonar que a l'hora de fer front als projectes, als alumnes els mancaven dots de comunicació. Eureka! Hi ha algú que és sincer amb si mateix. No els fallaven els conceptes mecànics, que aprenien ràpidament consultant els professors i els llibres. No els fallaven temes estètics, ja que feien gala d'una gran plasticitat. Simplement els fallava que no sabien entendre i transmetre, no disposaven de recursos de comunicació. Sóc conscient que aquesta mateixa realitat és coneguda en moltes escoles. En el replantejament (un de tants) dels plans d'estudi de la meva -en aquella època- escola d'enginyers (aproximadament, el 1985), va sorgir el tema de les deficiències dels postgraduats quan havien de treballar en equip. Al contrari que en aquella petita escola xilena, la meua escola no va saber, no va voler o no va ser capaç de millorar els seus plans d'estudi en aquesta direcció. El pes de matèries, cursos, professors, i una llarga llista de problemes, van fer que es modifiquessin altres temes, però l'alumne continuava sent aquell enginyer "generalista" o "especialista" que es pretenia. Més encara, a causa de la dificultat de les matèries (menys del 10% de l'alumnat acaba els estudis d'enginyer en aquesta escola) els projectes de final de carrera -només un en tota la carrera- esdevenen un tema secundari, de tràmit, i pràcticament sense cap transcendència en la graduació.

Des de fa anys he tingut l'oportunitat de visitar moltes escoles, i la realitat és molt semblant. Es continua sense donar prou importància als dots de comunicació, liderat o, simplement, de redacció o oratòria. No es posa prou l'accent en l'ensenyament de llengües. La ciència o la tècnica són el centre sagrat dels ensenyaments, i continuem sense adonar-nos que rere els

ordinadors i els projectes hi ha persones. Aquestes persones són competents o incompetents, disposen o no de la coneguda "intel·ligència emocional", que els farà triomfar en la seva vida professional. Aquí rau el repte de la seva educació.

En el terreny que ens ocupa, el del programari, la integració d'aquests tres grans camps de batalla (CAD, CAE i materials) també ve marcat per persones. Els programes fan el que la gent els diu que facin. La gran novetat és que sempre fan alguna cosa, i és bonica, i té colors. És obvi que els colors poden ser una autèntica salvatjada, i que el que és bonic pot no ser pràctic en absolut. Per tant, l'ús de programari pot produir grans mentides i desastres. Això ho entén tothom. Però el que també entén la part de la humanitat dotada d'intel·ligència és que no s'ha de descartar les modernes tècniques de disseny a causa d'aquests errors. Això seria pura i simplement una estupidesa. Potser avui ja no està de moda parlar de si el CAD és útil o no, però jo he assistit, i en moltes empreses, a la crucifixió del CAD, a l'arrest d'ordinadors o a la declaració d'ineptitud d'enginyers que es van "arriscar" a utilitzar programari i van fallar (qui no fa mai res és molt difícil que s'equivoqui).

En els dissenys complexos actuals, el nombre de factors que poden fallar pot ser alt. Quan s'intenta integrar molts components, cada component incorpora el seu granet d'incertesa, la seva possibilitat d'error. Per tant, tenir equips humans ben compenetrats, que no "es passin la pilota", pot ser la clau de l'èxit. I per a això cal que tots entenguin, respectin i potenciïn la feina de tots. El programari ja no seria -no ha de ser- una illa habitada només per especialistes. Això implica que els programes no han de ser tan complexos que només els entengui un superenginyer. És molt important que tinguin una característica tan simple com la versatilitat, tal com propugnem en la meua empresa com a clau de l'èxit de molts projectes. El programari ha de ser fàcil d'utilitzar, perquè no l'ha de fer servir una sola persona, sinó moltes, i això requereix que la formació sigui curta i clara. Que utilitzar-lo sigui senzill. Que els resultats siguin visibles en un espai de temps curt. La persona que utilitza aquest programa ha de ser capaç d'explicar als altres els seus resultats, i els altres l'han d'entendre (i no simplement assentir al que digui).

Tenint en compte el que acabem de dir, queda clar que hem de lluitar contra la inflació de la complexitat en què s'acostumen a enterrar determinats projectes. L'enginyeria, quan és bona de debò, és simple (menys peces, moviments senzills, línies de fluxos curts, xarxes

sense colls d'ampolla...). La complexitat acostuma a anar lligada a gent molt intel·ligent, i aquestes persones intel·ligents són l'avantsala del desastre. No perquè siguin intel·ligents, sinó perquè estaran envoltades de personatges incapaços que assentiran sense dubtar a cada un dels resultats que aportin els superenginyers. El desastre està servit. És millor dirigir-se cap al món de la iteració, la imaginació o el sentit pràctic, la comunicació entre experts i no experts.

Si ens hem de centrar a resoldre aquests problemes de comunicació, hauríem de reflexionar sobre què és fonamental en la formació de qualsevol equip. Hauríem de pensar en el denominador comú. Si aquest denominador comú és CAD-CAE-Materials, haurem de proporcionar una bona formació en aquests aspectes, haurem d'establir una llengua comuna en els equips de disseny. Aquí és on ajuda el programari, ja que automatitza moltes tasques, obliga a determinats formats. Un CAD ben integrat amb anàlisi pot proporcionar grans resultats "de comunicació".

El pilar CAD

Som a l'any 2002 i encara hi ha gent que es planteja la necessitat d'introduir "un CAD". És a dir, mentre en algunes empreses ja s'ha passat per tres generacions de programes diferents, en altres es comença a introduir programari de disseny. Imagino que les persones que

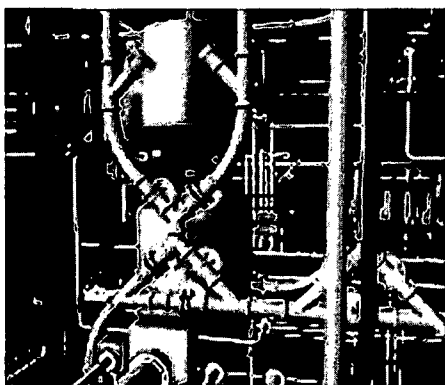


Figura 4. Els programes de CAD general evolucionats han esdevingut editors gràfics d'eines de gestió més complexes, com aquest programa de Rebis per a disseny de plantes sobre AutoCAD

llegeixen aquest article poden estar integrades en qualsevol de les opcions, però avui en dia ningú que vulgui una productivitat i una qualitat bones es con-

forma amb un tauler de dibuix. He de dir que el CAD no pot substituir el dibuix a mà alçada. El CAD s'empra per a altres feines certament crítiques quan cal replantejar els dissenys inicials, definir toleràncies, simular mecanismes o passar la geometria a programari d'anàlisi de tensions.

Dins del CAD, podríem parlar de tres nivells de productes comercials clarament diferents. En primer lloc, tindríem les eines de dibuix. Quan dic dibuix em refereixo que l'enfocament gràfic és molt genèric, es generen entes gràfics simples (línies, polilínies, cercles, arcs, etc.) i són útils principalment per a la producció de plànols. El desenvolupament d'algun d'aquests programes ha fet que s'utilitzin per a tasques molt més avançades utilitzant el CAD com a editor gràfic d'una aplicació de gestió més complexa. Actualment són potents motors gràfics lligats a bases de dades.

El segon nivell estaria format per aplicacions molt sofisticades de geometries 3D. Estan orientades a manejar superfícies complexes, encaixos, CAM, i pràcticament tot el cicle del producte. Han estat utilitzades durant anys en grans corporacions. A parer meu, totes tenen en comú un preu elevat i una complexitat que requereix alguna cosa més que un simple projectista.

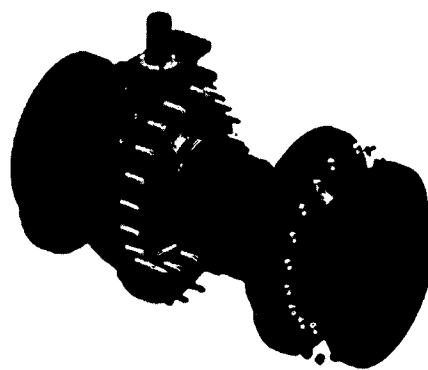


Figura 5. Model sòlid CAD 3D

El tercer nivell intermedi d'eines CAD està protagonitzat per un seguit de paquets que comparteixen estàndards com Windows o Parasolid i modelen sòlids en 3D. Són programes de nou encuny molt fàcils de fer servir i amb un potencial de disseny increïble. No són cars per la qualitat que ofereixen, i les instal·lacions realit-

zades demostren que l'èxit està garantit. El cicle de formació inicial típic és de quatre hores (heu llegit bé) i no tenen res a envejar als complexos CAD de 3D en el 98% dels problemes de geometria.

Naturalment, cada empresa ha de decidir quin és el seu camí. Els programes de dibuix estan molt evolucionats, i en alguns casos podrien substituir els models sòlids 3D (l'última versió de Microstation, programa de CAD genèric, ja incorpora parasolid, per posar-ne només un exemple). Però la clau de l'èxit no rau en la complexitat del programa –en la potència "geomètrica"–, sinó en quelcom més senzill anomenat versatilitat. Independentment del camí que es triï, el més important és no oblidar que aquests paquets de programari seran utilitzats per persones. És més important la persona que el programari. És a dir, seria una estúpida invertir 6.200 euros en un programari de CAD i 15 euros a convidar a dinar el venedor del CAD (ja que no s'ha previst un curs de formació per a l'operador). Les coses no funcionen així. La persona que haurà de fer servir el programari ha de ser competent, i a més cal emprar els recursos necessaris per fer-la productiva al més ràpidament possible. Tampoc no s'ha d'oblidar els costos ocults d'algun d'aquests paquets (maquinari UNIX costós, cursos de formació caríssims, temps de pèrdua de productivitat molt prolongats). I tampoc no s'ha d'oblidar el que hem dit abans: tot l'equip de disseny ha d'entendre el CAD, com a mínim n'ha de conèixer les possibilitats i ha de saber realitzar algunes operacions senzilles sense l'ajut de l'operador especialitzat.

El pilar CAE

Parlar de CAE és excessivament genèric. En CAE s'inclouen aplicacions de simulació o anàlisi de qualsevol mena, des d'anàlisi mecànica per elements finits fins a programari de simulació elèctrica. Els algoritmes són molt diferents, com també ho són els pre i postprocessadors. Tradicionalment s'acostuma a identificar CAE amb programari per a l'anàlisi de tensions, ja que des de bon començament fou l'aplicació més estesa.

Un aspecte previ important és que les geometries utilitzades per programes d'anàlisi no acostumen a ser les mateixes que les de CAD. Els programes d'anàlisi estructural utilitzen "elements" que discretitzen o divideixen el medi continu. Aquests elements poden ser geomètricament una línia o un pla, mentre que en

realitat representen una biga o una planxa d'acer respectivament. Per tant, quan es parla d'integració CAD-CAE en temes d'esforços no s'ha d'oblidar que s'està parlant exclusivament de geometries sòlides. Hi hauria un altre tipus d'integracions bidireccionals, però pràcticament estan veient la llum a hores d'ara (aprofitant la tecnologia "COM" de Microsoft).

Una altra diferència important: mentre amb les eines CAD es poden obtenir resultats immediats i sense complicacions, amb els programes CAE els resultats són a llarg termini i les implementacions acostumen a fracassar. El fracàs no seria només aparcar el programa en una prestatgeria. També seria fracàs no aconseguir treure'n un rendiment acceptable de cara al disseny.

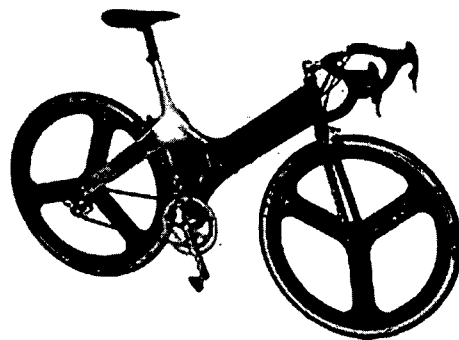
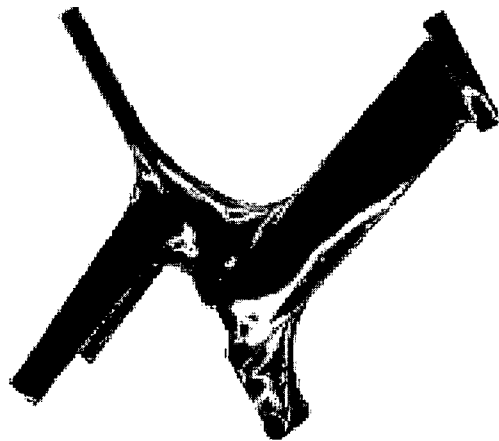


Figura 6. Tensions en composites

Si en CAD podíem establir tres grups més o menys identificables, en CAE (FEA) ja no ho podem fer. Les tecnologies són molt diferents, els mètodes de preprocessat (la clau d'aquests programes) són diferents, i els tipus d'usuari, també. Aquí la versatilitat brilla per la seva absència en la major part d'opcions. També hi ha costos ocults (no ho oblidem: maquinari UNIX costós, cursos de formació caríssims, temps de pèrdua de productivitat molt perllongats). Hi ha un factor addicional anomenat precisió de càlcul, que s'acostuma a obviar, i que depèn del tipus de malla i la formulació d'elements (atenció, perquè la imprecisió pot arribar al 30%). No té gaire importància la velocitat del processador, i, per descomptat, l'èxit sempre ve marcat per un curs de formació i un bon suport.

Si per al CAD exigíem que fos versàtil, en CAE també ho hem d'exigir. Tot l'equip de disseny ha d'entendre i més no elementalment- què signifiquen els colors que apareixen a la pantalla. Tothom ha d'entendre què és un límit elàstic, què és la plasticitat, les variacions en les propietats de material, l'efecte de petites concentracions de tensió... Podríem dir sense por a equivocar-nos que els paquets FEA han suposat un avanç enorme en el disseny mecànic, però també que són la font de mentides més evident de determinats projectes.

Un altre error en què s'acostuma a caure en parlar de CAE és pensar que és possible prescindir del taller i de la màquina d'assaigs mecànics. Normalment, els usuaris d'aquests programes són gent "especialitzada" en càlcul, i amb molt poques hores de taller. El taller és fonamental per comprovar i ajustar els models. El CAE pot ajudar-hi molt, pot estalviar molt i pot ser crític per al nostre desenvolupament, però no ho és tot. Un cop més, la comunicació entre "el del taller" i "el de l'ordinador" -millor si són la mateixa persona- ens pot estalviar molts problemes.

L'ús i la selecció de materials

Podem tenir un encaix brillant, meravellós, però si no disposem de materials (i de processos per fabricar-los) el nostre disseny no existeix. El camp de materials possibles abraça un total d'entre 40.000 i 80.000 opcions diferents. Davant d'aquesta selva d'opcions, és imprescindible comptar amb alguna mena d'ajuda.

Les noves eines de selecció de materials canvien el panorama de treball i les relacions entre processos, formes, materials i unions. Mic Ashby⁽²⁾, conegut pro-

fessor de la Universitat de Cambridge, ha revolucionat els mètodes de selecció fent-los sistemàtics i versàtils. Existeix un programari que reproduïx la seva metodologia i proporciona uns resultats realment sorprenents⁽²⁾. Si bé aquesta eina no està gaire estesa, d'aquí a poc es configurarà com a eina de gestió del coneixement sobre materials que tindran els grups de dissenyadors. Podríem dir que s'està produint un gran avanç en temes com ara la selecció basada en models de comportament de material, però encara falta una major integració amb programari de CAD/CAE.

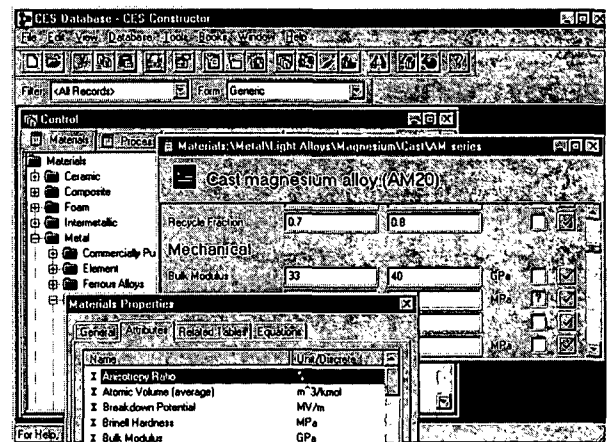


Figura 7. L'aplicació de selecció CES de Granta permet prendre en consideració complexes condicions de disseny, processos, formes, unions i propietats de material de forma simultànea, d'una forma gràfica i molt intuïtiva

Quins avantatges i justificacions presenten aquests programaris de selecció de materials? Per entendre-ho, parem esment en la situació actual. Una empresa típica de certa envergadura compta amb una o dues persones expertes en el subministrament de materials de cara als nous dissenys. Són persones normalment molt expertes en certificacions i amb un coneixement i una pràctica molt evolucionats en alguna mena de material. Aquestes persones generen un coneixement d'ús i d'aplicacions realment valuós, però, com s'emmagatzema? L'empresa té una posició realment crítica respecte d'aquests experts que, d'altra banda, només són experts en aquelles àrees de materials que dominen, però no en d'altres. Com assimila l'empresa el seu coneixement, com el gestiona, com el posa a disposició dels dissenyadors i com s'assegura la seva continuïtat en el temps? Si l'empresa no coneix materials nous, com es pot plantejar utilitzar-los? Els paquets de selecció de materials, autèntics motors especialitzats, responen a aquestes i a d'altres preguntes.

L'execució de prototipus i la posada al mercat

Un cop confeccionat el primer disseny funcional, haurem de passar a fabricar-lo. La producció de prototipus pot ser ràpida si disposem de bones eines CAD (és oportú prestar atenció al tema de les toleràncies). Hi ha empreses de serveis que subministren els models físics a partir de models CAD. Aquestes empreses tenen una resposta molt ràpida i realment són una alternativa ràpida en determinades geometries. Finalment, un cop fabricat un o uns quants prototipus, haurem de "vendre" el nostre disseny.

Aquest aspecte de "venda" està realment infravalorat, i hauria d'estar integrat en la ment de l'equip d'enginyers des de bon començament. No té cap sentit dissenyar coses que no s'han intercanviar, tret que estem pensant a crear art o algun objecte per a ús propi. Per descomptat, l'activitat creativa no ha de ser sempre limitada per la possibilitat de venda, però quan s'està dissenyant alguna cosa per a vendre cal considerar des del principi que hi haurà un usuari, que hi haurà un venedor, uns manuals d'ús... Tots aquests conceptes s'han d'incorporar a l'activitat de disseny igual que el CAD, el CAE o el disseny de materials.

A Europa, l'activitat de venda s'associa amb comportaments menys dignes que els de "dissenyar" o "fer enginyeria". Cal dignificar la feina de venda convertint-la en una tasca més professional, més tècnica. Cal conèixer temps de resposta, conceptes estadístics, canals de distribució... cal adonar-se que no es ven simplement dissenyant bé. Cal comunicar als altres com dissenyem. En el fons, les tècniques de venda són tècniques de comunicació. El convenciment sorgeix com quelcom natural quan la comunicació ha funcionat bé, quan l'usuari comprova que el nostre producte li serveix i el pot comprar sense risc. Per descomptat, podem tenir competidors, però tractar de suplantar la capacitat de decisió del client pot tenir efectes contraproductius. El client ha d'elegir. El que passa és que la informació de què disposa és normalment escassa. Si som capaços de "comunicar" generarem un estat de confiança que inclinarà el client a triar els nostres productes.

L'entorn col·laboratiu

Un cop s'ha posat l'èmfasi en la integració, i amb la proposta d'una formació comuna en aspectes bàsics per tal d'aconseguir-la, l'entorn que es genera és neta-

ment col·laboratiu, no especialitzat. Les organitzacions passen a un segon terme i apareixen les persones creatives. Enginyeries de dimensions reduïdes estan aconseguint resultats molt millors que grans enginyeries gràcies a les bones eines i a la bona compenetració. La clau de l'èxit apunta cap a l'entorn integrat (no m'agrada la paraula concurrent). Per aconseguir aquest entorn cal l'entrenament, el rodatge, la prova. Els futurs enginyers han d'incrementar la seva capacitat de crear, han d'estar més entrenats en allò que suposa un cicle de disseny. L'any 2000 ASME publicà a Mechanical Engineering ⁽³⁾ un estudi en què recomanava a les escoles d'enginyeria passar per quatre processos complets de disseny abans d'assegurar que una persona era enginyer. Així posaríem més èmfasi en l'equip i una mica menys en les assignatures.

Conclusió

La integració entre tècniques CAD/CAE no té l'origen només en el programari, sinó en el tècnic que sap integrar en si mateix matèries diferents. La integració té més aspectes humans que de desenvolupament de programari. Al cap i a la fi, l'intercanvi d'informació entre aplicacions és parcial i essencialment heterogeni. No és el mateix els elements FEA que un sòlid CAD, i per descomptat les tècniques que s'utilitzen a CAD/CAE no són les mateixes de la selecció de materials. Perquè la integració sigui efectiva, cal que tots els integrants de l'equip de disseny coneguin totes les tècniques CAD, d'anàlisi i de materials, ja que totes estan interrelacionades. El programari farà la resta facilitant el flux de comunicació. D'aquesta manera, l'èxit està garantit.

Bibliografía

- (1) *El Mundo*, 26 de diciembre 2001
- (2) Sobre selección de materiales es especialmente recomendable la obra de M. ASHBY, en particular "*Materials Selection in Mechanical Design*", 2nd ed, by MICHAEL F. ASHBY, editorial Butterworth-Heinemann (www.bh.com) 1999. Quizá igual de recomendable es el libro de "*Case Studies in Materials Selection*", de M.F. ASHBY Y DAVID CEBON, reimpresso en el 2000 por Granta Design Ltd. (www.grantadesign.com). CAEsoft Consulting SL (www.caesoft.es) comercializa en España y Latinoamérica el software CES de Granta design Ltd, que sigue la filosofía de selección de materiales, procesos y formas de Ashby y Cebon.
- (3) "*getting your message out*", ... *It's a brave new world for engineers in the job market, but how do you explain what you have to offer?*, artículo aparecido en noviembre del año 2000. Es interesante otro artículo publicado en *Mechanical Engineering* en junio de 1999 titulado "*crossing disciplines*", .. *A well-qualified electronics support laboratory is proving to be an indispensable part of an interdisciplinary engineering education*, escrito por JOHN G. WITZEL (Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology de Atlanta).
- (4) El centro al que se hace referencia es el DUOC (www.duoc.cl), dependiente de la Universidad Pontificia Católica de Santiago de Chile.