

Centre Nacional de Microelectrònica—CSIC *

El Centre Nacional de Microelectrònica (CNM) del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) fou creat el 1985 per iniciativa de la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia i del Ministeri d'Indústria, com a centre amb patronat, amb l'objectiu fonamental d'impulsar la microelectrònica al país tant en el món industrial com en l'acadèmic, realitzant i impulsant activitats d'R+D en els camps del disseny i test de circuits integrats i en les seves tecnologies de fabricació, com també en aquells nínxols tecnològics determinats per la política industrial del país que permetin una forta interacció entre el CNM i la indústria. Entre aquests nínxols aviat van ser seleccionats els camps de circuits integrats d'aplicació específica (ASIC), dispositius de potència, sensors microelectrònics, i dispositius optoelectrònics, corresponents a àrees de silici i semiconductors compostos.

En aquest camp, la investigació (tant bàsica com precompetitiva) i el desenvolupament tecnològic són les principals activitats del CNM. Addicionalment, la formació avançada, dirigida a postgraduats o professionals tècnics d'empreses, i els serveis a la indústria són objecte d'una important dedicació. Una distribució aproximada de l'esforç que actualment es dedica a cadascuna de les esmentades activitats és:

Investigació bàsica	20%
Investigació precompetitiva	30%
Desenvolupament	20%
Serveis a la indústria	15%
Formació avançada	15%

En el moment de la seva creació, el CNM fou estructurat en tres departaments, distribuïts en dues seus, Barcelona i Madrid, i es va concentrar tota l'activitat microelectrònica relacionada amb el silici com a material base (tant en els aspectes de disseny com de tecnologia de fabricació) a la seu de Barcelona, i a la seu de Madrid va quedar la tecnologia basada en els semiconductors compostos.

L'any 1989 el CNM va adquirir l'estructura que posseeix en l'actualitat, amb la incorporació d'un grup d'investigació ja consolidat de la Universitat de Sevilla com a quart departament, amb seu en aquesta ciutat (vegeu l'esquema de la pàgina 24).

*Presentació realitzada per **Emilio Lora-Tamayo**, director científic del centre

Seu de Barcelona

La seu de Barcelona, en la qual ens centrarem d'ara endavant, està ubicada en el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona, a Bellaterra, i ocupa una superfície de 5.000 m², distribuïts en tres edificis de nova construcció. Un d'ells, de 3.400 m², allotja la direcció i l'administració del CNM, que és única per a les tres seus, i també els despatxos dels investigadors i els laboratoris no crítics:

- Laboratori de caracterització elèctrica
- Laboratori de fiabilitat (enginyeria inversa)
- Centre de disseny
- Laboratori de simulació
- Centre de càlcul.

Dos edificis independents constitueixen el complex Sala Blanca. Un d'ells, de 1.000 m², allotja la Sala Blanca pròpiament dita, és a dir, el recinte estanc (estructura *house in house*) on les condicions de temperatura, humitat, pressió i puresa de l'aire (classe 100 a 10.000, segons les àrees) estan críticament controlades, i on estan instal·lats els equips de processament d'oblies. L'estructura i l'equipament la fan apta per a tecnologies VLSI (*very large scale integration*). Les diferents àrees de la Sala Blanca alberguen els processos tèrmics, d'implantació iònica, fotolitografia (àrea instal·lada sobre un sol antivibratori), gravat sec, dipòsit de dielèctrics, metallització, processos humits, *test in line* i encapsulació, que degudament concatenats, porten a la fabricació de dispositius semiconductors i circuits integrats.

L'edifici de serveis, de 600 m², comprèn els sistemes de tractament d'aire i aigua, la xarxa de distribució de gasos ultrapurs, els equips de buit i aire comprimit, i l'estació elèctrica (25 KV, 3.000 KVA), com també els sistemes de seguretat i tractament de residus.

La tecnologia establerta a la Sala Blanca del CNM és una tecnologia digital CMOS de 3-5 micres sobre oblies de 4", que està previst que evolucioni a una tecnologia mixta digital/analògica d'1,5-2 micres.

La seu de Barcelona allotja dos dels quatre departaments del CNM. El Departament de Silici té com a objectiu bàsic la investigació, el desenvolupament i la

fabricació de dispositius semiconductors i circuits integrats sobre silici. El Departament de Disseny treballa en estreta col·laboració amb el seu homòleg de la seu de Sevilla. Tots dos tenen els mateixos objectius globals i la seva activitat d'R+D està centrada en el camp del disseny i test de circuits integrats. Tanmateix en alguns aspectes les seves competències són complementàries, i el factor diferenciador més significatiu és el caràcter digital (Barcelona) o analògic (Sevilla) dels circuits integrats als quals cadascun dedica la major part de la seva activitat.

Personal

Les característiques especials del CNM fan que la distribució del personal sigui també singular, almenys si es compara amb altres centres del CSIC, alhora que complexa. Aquesta singularitat es concreta en tres aspectes. Un fa referència a l'elevat nombre de professors d'universitat (UAB), que es dediquen a la docència i fan la seva tasca investigadora vinculada al CNM en virtut d'un conveni entre el CSIC i la UAB. Aquesta situació es repeteix al Departament de Disseny Analògic a la Universitat de Sevilla, però no és extensiu al Departament de Semiconductors Compostos de Madrid. Això representa una important aportació econòmica de les universitats Autònoma de Barcelona i de Sevilla, totes dues presents al patronat del CNM.

D'altra banda, el ràpid creixement del CNM ha obligat a cobrir amb contractes les necessitats de personal, amb importants repercussions en el pressupost del centre.

Cal també ressaltar, com a signe rellevant del caràcter del CNM, el nombre de persones catalogades com de "suport tecnològic", molt superior que en d'altres centres o instituts de grandària similar.

D'un total de 154 persones, la seu de Barcelona en reuneix 92, amb una distribució (el desembre de 1992) de:

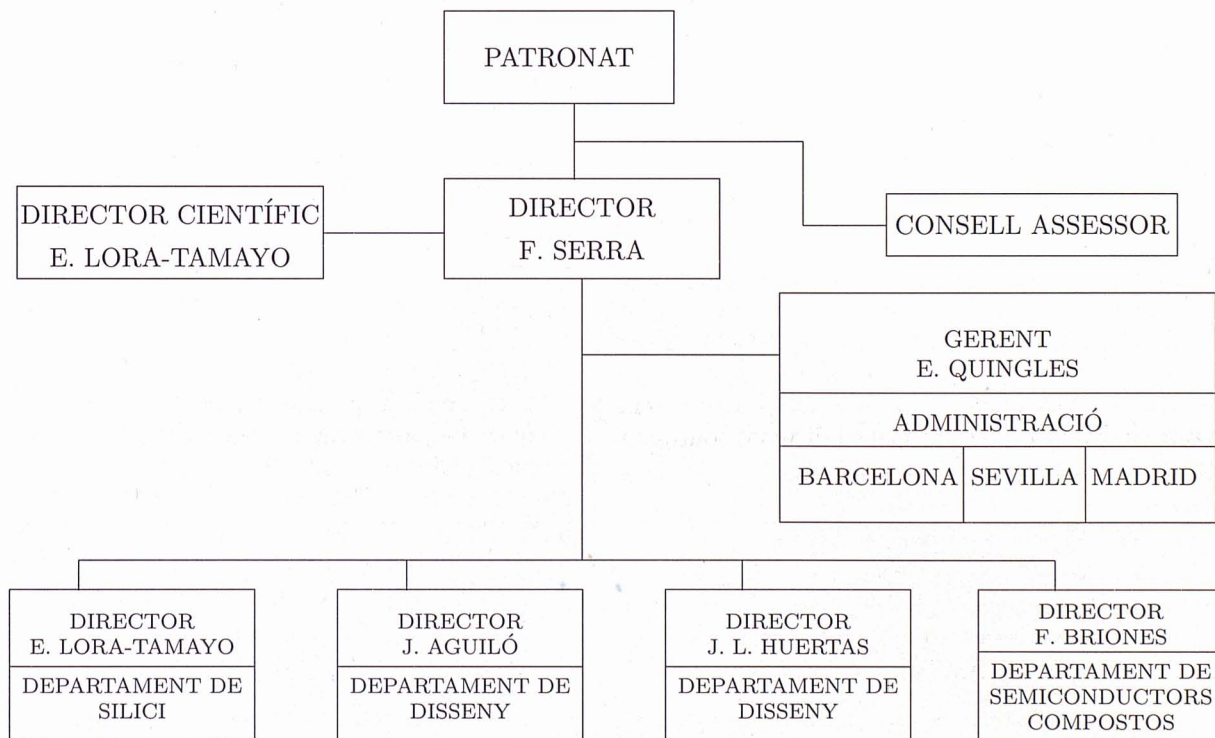
Personal investigador	25
Personal de suport tecnològic	25
Personal en formació	27
Administració i serveis	15
Total	92

Línies d'investigació

Els projectes d'investigació científica i/o de desenvolupament tecnològic que centren l'activitat de la seu de Barcelona estan emmarcats en una sèrie de línies, en alguns casos interdisciplinàries, que a més de ser prioritàries en el context nacional, estan plenament integrades en els interessos d'R+D europeus. Aquestes línies són en l'actualitat:

- Sensors microelectrònics

ESTRUCTURA DEL CNM



- Dispositius i circuits integrats de potència
- Tecnologies emergents
- Sistemes microelectrònics biomèdics
- Sistemes convencionals
- Sistemes avançats
- CAD
- Disseny de cel·les
- Test de circuits integrats.

Sensors microelectrònics

L'interès creixent de la indústria en el camp dels microsenyors ve avalat per l'increment notable del nombre de contractes i projectes que s'hi relacionen. En aquesta línia hi ha dues àrees ben diferenciades: sensors químics i sensors físics.

En el camp dels sensors químics l'activitat se centra fonamentalment entorn del desenvolupament d'ISFET (*ion sensitive FET*). A partir d'un primer desenvolupament d'ISFET capaç de mesurar el pH, s'han posat a punt els processos de deposició de membranes assistides ió-selectives. Les primeres mesures sobre dispositius ISFET amb membranes sensibles a l'ió Ag^+ són satisfactòries. Es treballa també sobre ISFET amb contactes posteriors per a la seva incorporació a sistemes analítics, i s'han fabricat ja dispositius operatius amb bones característiques.

Pel que fa als sensors físics, la tasca realitzada en el marc del projecte BRITE-EURAM en el qual es treballa des del 1990, l'objectiu del qual és el desenvolupament de tecnologies bàsiques per a la fabricació de dispositius micromecànics (gravat sec profund del Si, deposició de capes primes lliures d'esforços, tècniques de *silicon-silicon bonding* i tecnologies de micromecanització en superfície), és a la base dels resultats obtinguts en el desenvolupament de sensors de pressió i acceleròmetres.

Es treballa en concret en el desenvolupament d'un sensor piezoresistiu, per aplicar-lo a catèters cardiovasculars, i sobre acceleròmetres piezoresistius les aplicacions principals dels quals són en els camps de la robòtica i de l'automòbil. Aquesta activitat està emmarcada en dos projectes europeus i diversos contractes industrials.

Dispositius de potència

Dintre d'aquest camp es treballa en dues línies: *smart power* i HVIC. La primera es refereix a dispositius MOS de potència per a baix voltatge i alta capacitat en corrent, adequats per ser integrats en un mateix xip juntament amb una lògica de control que els fa "intelligents". S'han dissenyat, modelitzat i fabricat diversos dispositius, amb arquitectures tant verticals com horitzontals i

diversos dissenys, un d'ells propi, el de porta ondulada, que pretén una optimització de la resistència específica del dispositiu. Així mateix s'ha definit una primera tecnologia *smart power*, basada en la DMOS de porta de polisilici, amb 8 nivells de fotolitografia.

HVIC (*High Voltage Integrated Circuits*) fa referència a dispositius i circuits integrats de baixa complexitat, aptes per a aplicacions d'alt voltatge. S'ha definit i posat a punt una tecnologia de fabricació de transistors LDMOS amb tècnica RESURF (*Reduced Surface Field*), amb vista al desenvolupament de dispositius de potència per a PIC de mitjana i alta capacitat de potència MOS-bipolar, en concret IGBT i IBT de mitjà i alt voltatge.

La participació en projectes europeus (ESPRIT) i en contractes industrials avalen el treball en aquesta línia.

Tecnologies emergents

Sota aquest epígraf s'engloba tota l'activitat relacionada amb l'*update* de la tecnologia CMOS establerta a la Sala Blanca del CNM juntament amb la investigació sobre tòpics tecnològics, puntuals en uns casos i prospectius en d'altres, que o bé subjauen en les tasques que cal fer dintre de projectes concrets o bé poden donar lloc, en el seu moment, a noves línies d'investigació.

Així, dintre d'aquesta línia s'estan desenvolupant els mòduls de procés que permet dotar de prestacions analògiques l'actual tecnologia operativa CMOS existent al centre. També amb relació a la tecnologia CMOS, s'està treballant en la compatibilització de tecnologies de sensors amb circuits CMOS. L'objectiu final és desenvolupar sensors intel·ligents, que incloguin lògica de control implementada en el mateix xip. Amb aquesta fi s'han estudiat diverses alternatives de fabricació i s'han desenvolupat estructures de test especials per caracteritzar els efectes més importants que la integració conjunta comporta.

Dintre d'aquesta línia es treballa en el desenvolupament d'estructures de test microelectrònic i s'ha iniciat un estudi sobre el rendiment dels processos de fotolitografia i gravat mitjançant estructures d'anàlisi de defectes. A més hi ha una línia de treball dedicada a l'anàlisi de la qualitat i la fiabilitat de capes molt primes de SiO_2 amb l'objectiu d'avaluar la influència dels diferents processos tecnològics en les característiques d'aquestes capes, rellevants com a element actiu en circuits integrats de silici, i una línia de treball basada en caracterització de materials i estructures SOI-SIMOX a través de dispositius de test.

Recentment s'ha iniciat el desenvolupament de tecnologia per a la fabricació de components òptics integrats sobre silici.

Sistemes microelectrònics biomèdics

És una línia d'investigació en la qual CNM aplica les seves competències en una cooperació equilibrada

entre tècniques bàsiques i investigació aplicada. Ja que es té l'oportunitat de combinar els coneixements i l'experiència sobre sensors, dispositius de potència i disseny de circuits, aquesta línia pot arribar a convertir-se en un nínxol d'investigació especialitzada del CNM.

Fins al moment l'activitat en aquesta línia ha seguit dues vessants, lligades a projectes concrets. A la primera es treballa en l'estimulació bioelèctrica i coclear per al tractament de la sordesa profunda, mitjançant un circuit integrat que constitueix el sistema de tractament de veu per a implants coclears. L'activitat en la segona vessant té com a objectiu el desenvolupament d'una interfase neural per a nervi perifèric. Un cop desenvolupat el dispositiu d'interfase i la placa de silici, s'ha posat a punt el procés tecnològic de micromecanització de l'oblia, per fer perforacions de 50 micres de diàmetre que permetin la regeneració dels axons del nervi perifèric.

Sistemes convencionals

L'objectiu fonamental d'aquesta línia és donar suport a la indústria en el desenvolupament de nous productes; el disseny d'ASIC (circuits integrats d'aplicació específica) és la principal activitat. Es tracta, en general, de circuits d'aplicació industrial en sectors com els processos de dades, l'electrònica industrial o de consum, les telecomunicacions, la seguretat, les joguines, l'espai i d'altres. Més de 30 circuits han estat dissenyats per a la indústria, i la seva aplicació, en la majoria de casos en productes actualment en el mercat, avala la qualitat i la utilitat d'aquesta línia de treball.

Sistemes avançats

La naturalesa d'aquesta línia determina, de moment, la investigació bàsica com a principal activitat. Es treballa en dos camps, xarxes neurals i lògica *fuzzy*.

Pel que fa a l'activitat relacionada amb les xarxes neurals, a més a més dels treballs teòrics, que se centren fonamentalment en l'estudi de la dinàmica de xarxa sobre els resultats finals i el desenvolupament d'algoritmes d'aprenentatge amb un espai de solucions discret, s'ha desenvolupat una placa neuroemuladora connectable a PC i capaç d'emular 4.096 neurones totalment interconnectades (16 Msinapsis).

Els treballs en el camp de les aplicacions de la lògica difusa són més recents. Fins ara s'ha desenvolupat un sistema basat en lògica *fuzzy* per al control de la freqüència d'oscil·lació d'un cristall oscil·lador, independentment de la temperatura, i es treballa en el desenvolupament d'un sistema *fuzzy* per a l'avaluació i diagnòstic d'empreses.

Disseny de cel·les

L'activitat en aquesta línia té com a principal objectiu l'avanç en l'estat de l'art de creació de noves cel·les de disseny sobre silici (OpAmp, OTA, comparadors, flip-flop, etc.) amb diferents tecnologies (CMOS, BiCMOS,

AsGa, i tecnologies orientades a sensors i dispositius de potència).

Mereix especial atenció la realització d'una sèrie de tasques explícitament dirigides a la creació d'un entorn de disseny per a la tecnologia CMOS del CNM i el desenvolupament de la corresponent biblioteca de cel·les. Les eines desenvolupades fins ara s'han integrat en un entorn comercial de disseny, s'ha personalitzat el conjunt de fitxers tecnològics i s'ha establert una estratègia específica de disseny.

CAD

L'activitat en CAD del CNM té dues vessants. Una és pròpiament d'R+D, associada en general a diferents projectes en curs, i se centra en el desenvolupament de noves eines per a la simulació i el disseny, tant en el camp analògic com en el digital.

En l'altra vessant, es manté una important activitat de serveis de suport que inclouen aquelles tasques dirigides a facilitar la selecció, instal·lació, manteniment, actualització i convivència de les eines de CAD, com també del hardware que les suporta. Aquests serveis proporcionen suport tècnic, en projectes relacionats amb el centre, tant a nivell intern del CNM com a nivell extern.

Test de circuits integrats

L'activitat en aquesta línia de treball està dirigida a estudiar la testabilitat d'una biblioteca de cel·les CMOS i a establir una metodologia de disseny per a tests que permeti reduir el conjunt d'errors del circuit. Es treballa en concret sobre les regles de disseny a nivell de *layout* que permetin simplificar el model d'errors que cal considerar. Aquestes regles s'aplicaran a la biblioteca de cel·les dissenyades per la tecnologia del CNM. Una altra línia d'activitat és la del desenvolupament d'estratègies de test i metodologia de disseny per a la testabilitat en circuits analògics i mixtos.

Resultats

La vocació del CNM de servei a la indústria fa que, com queda reflectit en l'exposat, la major part de la seva activitat investigadora estigui dedicada al desenvolupament de projectes d'R+D de caràcter industrial, ja sigui en forma contractual o en el marc de programes europeus (ESPRIT, BRIT...), amb importants resultats, no només pel que fa a la quota d'autofinançament que això representa per al centre, sinó també pel que comporta d'efecte enriquidor treballar, en alguns casos, al costat de les empreses més competitives de l'àmbit europeu en els respectius sectors.

La mitjana d'ingressos per projectes d'investigació i contractes industrials ha estat de 330 milions de pesetes el 1992, dels quals 247 han estat generats a la seu de Barcelona. El gràfic adjunt mostra la distribució anual d'aquests ingressos corresponent al període 89-92

i referida exclusivament a Barcelona. La lectura immediata d'aquest gràfic mostra un rapidíssim creixement del volum total d'ingressos, frenat en l'últim any com a conseqüència d'una disminució dels ingressos per projectes d'R+D, ja que els contractes industrials han mantingut el ritme de creixement.

La participació del CNM en els projectes europeus, que va començar el 1989 d'una forma quasi testimonial, és avui significativa no només quant al nombre de projectes en què participa, sinó quant a la importància relativa de les tasques de les quals el CNM és responsable respecte als objectius globals dels projectes. És indubtable que l'operativitat de la Sala Blanca en les noves instal·lacions ha possibilitat aquesta presència en els fòrums europeus.

Els resultats de la investigació bàsica que es porta a terme en el CNM queden palesos en les publicacions en revistes especialitzades, la participació en congressos internacionals i les tesis doctorals realitzades en les instal·lacions del centre i sota la direcció dels seus investigadors. Les dades globals corresponents als últims cinc anys d'activitat són les següents:

Publicacions en revistes internacionals	136
Comunicacions en congressos internacionals	220
Tesis doctorals	32
Tesines i treballs d'investigació	38

La tasca del CNM en la introducció de la microelectrò-

nica en les petites i mitjanes empreses del país i en l'àmbit universitari també ha produït resultats considerables, encara que més difícilment quantificables.

Una de les accions més significatives del centre en aquest aspecte ha estat el Programa MPA (*Multi Project-ASIC*) enfocat a la formació en disseny microelectrònic i dirigit a petites i mitjanes empreses. Aquest programa, vigent entre 1988 i 1990 ha estat actualment integrat a GAME (*Grupo Activador de la Microelectrónica en España*) com una acció especial d'ESPRIT. Emparats en aquest programa s'han dissenyat 28 circuits integrats d'aplicació industrial i s'han format 50 tècnics pertanyents a 23 empreses. Recentment s'ha posat en marxa el projecte *Chip-Shop* (finançat per ESPRIT), que amb una filosofia semblant a la de l'MPA opera a l'àmbit europeu i en el qual el CNM projecta sota un enfocament transnacional tota la seva experiència de formació en disseny orientada a les empreses petites i mitjanes.

Sota premisses similars però dirigit a l'àmbit universitari, el Programa MPC (*Multi Project Chip*) del CNM, operatiu fins al 1992, ha possibilitat a més de 30 grups universitaris implementar en silici 235 circuits de formació i investigació. A partir de la posada en marxa d'EUROCHIP, els grups espanyols són reconduïts envers aquesta iniciativa europea, que rep un fort finançament de la CEE.

CONTRACTES INDUSTRIALS I PROJECTES D'R+D DISTRIBUCIÓ ANUAL (BARCELONA)

