

2005-2015



PLAN ESTRATÉGICO PROGRAMA NACIONAL DE ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA



**BASES PARA UNA POLÍTICA DE PROMOCIÓN
DE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

**PLAN ESTRATÉGICO
PROGRAMA NACIONAL
DE ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES
E INFORMÁTICA**

**BASES PARA UNA POLÍTICA DE PROMOCIÓN
DE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

**INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL
DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA
“FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS”**

COLCIENCIAS

**PLAN ESTRATÉGICO PROGRAMA
NACIONAL DE ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA**

**BASES PARA UNA POLÍTICA DE PROMOCIÓN
DE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

2005-2015

Bases para la formulación del Programa Nacional de
Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

Bogotá D. C., Noviembre de 2005

Coordinación editorial

Galo Edmundo Tovar
Angela Patricia Bonilla

Corrección de estilo

Lilia Carvajal Ahumada

Diseño y diagramación

Nelson Prieto Díaz

Impresión

Ochoa Impresores
Calle 78 No. 22-41

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología
“Francisco José de Caldas” Colciencias

Trv. 9 A Bis No. 132-28

Teléfono 57 1 625 8480

Fax 57 1 625 1788

www.colciencias.gov.co

contacto@colciencias.gov.co

Bogotá, D. C., Colombia

ISBN 958-8130-91-3

Impreso y hecho en Colombia

Printed in Colombia

“Esta publicación ha sido realizada por Colciencias, entidad del Estado cuyo
objetivo es impulsar el desarrollo científico y tecnológico de Colombia”.

© Derechos reservados. Colciencias. Primera edición 2005.

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología
“Francisco José de Caldas” Colciencias

Consejo del Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

Ministerio de Comunicaciones
Martha Pinto de Hart

COLCIENCIAS
María del Rosario Guerra de Mesa

Servicio Nacional de Aprendizaje
Alberto Villa
Adriana Buitrago

Sector Investigativo
Juan Francisco Díaz
Alvaro Rendón
Flavio Prieto

Sector Productivo
Fernando Enrique García González
Jorge Aramburo
Daniel Rosas

Directora General Colciencias
María del Rosario Guerra de Mesa

Subdirector de Innovación y Desarrollo Empresarial
Álvaro Turriago Hoyos

Dirección técnica
Elsa Cecilia Neira de Uribe
Jefe Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

Apoyo técnico
Diego Zuluaga
Profesional Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

Adriana Gómez
Profesional Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

Consultores
Rodrigo Cardoso R.
Nelson Correa
Juan Francisco Díaz F.
Antonio García R.
Camilo Rueda C.
Cintel

PRESENTACIÓN

La actualización de los planes estratégicos de programas y áreas de ciencia, tecnología e innovación, obedecen gratamente a ejercicios de reflexión permanente y de reorientación para la acción, que tienen como propósito consolidar las actividades de investigación y desarrollo e innovación tecnológica, en el nuevo escenario de la innovación, la globalización y la competitividad.

Empresarios, investigadores, expertos de instituciones públicas y privadas de promoción, política, financiación y consultores, participaron en veintitrés talleres realizados en el país, a los que asistieron más de setecientas personas, que participaron entusiastamente en el análisis de los documentos elaborados por los consultores contratados para cada uno de los cuatro planes estratégicos.

El alcance de la actualización del Plan Estratégico de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática, es el de analizar las nuevas tendencias, desde el punto de vista tecnológico y de mercados, su convergencia e impacto y sobre esta base, reflexionar respecto a las oportunidades que tiene el país para ponerse a tono con la globalización y los retos para lograr una adecuada competitividad.

El Plan Estratégico del Programa de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad, propone la orientación estratégica y actualización del Plan, sus estrategias, líneas de acción e instrumentos, tendencias tecnológicas de la industria a nivel internacional, y consigna su situación actual y las perspectivas futuras de las políticas principales que lo orientan y que ejecuta.

El Plan Estratégico del Programa Nacional de Ciencias y Tecnología Agropecuaria, introduce elementos para contextualizar la situación mundial de la agricultura, identifica las tendencias del sector y el comportamiento de la estructura agraria, hace una aproximación a la situación de las cadenas productivas, identifica las perspectivas del mercado y, en función de ellas, delimita las brechas tecnológicas para cada cadena y establece prioridades en desarrollo científico y tecnológico.

El Plan Estratégico del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, propone cinco grandes finalidades hacia las cuales debe tender el aporte de la actividad de ciencia y tecnología: el desarrollo y la productividad económica; la conformación de mercados y la regulación; el desarrollo humano y social; la sostenibilidad ambiental, y la integración regional.

El presente documento es el comienzo de un diálogo, que nos plantea la necesidad de que en Colombia compartamos una visión de futuro del desarrollo a partir de la investigación y de la innovación por parte del gobierno nacional, los ministerios e instituciones públicas y privadas, los organismos de financiación, los gremios de la producción, las empresas, los trabajadores y la sociedad en general.

MARÍA DEL ROSARIO GUERRA DE MESA
Directora General de Colciencias

CONTENIDOS

Introducción	11
---------------------------	-----------

Capítulo I

<i>Contexto Internacional.....</i>	13
A. Electrónica.....	15
B. Informática y software.....	21
C. Comunicaciones.....	28
D. Líneas estratégicas de investigación en centros internacionales.....	30
E. Líneas estratégicas de investigación en organismos de regulación y estandarización	31

Capítulo II

<i>Contexto Nacional</i>	35
A. El sector académico colombiano	37
B. El sector industrial	46

Capítulo III

<i>Resultados del programa eti 2004.....</i>	59
A. Indicadores de capacidad y fortalecimiento	61

Capítulo IV

<i>Líneas orientadoras en electrónica, informática y telecomunicaciones</i>	67
A. Electrónica.....	69
B. Informática	71
C. Telecomunicaciones y telemática	75
D. Convergencia y transversalidad	77

Capítulo V

<i>Actualización plan estratégico 2004-2010</i>	89
A. Antecedentes	89
B. Plan de acción 2004-2010.....	90
C. Líneas de acción	93

Bibliografía

<i>Documentos Principales</i>	97
-------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

La acelerada evolución de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática, su convergencia, el cambio del entorno nacional y mundial y el gran impacto que su aplicación ha tenido en Colombia y el mundo, hace necesario adelantar constantemente nuevos estudios sobre sus tendencias, desde el punto de vista tecnológico y de mercados, y sobre esta base, reflexionar respecto a las oportunidades que tiene el país de ponerse a tono con la globalización y los retos que debe enfrentar para lograr una adecuada competitividad.

Las tecnologías que forman parte del ámbito del programa definen una nueva visión de desarrollo, donde el conocimiento se constituye en el eje de la concepción de economía globalizada. Junto con los avances tecnológicos aparecen nuevos esquemas de mercados y negocios. En consecuencia, la actualización del Plan Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática, permite una mirada a la situación actual de dichas tecnologías y sus tendencias a escala mundial, algo imprescindible para orientar las líneas de acción y las estrategias en los próximos años. En este sentido se analizan las actividades que sobre la materia despliegan Estados Unidos, la Unión Europea, Japón y otros países asiáticos, en sus universidades, industria, organismos reguladores, y desde luego, las políticas establecidas por las agencias de promoción para encauzar la investigación y el desarrollo tecnológico.

Para complementar el marco de referencia, en el ambiente local se ha prestado atención a la formación del recurso humano en los niveles de pregrado y posgrado; la cantidad y calidad de los grupos de investigación; el estado de los sectores de la electrónica,

telecomunicaciones e informática; y las realizaciones del programa ETI desde su creación el 1 de octubre de 1991, cuyas actividades son orientadas por políticas que su Consejo define y ajusta a través del tiempo, teniendo en cuenta la evolución tecnológica y los cambios de entorno tanto nacional como mundial. En la actualidad el Programa sigue los lineamientos consignados en el Plan Estratégico ETI definido y divulgado el 28 de mayo de 1997.

Uno de los resultados de la actualización, es que deja ver el contraste existente entre una oferta importante en los programas de pregrado en las tres disciplinas (más de 400 en el país), frente al escaso número de maestrías y doctorados (30 y 8 respectivamente), a todas luces insuficientes para formar una masa crítica esencial a la hora de ampliar sustancialmente las labores de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

En la esfera académica surgen entre otros retos el incremento de los programas de posgrado de calidad; la apropiación de nuevas tecnologías como la nanotecnología, la bioinformática, los sistemas microelectromecánicos y las redes de comunicaciones de nueva generación, que irrumpen con rapidez inusitada en el mundo transformado la ciencia y la tecnología desde sus bases. Así mismo, es indispensable el fortalecimiento de las relaciones entre la universidad y el sector productivo, entre otras cosas, por la necesidad del país de tener esquemas claros para la generación de empresas de base tecnológica, capaces capitalizar un recurso humano que se pronostica en 40.000 egresados en las disciplinas ETI durante los próximos cinco años.

De hecho, el sector electrónico atraviesa por una dura crisis desde hace varios años, causada, entre otras razones, por la apertura económica indiscriminada a comienzos de la década de los 90, la crisis mundial del sector de las telecomunicaciones y la disminución del PIB nacional en el periodo 1995-1999. No obstante, desde el año 2000 se nota una reactivación sostenida, debida especialmente a la aparición de empresas de jóvenes emprendedores cuyos productos, desarrollados con tecnología de punta, han encontrado nuevos nichos de mercado en el país y en algunos casos en el exterior.

La industria informática es uno de los sectores más dinamizadores de la economía colombiana. La demanda creciente de bienes y servicios hala al sector pero también exige su fortalecimiento tecnológico y gerencial. La proyección de la industria al mercado internacional y su consolidación nacional son determinantes en los próximos años. Para ello es vital, entre otras iniciativas, encontrar nuevas áreas de desarrollo, incorporar la innovación en la actividad empresarial, capacitar al recurso humano, mejorar el manejo del inglés y obtener certificaciones de calidad.

Después de la crisis de las telecomunicaciones en el periodo 1998-2000, el sector creció a tasas superiores al las del PIB nacional, empero, ahora presenta una tendencia decreciente. La penetración de la telefonía móvil celular y el desarrollo progresivo de las tecnologías de la información y las comunicaciones en aplicaciones transversales a diferentes sectores de la economía, son factores definitivos para su recuperación. No obstante, de acuerdo con índices de medición internacional como el de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, que ubica a Colombia como un país de acceso digital bajo, y el *Networked Readiness Index (NRI)* del Foro Económico Mundial que en el 2004 lo puso en el puesto 60 entre 102 países, se

deberá avanzar en el uso de estas tecnologías, en la disminución de la brecha digital y en el mejoramiento de su infraestructura de telecomunicaciones para participar y beneficiarse de los avances en esta materia en los próximos años.

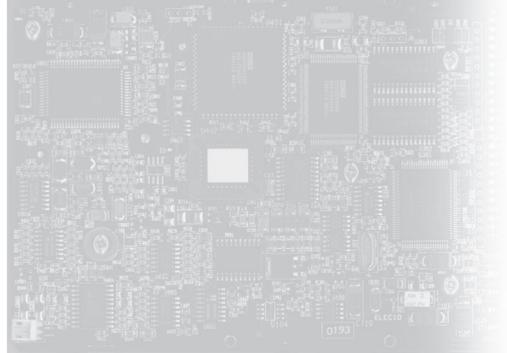
Para la actualización del plan estratégico se realizaron estudios que profundizaron el marco de referencia descrito anteriormente y formularon líneas orientadoras para los próximos cinco años. Los documentos que recogen dichos estudios se reseñan en la bibliografía.

Finalmente, es importante destacar que en la actualización del plan, las propuestas incluidas fueron ampliamente debatidas con representantes de los diferentes sectores en los siguientes eventos realizados en 2004:

Foro sobre telecomunicaciones realizado en Bogotá, con la participación del Ministerio de Comunicaciones, Colciencias, el Centro de Investigación de Telecomunicaciones (Cintel), universidades, grupos de investigación, operadores de telefonía móvil y fija, proveedores de tecnología, empresas de valor agregado y usuarios corporativos.

Foro del sector electrónico, realizado en Bogotá, con la participación de Colciencias, el Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria Electro-Eléctrica e Informática (Cidei), la Asociación de Empresas del Sector Electrónico (Asesel), el Consejo Profesional de Ingeniería, universidades, grupos de investigación y empresas manufactureras y de servicios.

Foro de la informática, realizado en Cali, con la participación de Colciencias, Cintel, universidades, grupos de investigación y empresarios.



CAPÍTULO I

CONTEXTO INTERNACIONAL

CONTEXTO INTERNACIONAL

A. ELECTRÓNICA¹

I. Una visión global desde los países industrializados

Como parte de su actividad de observatorio tecnológico, el estadounidense *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, realiza una encuesta entre sus miembros más destacados (aquellos que han obtenido la categoría de *fellows*) con el fin de conocer sus percepciones sobre el futuro de la tecnología (IEEE, 2003). Los resultados son muy relevantes para el presente estudio, especialmente porque ayudan a determinar las prioridades tecnológicas de los países industrializados.

En el informe correspondiente al 2003, para los ingenieros consultados los aspectos sociales (desde una óptica que si bien es genérica, responde a las necesidades de los países desarrollados) que requieren mayor esfuerzo desde el punto de vista tecnológico, y que por lo tanto marcarán una tendencia respecto a los desarrollos en electrónica y computación, son en su orden:

- El desarrollo energético
- La lucha contra el terrorismo
- La protección ambiental
- El manejo de desechos
- El transporte
- La alfabetización tecnológica
- La distribución digital
- La protección a la propiedad intelectual

Los tres primeros ameritan un comentario especial dada su pertinencia para nuestro caso, puesto que los retos que plantean y las oportunidades que brindan para el desarrollo de tecnologías nos son comunes, empero, las estructuras sociales pueden exigir soluciones diferentes.

El aspecto energético ha sido una preocupación realmente antigua y día tras día demanda respuestas de más corto plazo, en primer lugar porque la energía, su acopio y provisión, toca todos los aspectos de los seres humanos y de las sociedades; desde las más simples actividades domésticas hasta el progreso de las naciones. En segundo lugar, la dependencia del petróleo no solo causa grandes crisis políticas, sino que el daño al ecosistema es cada vez más grave. Son necesarios, entonces, avances tecnológicos para optimizar los recursos energéticos actuales, e investigaciones conducentes al uso eficiente de nuevas fuentes de energía.

Por otra parte, el terrorismo es una problemática que afecta a varios países y a raíz de los acontecimientos del 11 de septiembre del 2000, la lucha contra este flagelo se tornó indispensable. En ese sentido la tecnología es fundamental para obtener logros y proveer a los ciudadanos de mayor seguridad.

El tema de la protección del medio ambiente es otro de los factores sociales que demanda atención desde hace mucho tiempo. Las necesidades inmediatas de las sociedades más avanzadas han puesto en serio riesgo la estabilidad del planeta y, por lo tanto, la protección del medio ambiente exige los mayores esfuerzos tecnológicos.

¹ García, 2004.

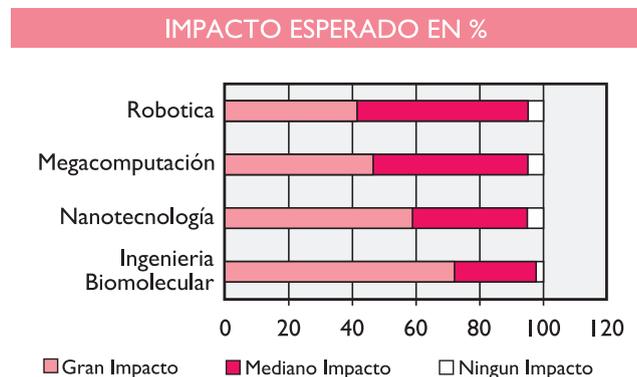
La encuesta también permitió establecer como desarrollos tecnológicos relevantes para los próximos cinco años los siguientes:

- Acceso de bajo costo a comunicaciones de banda ancha.
- Diodos emisores de luz (*LED*) blancos, como una forma de reducir el consumo de energía para iluminación.
- Aplicaciones prácticas de comunicaciones cuánticas.
- Nuevos dieléctricos para las compuertas de circuitos *CMOS* (*complementary metal oxide semiconductor*).
- Fuentes alternativas de energías limpias.
- Sistemas de inteligencia artificial de bajo costo
- Desarrollos tecnológicos para la investigación sobre el genoma
- Sistemas operacionales y *software* de libre acceso (*open-source*)
- Integración de biología e ingeniería

En cada una de estas áreas es posible encontrar multitud de alternativas en el campo de la electrónica, las cuales pueden marcar diferentes derroteros para esta industria.

Con el objetivo de concretar un poco más esta visión, en el estudio de la *IEEE* de 2004 (Kumagai, 2003), la encuesta indagó cuáles serían las tecnologías de más impacto social en los próximos años. El resultado, en orden de importancia fue: la ingeniería biomolecular, la nanotecnología, la megacomputación y la robótica (Gráfico 1).

GRAFICO 1



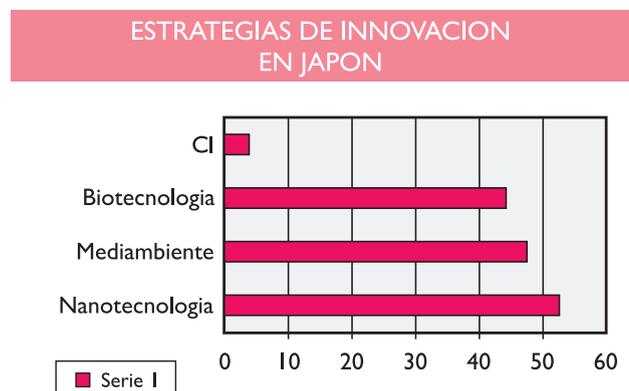
Fuente: *IEEE*, 2004.

Es de resaltar que tres de las tecnologías reseñadas forman parte de la tendencia conocida como MNBIC

(micro y nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información, ciencias cognitivas), la cual se presenta como una de las corrientes del siglo XXI que incidirá directamente en cada una de las necesidades sociales planteadas anteriormente.

Otra encuesta sobre esta tendencia en la siguiente década, recopilada por el *Nikkei Business Daily* (*Solid State Technology*, 2003), fue realizada a 100 ejecutivos responsables de la tecnología en grandes empresas japonesas; las respuestas dieron el 53% a la nanotecnología, 48% a tecnologías medioambientales, 45% a biotecnología y 4% a circuitos integrados o cristales líquidos. (Gráfico 2).

GRAFICO 2



Fuente: *Nikkei Business Daily*

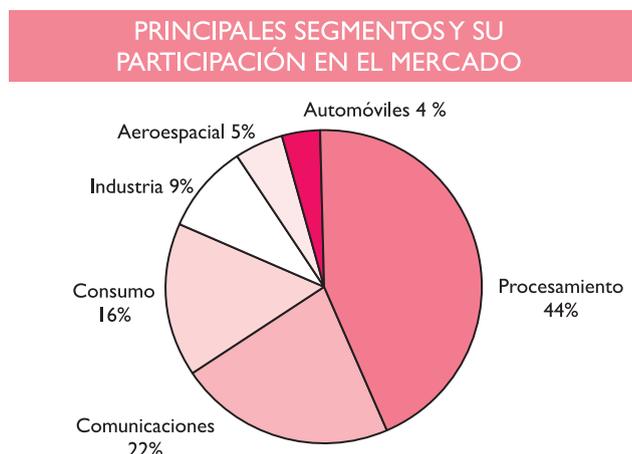
2. Una visión de la industria internacional

Para resumir el enfoque de la gran industria se toman dos puntos de referencia: los segmentos del mercado que se ven desde el interior de la misma, y las tendencias de los principales productores de circuitos integrados.

a. Segmentos del mercado

De acuerdo con el estudio realizado por el Ministerio de Comercio de Corea (Yoo, 2001) para analizar la situación de ese país respecto a las corrientes de los mercados electrónicos, los principales segmentos del mercado son: telecomunicaciones, procesamiento de datos, electrónica de consumo, electrónica para la industria, industria aeroespacial e industria automotriz (Gráfico 3).

GRAFICO 3



Fuente: Ministerio de Comercio de Corea, 2001

De estos segmentos es importante destacar que dos de ellos, comunicaciones y procesamiento de datos, abarcan más del 60% del total de la industria, y que están en manos de muy pocas empresas que a escala global ostentan gran poder económico, lo cual hace muy difícil la penetración directa o indirecta de los mismos. Por razones similares, se puede sumar a este grupo la electrónica de consumo, posiblemente con menos restricciones.

En el 26% restante, si bien existen también grandes corporaciones, la posibilidad de llegar a mercados menos masivos y de aplicación basada en conocimientos particulares, permite mayores posibilidades de actuar.

b. La industria de los semiconductores

Uno de los indicadores más claros sobre las tendencias en electrónica son las proyecciones realizadas por la SIA (*Semiconductor Industry Association*)², consignadas anualmente en los documentos titulados ITRS (*International Technology Road Map for Semiconductor*), que permiten analizar los principales nichos de mercado, sus requerimientos y las de los sectores económicos dominantes. Estas proyecciones dan una indicación de cómo se compone el mercado desde el punto de vista de su actual potencial (Cuadro I).

Cuadro I

PRINCIPALES FUERZAS DEL MERCADO
Equipos portátiles e inalámbricos
Sistemas de banca ancha
Conmutación para internet
Almacenamiento masivo
Electrónica de consumo
Computadores
Electrónica para automóviles

En cada uno de estos mercados las tendencias de innovación y desarrollo están concentradas alrededor de tres tipos de productos semiconductores, muy orientados por la aplicación: *SoC* o *Systems-on Chip* (sistemas en chips), circuitos mixtos analógicos/digitales y microprocesadores.

En los *SoC* se encuentran retos tanto en la fabricación, como en el diseño, e involucran tecnologías electrónicas de diferente tipo como circuitos digitales, analógicos, sensores y actuadores. Constituyen un mercado de alta complejidad que demanda grandes volúmenes de producción, semejante al de los *Asics* (circuitos integrados para aplicaciones específicas), y que dado el estado actual de las metodologías de diseño, procura su optimización en la reutilización de módulos de silicio *IP* (propiedades intelectuales de silicio).

El campo de los circuitos integrados mixtos ha florecido en la última década, impulsado de manera importante por la gran cantidad de aplicaciones inalámbricas de corto y mediano alcance que han aparecido en el mercado. Sistemas RF (radio frecuencia) de bajo consumo, convertidores A/D (analógicos/digitales) y D/A (digitales/analógicos) de alto desempeño, procesadores digitales de señales, son ejemplo de los módulos que se deben incorporar en un mismo circuito integrado; esto plantea retos importantes en diseño de circuitos, metodologías de diseño y procesos de fabricación.

El campo de los microprocesadores está orientado a aplicaciones sobre medidas en las que el desempeño y los costos de producción son elementos determinantes del desarrollo, por lo tanto, está en manos de las grandes industrias la participación en el mercado.

² Organización patrocinada por productoras de semiconductores, en la cual participan empresas norteamericanas, europeas y asiáticas.

c. **Tecnologías convergentes**

En Estados Unidos, la Unión Europea y Japón se ha dado especial énfasis a las tecnologías convergentes *MNBIC*. El punto de partida de esta tendencia se encuentra en el hecho de que, analizados como sistemas, los bloques básicos de las ciencias involucradas se originan a escalas nanométricas (átomos, células, moléculas), y estos se han estudiado tradicionalmente desde ángulos no convergentes, sin embargo, los avances logrados en cada una de ellas los ha puesto a un nivel en el que este conjunto de conocimientos genera una combinación sinérgica entre nanotecnología, biotecnología, e informática, la cual demanda nuevos enfoques en los diferentes campos del saber.

Dada la importancia del tema, en el 2002 la *National Science Foundation (NSF)* convocó al foro *Converging Technologies for Improving Human Performance* para la discusión de esta nueva corriente tecnológica. El grupo de invitados manifestó en el resumen ejecutivo que:

Las recomendaciones de este informe son fundamentales y de gran alcance, e impulsan la transformación de la ciencia, la ingeniería y la tecnología desde sus cimientos. El nuevo desarrollo será revolucionario y debe ser gobernado por el respeto hacia el bienestar y la dignidad humana. Se recomienda establecer un área de investigación y desarrollo de prioridad nacional, en tecnologías convergentes enfocadas a elevar la realización humana. La oportunidad es amplia, de largo plazo y de interés general. (Traducción libre del autor)

Esta línea de investigación plantea un trabajo multidisciplinario en ciencia y tecnología, de gran alcance, que puede llegar a impactar en el futuro cercano desde los currículos universitarios, hasta la industria mundial de productos de consumo masivo, pasando por la agricultura y la salud pública.

1) La visión de la academia en Estados Unidos

Otro de los componentes importantes es el sector académico, pues en buena medida sus investigaciones son resultado de las demandas del sector productivo. Para tener una visión global de esta actividad, a continuación se presenta el análisis de las líneas actuales de investigación en tres universidades estadounidenses

(este, oeste y centro del país), y las predicciones de una de las publicaciones que sondea permanentemente las tecnologías de punta, y las políticas en uno de los campos que aparece como el más prometedor para la tecnología del futuro.

Como una primera aproximación para determinar las tendencias de la academia en investigación, se realizó una revisión de las áreas prioritarias en algunas de las más destacadas universidades estadounidenses en el campo de la ingeniería electrónica como el Instituto Tecnológico de Massachussets (*MIT*), y las universidades de Berkeley e Illinois, catalogadas dentro de las 25 más importantes desde el punto de vista investigativo³ y ubicadas en los lugares 2, 9 y 23 respectivamente de esta clasificación.

En cada una de estas universidades, las líneas de investigación están asociadas a laboratorios específicos o centros de investigación, apoyados, no solo internamente, sino de manera primordial en fuentes externas tanto gubernamentales como industriales, por lo que nos pueden servir de indicadores de tendencias de largo plazo (Cuadro 2).

El cuadro permite ver que hay líneas de investigación en campos específicos de aplicación, y áreas dedicadas a aspectos básicos como electromagnetismo, dispositivos de estado sólido, o nanotecnología.

El común denominador de las tres instituciones es el enfoque hacia dos de los programas básicos para la ingeniería electrónica de la *National Science Foundation* (2004) el de electrónica, fotónica y dispositivos tecnológicos (*EPDT*) y el de sistemas integrados (*IS*).

De manera resumida, el programa *EPDT* plantea el estudio de dispositivos y componentes electrónicos, ópticos, electro-ópticos y electromecánicos, orientados a su aplicación en microsistemas, procesadores, sensores y actuadores, incluyendo el trabajo en electrónica y óptica a escalas nanométricas. El programa de *IS* está orientado a las aplicaciones de microsistemas en campos como la bioingeniería, la medicina y la seguridad, con esquemas que van desde microsistemas completamente autónomos hasta redes inalámbricas de microsistemas.

Adicionalmente, varias de las líneas presentan trabajos que caen dentro del programa *National Nanotechnology Initiative (NNI)*, más amplio y multidisciplina-

³ The Top American Research Universities. 2003. The Center

Cuadro 2

CAMPOS DE INVESTIGACIÓN EN UNIVERSIDADES ESTADOUNIDENSES		
U. de Berkeley ^{1/}	MIT ^{2/}	U. de Illinois ^{3/}
Comunicaciones	Inteligencia artificial y aplicaciones	Bioingeniería y acústica
Diseño VLSI por computador	Ingeniería bioeléctrica	Redes inalámbricas y de comunicación
Control, robótica y microsistemas	Comunicaciones control y procesamiento de señales	Computación y robótica
Circuitos integrados	Arquitectura y sistemas de computación	Decisión y control
Redes	Dispositivos, circuitos y sistemas	Campos electromagnéticos, óptica, redes inalámbricas y simulación
Optoelectrónica y electromagnetismo	Electrodinámica y sistemas de energía	Circuitos integrados, diseño VLSI y CAD
Potencia y sistemas electrónicos	Ciencias de la computación teórica	Láseres, optoelectrónica y plasma
Procesamiento de señales		Sistemas microelectromecánicos
Dispositivos de estado sólido		Nanotecnología y dispositivos cuánticos
		Sistemas de potencia y energía
		Sensores remotos y propagación
		Dispositivos semiconductores
		Física de semiconductores y electrónica computacional
		Procesamiento de imágenes y señales

Fuentes:

^{1/} Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, 2004
www.eecs.berkeley.edu/Research/Areas/EE/;

^{2/} MIT/Degree Programs/Electrical Engineering; 2004. <http://web.mit.edu/catalogue/degre.engin.elect.shtml>

^{3/} Electrical and Computer Engineer, University of Illinois at Urbana Champaign, 2004, www.ece.uiuc.edu/research

rio, el cual en buena parte recoge resultados de los programas mencionados y presenta retos que superan el entendimiento de los micro y nanosistemas desde la óptica de la ingeniería, proyectándolos hacia otros campos del saber como la biología o la química.

Para detallar un poco más las actividades particulares en estas áreas, a continuación presentamos algunos ejemplos de tecnologías que según la publicación *MIT Technology Review* (2001) cambiarán el mundo.

- Los microsistemas se destacan como una actividad de gran utilidad en múltiples campos y en especial en la agricultura, el medio ambiente o la seguridad, donde se requiere de sistemas de control de bajo costo y tamaño reducido, que permitan la captura de información y su transmisión a puntos centrales de recolección. Los retos implícitos en estos sistemas van desde la electrónica hasta su empaque pasando por las redes de comunicaciones inalámbricas y los SoC.
- Si a estos microsistemas adicionamos un elemento, como las partes mecánicas con sus respectivos

actuadores, para llevarlos a ejecutar labores dinámicas desde el punto de vista de movimiento de pequeñas masas, encontramos otra de las áreas de mayor interés en el mundo académico que involucra la robótica y la llamada mecatrónica. El resto no solo es integrar un nuevo *hardware* sino también *software* que garantice la operación óptima de los microsistemas MS, los cuales remplazarán sistemas mecánicos.

- Nuevas tecnologías y materiales electrónicos para implementar las funciones que hoy hacemos sobre silicio a costos que permitan que los productos puedan llegar a ser incluso desechables. Una de las alternativas consideradas de mayor futuro, está en la utilización de materiales orgánicos para la fabricación de los elementos de conmutación en sistemas digitales. Los llamados transistores flexibles, están basados en el uso de polímeros para la fabricación de los dispositivos semiconductores, sin embargo, aún tienen que enfrentar retos muy importantes como el de la velocidad de conmutación la cual esta todavía lejos de ser comparable con la de los transistores de silicio.

- El ancho de banda no solo en redes sino también en interconexiones entre microcomponentes plantea desde hace años la necesidad de lograr verdaderas interfaz luz-electrón que permita superar las velocidades actuales de forma eficiente. Esto pone a la microfotónica en la línea de las tecnologías que transformaran el mundo.
- Tecnologías biométricas de identificación, las cuales recurren al uso de los patrones naturales: huellas, iris, voz, etc., como clave de identificación. Si bien en el mercado ya se encuentran en uso multitud de dispositivos estos todavía están en un nivel básico y se espera que puedan masificarse.

2) Investigación y desarrollo tecnológico en la Unión Europea

En la cumbre de Lisboa llevada a cabo en marzo de 2002, los gobiernos de la Unión Europea propugnaron por un mejor uso de los esfuerzos en investigación a través de la creación de un mercado europeo para la ciencia y la tecnología (*European Research Area –ERA–*). Con la formulación de programas marco (*framework programmes*) para diferentes periodos de tiempo, se han concretado los instrumentos para hacer realidad dicha área.

Cada programa marco cubre aquellas áreas donde, en el mediano término, la Unión Europea desea ser la más competitiva y dinámica economía basada en el conocimiento, capaz de un crecimiento económico sostenible cohesión social y más y mejores empleos.

En el Sexto Programa Marco 2005-2006 para la Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Unión Europea se plantearon las siguientes áreas temáticas prioritarias (Comisión Europea, 2002):

- Ciencias de la vida, genómica y biotecnología para la salud.
- Tecnologías para la sociedad de la información.
- Nanotecnologías y nanociencias, materiales multifuncionales basados en conocimiento, nuevos procesos productivos y dispositivos.
- Aeronáutica y espacio.
- Calidad de alimentos y seguridad.
- Desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas.
- Ciudadanos y gobierno en una sociedad basada en el conocimiento.

Cada una de ellas ofrece diferentes líneas de investigación. Resaltamos aquellas que tienen relación directa con la electrónica, las telecomunicaciones y la informática:

- **Ciencias de la vida, genómica y biotecnología para la salud**

Bioinformática.

- **Tecnologías para la sociedad de la información**

Investigación aplicada orientada a retos sociales y económicos.

Seguridad.

Inteligencia ambiental.

Negocios, gobierno, trabajo y aprendizaje electrónicos.

Solución de problemas complejos.

Tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC).

Redes de nueva generación y nuevos sistemas de comunicaciones.

Tecnologías del software.

Componentes y microsistemas.

Micro y nanoelementos y optoelectrónica.

Micro y nanotecnologías, microsistemas.

Tecnologías del conocimiento e interfaces.

Tecnologías del conocimiento y contenidos.

Interfaces inteligentes.

Tecnologías emergentes.

- **Nanotecnologías y nanociencias, materiales multifuncionales basados en conocimiento, nuevos procesos productivos y dispositivos**

Investigación interdisciplinaria de largo plazo para comprensión de los fenómenos, dominio de procesos y desarrollo de herramientas para la investigación.

Nanotecnologías.

Técnicas de ingeniería a escala nanométrica.

Manejo y control de dispositivos.

Aplicaciones.

- **Aeronáutica y espacio**

Desarrollo de nuevos sensores, modelos de información y datos.

Comunicaciones satelitales.

Al comparar las áreas y temas de investigación se encuentran muchas coincidencias con los Estados Unidos. Tópicos como micro y nanotecnología, nuevos dispositivos y el impulso a las TIC revisten igual importancia en ambos continentes. Se destacan dos aspectos: la importancia dada al desarrollo tecnológico; y el que todos los proyectos financiados por el Sexto Programa Marco, deban ser realizados por grupos pertenecientes a más de un país; este mecanismo procura una mayor apropiación de la tecnología y favorece la movilidad de los investigadores en la Unión Europea.

B. INFORMÁTICA Y SOFTWARE

I. Mercados⁴

Para comprender mejor la situación y tendencia de los mercados actuales, además del campo de acción propio de la informática, esta debe considerarse como disciplina convergente con las comunicaciones para conformar las tecnologías de la información y las comunicaciones.

La industria de las TIC representa US\$1,3 billones anuales, que en Estados Unidos equivale al 2% del PIB y emplea a cuatro millones de personas (aproximadamente el 3% de la población laboral).

Después del periodo de contracción 2001-2003, el crecimiento esperado para el sector de informática y comunicaciones es de nuevo positivo y los principales agentes son empresas globales con recursos humanos, capital, y estrategias claras de competencia, innovación y desarrollo de mercados. La tasa global de crecimiento prevista para los próximos años es alrededor del 6% anual, dos veces superior al de la economía estadounidense en general. Desde luego, estas no son las tasas anuales de crecimiento de dos dígitos que se veían en los planes de inversión del sector de hace tres o cuatro años (e.g., 13% en 2001 en Europa; *EITO*, 2001), y que llevaron al estallido de la burbuja punto com y de telecomunicaciones.

Estadísticas muestran que en la nueva economía estadounidense, el 50% de la inversión que realizan las empresas en bienes de capital es en servicios y productos de informática y comunicaciones. Esta in-

dustria se cataloga como una de las más grandes en el mundo, después de la automotriz, e incluye computación, *software*, telecomunicaciones, semiconductores, electrónica de consumo o del hogar, y otros como automatización industrial, biomédica etc.

La importancia de la informática y las comunicaciones en empresas de base tecnológica es obvia, pero cada vez más esta nueva industria genera mayor impacto en sectores tradicionales no informáticos: manufactura, comercio, bancos, finanzas, servicios, etc. Por ejemplo *Wal Mart*, la cadena distribuidora de productos al consumidor, es reconocida como innovadora en su uso de tecnología informática para el manejo de su cadena de suministro y operaciones (*MIT Technology Review*, 2002). Igual impacto y necesidad de cambio hay y se demanda en la banca, la educación y la salud (*ComputerWorld*, 2004).

La inversión en tecnología informática en las empresas ha migrado hacia tecnologías de internet y web. Según un estudio de IDC (*Internacional Data Consulting Group*), en el cuatrienio 2001-2004 en Estados Unidos se preveía una inversión en tecnología para iniciativas de web cuatro veces superiores a la observada en el periodo 1997-2000. Esta cifra, US\$2.200 millones, contrasta con los US\$560 millones invertidos entre 1997 y el año 2000 (IDC, 2001).

Existen tres principales tendencias en el mercado (*Gartner Group*, 2001; *IDC*, 2001; *IEEE*, 2001):

- La evolución hacia los dispositivos y la computación móvil (revolución móvil).
- La evolución hacia la creación y comercialización de servicios de software usando la tecnología internet (servicios web).
- La difusión del comercio y los negocios electrónicos.

En el campo empresarial existe una adopción acelerada de modelos de negocios electrónicos para la digitalización completa de la “cadena de valor” y de procesos productivos y empresariales y para la optimización de estos. Varios métodos y herramientas analíticas de informática y comunicaciones se han establecido para analizar y modelar organizaciones y negocios tradicionales con el fin de mejorar su competitividad y productividad. Las herramientas usadas incluyen metodologías tal como el UML (lenguaje unificado de modelaje) (*Rational*, 2004) para la captura de

⁴ Correa, 2004.

requerimientos, análisis, diseño, desarrollo, y prueba de aplicaciones y procesos de negocios, el modelaje estocástico, la optimización, y más recientemente técnicas de aprendizaje por máquina, minería de datos, etc.

2. Modelos de negocios⁵

La oferta de productos y servicios de informática y comunicaciones incluye nuevos modelos de negocios como, por ejemplo, los servicios sobre demanda –pagados a medida que se usan–, las subastas para determinar su precio y la personalización de productos.

Igualmente, en el caso de varios productos y servicios, su costo se subvenciona sobre la base de los ingresos esperados por los insumos o servicios que los acompañan. El ejemplo típico es el caso de los teléfonos celulares, donde los modelos básicos ofrecidos son en muchos casos “gratis” si el cliente se suscribe al servicio por un periodo mínimo. Igual es el caso de promociones de impresoras entregadas “gratis” en las cuales el fabricante obtiene ganancias por cartuchos de tinta y papel.

Así mismo, un número creciente de servicios de informática y comunicaciones como acceso a internet, búsqueda y contenidos (noticias, inteligencia de negocios, etc.) son pagados por publicidad electrónica, por medio de los llamados *banner-ads*. Esto no es diferente a como se desarrollaron la radio y la televisión en la primera mitad del siglo XX, financiadas por la publicidad. En el Reino Unido se proyecta que en el periodo 2005-2007 la inversión anual en publicidad por internet superará por primera vez la de la radio (*e-Consultancy*, 2004).

Por último, en el caso particular de la industria del *software*, es importante considerar detenidamente la dicotomía entre una orientación de la empresa hacia productos frente a una disposición al servicio, y las alternativas de estrategia que esto crea. En este sentido se resalta la dirección que ha tomado IBM hacia una empresa de servicios.

3. Relevancia⁶

En el artículo titulado ‘La tecnología informática no importa’ de mayo del 2003, Nicholas Carr de la influyente publicación *Harvard Business Review* presenta una

tesis controversial acerca del papel que la tecnología informática desempeña actualmente en las empresas y los negocios. Según Carr, al haberse convertido ésta en un bien de consumo, cada vez más estandarizado y de menor costo, igualmente asequible para cualquier empresa o individuo con el capital suficiente para adquirirla, ha dejado de ser un factor de diferenciación estratégica o de ventaja competitiva.

En consecuencia, según el articulista, las empresas deben gerenciar la tecnología informática como bien de consumo para alcanzar el nivel de competencia necesario, al menor costo y con el menor riesgo. Cualquier ventaja que dependa exclusivamente de la tecnología, más que de la capacidad organizacional y del uso de la información, podrá ser fácilmente copiada por la competencia y tenderá a desaparecer rápidamente.

El escrito fue una reacción al elevado monto de las inversiones y los proyectos de las empresas en informática durante la última década, y al valor cuestionable que muchos de ellos aportaron a éstas, lo que resultó en el colapso del mercado y de la inversión en tecnología a mediados del año 2000. La opinión suscitó inmediatamente una enorme controversia y discusión en los principales medios y publicaciones del sector informático en los Estados Unidos (*HBR*, 2003; *ComputerWorld*, 2003a, b).

La anterior discusión muestra la relevancia de analizar y planear estratégicamente las ventajas competitivas del país en general, y de empresas en particular, para decidir en cuales sectores y actividades pueden existir mayores posibilidades de éxito: En la innovación y creación de nuevos productos y tecnologías; en la competencia en áreas particulares de desarrollo e implantación de las tecnologías, o simplemente como usuarios, estableciendo la infraestructura requerida y usándola competitivamente.

4. Áreas temáticas⁷

a. Computación autónoma

Es bien conocido que los precios de instalación, operación y mantenimiento de sistemas de computación comúnmente superan los costos directos de *hardware* y *software* de los mismos, y por lo tan-

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

to, representan una parte importante del valor total de propiedad de los sistemas (*TCO* o *Total Cost of Ownership*), la métrica de costo más significativa para el presupuesto informático en las empresas.

La computación autónoma se refiere a técnicas y métodos para dotar a sistemas electrónicos con la capacidad de controlar, diagnosticar, y corregir automáticamente sus problemas de operación. De esta manera, se reduce el coste total de propiedad al bajar drásticamente la necesidad de operarios o atención humana para la operación de los sistemas; las nuevas técnicas le permitirán, al sistema autoconfigurarse y adaptarse, reparar fallas y recuperarse de caídas, de falta de disponibilidad de recursos (e.g., almacenamiento) o de servicios (e.g., comunicaciones u otras aplicaciones). Las técnicas están siendo perfeccionadas inicialmente para sistemas de almacenamiento en disco, sistemas de memoria y servidores de web, aplicaciones *software* y bases de datos.

La computación autónoma junto con técnicas de virtualización y computación en malla, descrita en la siguiente sección, le permitirá a departamentos de informática en las empresas y organizaciones incrementar su productividad y eficiencia. Un gerente de informática señala, por ejemplo, cómo antes de la introducción de estas técnicas su personal gastaba el 95% del tiempo en la administración de sistemas y redes, y como éste se redujo al 5% después de los cambios realizados. Esto le permite a los departamentos dedicar sus recursos humanos a descubrir las necesidades y oportunidades únicas de las empresas, y a la definición, creación, e implantación de nuevas aplicaciones.

b. Computación en malla (*grid computing*)

La computación en malla o *grid computing* es un paradigma de computación en desarrollo en el que se reúne y virtualiza un conjunto de computadores, servidores, sistemas de almacenamiento, y redes de comunicaciones en un gran sistema integrado para proveer cantidades y calidades no triviales de servicios computacionales. Los servicios se proveen de forma transparente a las aplicaciones que se ejecutan en el sistema. Para el usuario y la aplicación, el sistema aparece como un gran sistema virtual.

Otro de los problemas de eficiencia que atiende la computación en malla es la cantidad de recursos no utilizados y su costo. Varios estudios muestran tasas

de utilización de recursos de alrededor del 40% (las más altas) en equipos de gran potencia y capacidad tipo *mainframe* mientras servidores tipo *Unix* tienen una utilización del 10% y bastante menos del 5% los computadores, incluyendo el tiempo de ejecutar los protectores de pantalla (Cuadro 3). Con la computación en malla, las empresas pueden optimizar el uso de sus recursos, disponer de mayor capacidad computacional cuando la requiera, y posponer inversiones de capital en equipos.

Cuadro 3

UTILIZACION DE RECURSOS	
Clase de equipo	Utilización promedio %
Computador <i>mainframe</i>	40
Servidor tipo <i>Unix</i>	10
Computador personal	5

Fuente: Correa, 2004

c. Servicios web

Los servicios web son una nueva tecnología de *software* para desarrollar sistemas distribuidos utilizando estándares abiertos de comunicaciones, llamado remoto de procedimientos y representación de datos. Las aplicaciones posibles pueden ser tan sencillas como obtener información sobre el estado del tiempo en una ciudad dada, o tan complicadas como realizar automáticamente la colocación y el seguimiento de una orden de compra para una lista de productos de un proveedor dado.

Desde el punto de vista técnico, los servicios web son un conjunto de protocolos de intercambio de datos y llamado remoto de procedimientos (*RPC*), que utilizan el estándar XML (*Extensible Markup Language*) de representación de datos, y el protocolo *http* para la transmisión de los mismos. Esto permite que aplicaciones de servicios web puedan ser desarrolladas en varios lenguajes de programación y ejecutadas en diversas plataformas de sistema operacional.

Los servicios web amplían y estandarizan métodos anteriores de intercambio de datos tal como el intercambio electrónico de datos, *EDI* (*Electronic Data Exchange*), *Cobra* (*Common Object Request Broker Architecture*), y métodos de invocación remota de procedimientos, *RMI* (*Remote Method Invocation*). Estos tienen sus problemas, principalmente la falta de interoperabilidad y el uso de mecanismos de comunicaciones

e interfaz propietarios⁸. Lo que hace a los servicios web diferentes de modelos anteriores de aplicaciones distribuidas, es que estas aplicaciones pueden ser publicadas, ubicadas, y localizadas automáticamente usando protocolos estándar de internet, y que están diseñadas para ser usadas programáticamente en forma estandarizada por otras aplicaciones.

Los tres principales protocolos de servicios web son el protocolo simple de acceso a objetos Soap (*Simple Object Access Protocol*), el mecanismo universal de descripción, descubrimiento e integración UDDI (*Uniform Description, Discovery and Integration*), y el lenguaje de descripción de servicios web WSDL (*Web Services Description Language*).

Información sobre estos estándares puede encontrarse en los sitios web del *World Wide Web Consortium* (W3C, 2002) y el consorcio UDDI (2004). Las páginas web de proveedores de tecnología como IBM, Microsoft y SUN Microsystems también son útiles (IBM *Web Services*, 2004; Microsoft *Web Services*, 2004; SUN *Web Services*, 2004).

El gran potencial de los servicios web está en su difusión, adopción y uso por parte de múltiples organizaciones. Las principales empresas globales ya ofrecen acceso público a sus servicios y productos por medio de esta tecnología, dentro de las condiciones de acceso y seguridad requeridas. Ejemplos en el sector privado son las principales empresas de tecnología informática (HP, IBM, Intel, Microsoft, SUN, etc.); empresas de manufactura (Ford y GM en el sector automotor, y General Electric como empresa multisectorial), empresas de comercio y distribución (Amazon.com, Wal Mart), empresas de información, búsqueda, mercadeo y venta de contenido (Weather.com, Google, IBM y varias editoriales).

En el sector público, la prestación de servicios web es parte de las iniciativas de gobierno electrónico en Estados Unidos, Europa, Asia y Oceanía, tendientes a ofrecer eficiencia y transparencia en servicios al ciudadano y las empresas. Ejemplos son la iniciativa "USA Services" del portal FirstGov.gov de los Estados Unidos; hay además, un sinnúmero de ejemplos en el nivel estatal y de las ciudades en el mismo país (Chicago, Miami, Nueva York, etc.), y proyectos parte de la iniciativa 'Sociedad de la Información' de la Unión Europea.

Se prevé que aplicaciones y servicios electrónicos migrarán a mediano plazo hacia la web. Proveedores

como Microsoft, IBM, Oracle, BEA Systems, y SUN tienen estrategias de producto basadas principalmente en la de plataforma J2EE (Java 2 Edición Empresarial) y la plataforma .NET de Microsoft. Los principales proveedores de infraestructura tienen como objetivo compatibilidad entre plataformas.

d. Movimientos de estándares, software libre, y código abierto

La última década ha visto el afianzamiento de tres movimientos distintos sobre el ambiente y el proceso dentro del cual se desarrolla la tecnología informática: estándares abiertos de software, software libre y de código abierto (*open source*). Estos movimientos han tomado importancia al haber empezado a ser adoptados sustancialmente por las más grandes empresas del sector (HP, IBM, Oracle, SUN, y más reticentemente por Microsoft, entre otras), así como por requerimientos del mercado y de entes gubernamentales en los Estados Unidos, Europa, y Asia.

Los estándares abiertos son cruciales para el desarrollo de equipos, software y servicios que pueden interactuar con productos de diversos fabricantes. Estos, en internet e informática, son promovidos principalmente por el Consorcio World Wide Web (W3C, <http://www.w3.org>), por la asociación de estándares del IEEE (<http://standards.ieee.org>), y por innumerables organizaciones en sectores específicos incluyendo la Organización Internacional de Estándares (ISO) y la Organización de Software Abierto (OSF). Oasis (<http://www.oasis-open.org>) por ejemplo, promueve estándares de información estructurada, claves en la implementación de negocios electrónicos. Igualmente, el consorcio mundial de aprendizaje IMS impulsa patrones de tecnología y contenido de educación virtual (<http://www.imsglobal.org>).

Otros tipos son los estándares *de facto*, controlados por una compañía, y los estándares propietarios controlados por una compañía, pero con la participación de otras en su desarrollo. El principal ejemplo de los primeros es el sistema operacional Windows de Microsoft, al cual debe dársele el crédito de permitir el rápido desarrollo de la industria de software para el computador personal. Un ejemplo del segundo es el lenguaje Java y su plataforma empresarial J2EE, controlados por SUN Micro Systems con la participación de otras empresas, y que junto con la nueva plataforma .NET de Microsoft son las principales tecnologías

⁸ Programas o aplicaciones cuyos códigos no están disponibles para ser modificados por el usuario

para el desarrollo de aplicaciones empresariales y de internet.

El *software* libre se refiere a aquel que se puede usar y distribuir, en muchos casos sin costo de licencia, aún para propósitos comerciales, siempre y cuando se cumplan los requisitos de una licencia general, promovida por la organización GNU (<http://www.gnu.org/licenses>). El propósito de este modelo no es crear *software* gratis, sino uno que puede ser utilizado, modificado, y distribuido libremente, sin las restricciones de propiedad intelectual usualmente asociadas con las licencias del *software* comercial.

El *software* de código abierto, por otra parte, se refiere al que se distribuye junto con el código fuente del mismo, con el fin de que los usuarios puedan inspeccionarlo, probarlo, modificarlo y redistribuirlo (<http://www.opensource.org>). Nótese que este no es necesariamente *software* libre, y que su uso en cada caso debe regirse por los términos de la licencia particular aplicable (<http://www.opensource.org/licenses>).

El *software* libre usualmente coincide con el de código abierto, aunque no siempre es el caso. Las principales organizaciones de desarrollo de *software* libre con código abierto son la Fundación Apache (<http://www.apache.org>), responsable del servidor Web Apache usado por más del 60% de los servidores de internet; GNU, que ofrece herramientas de desarrollo y un sistema de *software* tipo Unix (<http://www.gnu.org>), y más recientemente Eclipse, encargado de ambientes de desarrollo de *software*, principalmente para la plataforma Java (<http://www.eclipse.org>). Otros casos importantes son la base de datos relacionales MySQL (<http://www.mysql.org>) y la suite de productividad OpenOffice (<http://www.openoffice.org>), que compete directamente con *Microsoft Office*.

GNU/Linux, el sistema operacional tipo Unix creado por el finlandés Linus Torvald en 1991, es el más conocido sistema de *software* libre con código abierto, y el más serio postulante a cambiar la dominación del mercado de sistemas operacionales de *Windows* de *Microsoft*. Linux puede descargarse sin costo de los sitios web de varias organizaciones y ser copiado, instalado, modificado, y redistribuido gratis por cualquier persona u organización, siempre y cuando se respeten las condiciones de la licencia GNU, que esencialmente garantizan el mismo derecho a otros.

IBM, que desde el año 2001 ha realizado inversiones superiores a los mil millones de dólares en el desarrollo Linux, y en productos y servicios relacionados, es parcialmente responsable por el rápido aumento en la popularidad y credibilidad de este como contendiente a escala empresarial. Linux es distribuido comercialmente con opción de diferentes niveles de soporte individual y empresarial principalmente por dos compañías: la estadounidense Red Hat, y la alemana SuSe, recientemente adquirida por Novell.

Los beneficios del *software* libre con código abierto no han pasado inadvertidos para los gobiernos de Estados Unidos, Europa y Asia. Directores de tecnología e informática en las múltiples agencias del gobierno estadounidense tienen como parte de su estrategia el uso de *software* de código abierto. Los principales ejemplos son Linux, el servidor Web Apache, el navegador Web Mozilla de Netscape, y la base de datos MySQL (GovExec, 2003). Los beneficios son la posibilidad de eliminar los costos de licencia, aumentar la velocidad y conveniencia de desarrollo de aplicaciones, incrementar su desempeño y reducir los costos de operación y mantenimiento.

5. Visión de los directivos de la industria informática⁹

En el año de 2003 International Data Group y Business Software Alliance (BSA) realizaron una encuesta de prospectiva entre los más destacados directores de la industria informática. Los resultados se recogieron en el documento 'Enabling Tomorrow's Innovation' publicado en octubre de ese año.

Los directores consideran que a pesar de haber transcurrido tres décadas de continua innovación en *software*, el 75% de los beneficios que este puede entregar a la sociedad todavía están por llegar y que la nueva ola de innovaciones que orientarán los avances tecnológicos y la productividad en la próxima década serán:

- Redes inalámbricas que permitirán romper el cuello de botella de última milla.
- Servicios web que integrarán aplicaciones globales de negocios e impulsarán una nueva ola de tecnología para el crecimiento en la productividad.
- Seguridad y derechos digitales que incrementarán

⁹ BSA, IDC, 2003.

la confianza en internet y permitirán un servicio legítimo de entretenimiento por demanda.

- Nanotecnología, cuyos avances extenderán el alcance de la tecnología a niveles insospechados.
- Redes de microsensores, capaces hacer seguimiento a inventarios, mejorar la eficiencia y conectar a la tecnología más directamente con el mundo físico.
- Comunicaciones en tiempo real que facilitarán el acceso a personas y servicios utilizando dispositi-

vos de texto, voz y video sobre una variedad de nuevos equipos.

- Computación en malla y distribuida, que transformará la computación en una utilidad permitiendo a las empresas acceder por demanda a recursos de cómputo en forma global.
- Tecnologías colaborativas que permitirán trabajo en grupo en tiempo real, local, nacional e internacionalmente.
- Tecnologías sobre internet en protocolo IP.

GRAFICO 4



Fuente: IDC BSA CEO Opinion poll, Fedesoft

Es interesante notar que algunas de estas tecnologías son puramente informáticas, pero la gran mayoría pertenecen al ámbito de la telemática.

6. Tendencias tecnológicas en informática¹⁰

Las tendencias tecnológicas surgen de la identificación de estrategias para la solución de problemas científicos y tecnológicos. Las tendencias se enmarcan en:

- Identificación de retos teóricos de largo plazo cuya solución puede conducir a nuevas tecnologías y/o mercados.
- Escogencia de problemáticas que la academia y la industria ven con interés para orientar los esfuerzos de investigación en un término corto y mediano, a partir de retos de largo plazo.
- Desarrollos con nuevas metodologías, tecnologías y herramientas computacionales, orientados por retos teóricos de mediano y corto plazo.
- Oportunidades prácticas que determinan estrategias de corto plazo para el desarrollo de aplicacio-

¹⁰ Cardozo, Díaz y Rueda, 2004.

nes novedosas en nuestro país, gracias a nuevas tecnologías.

Los grandes temas que identifican los varios tipos de retos de largo, mediano y corto plazo pueden agruparse así:

a. Complejidad estructural

Se trata de concebir mecanismos para cuantificar las diferencias en la complejidad de las estructuras y construir una métrica de su información.

b. Software confiable

Dada la complejidad de los nuevos desarrollos que involucran interacción con personas y otros programas de computador y operación en contextos concurrentes y distribuidos, deberán crearse metodologías formales para el desarrollo de *software* que garantice la calidad de los productos resultantes.

c. Operación con conocimiento aproximado o incompleto

Tradicionalmente los mecanismos derivados de la inteligencia artificial representan y manipulan conocimiento exacto. El reto es encontrar formalismos que provean una teoría general de “objetos aproximados”, es decir, de aquellos de los que no se tiene un conocimiento exacto.

d. Solución práctica de problemas NP difíciles

NP (*non deterministic polynomial time*) son problemas de decisión solucionables en el tiempo con modelos probabilísticos y se consideran imposibles de resolver de manera eficiente. Problemas de este tipo aparecen repetitivamente en áreas de la ciencia, ingeniería o gestión. Usualmente se analizan mediante técnicas de aproximación pero aún no se conocen formalismos computacionales que permitan modelar soluciones aproximadas.

e. Modelamiento computacional en biología

La convergencia de la biología, la informática y la tecnología de la información ha dado lugar a las siguientes áreas de trabajo en bioinformática: a) biología computacional, orientada al desarrollo y aplicación

de métodos analíticos y teóricos, modelos matemáticos y técnicas de simulación de estudio de los sistemas biológicos, el comportamiento y los sistemas sociales; b) biocomputación, que trabaja en el diseño de herramientas de *software* para el análisis de secuencias de ADN; c) biología en silicio, cuyo principal objetivo es el diseño de modelos computacionales de células y tejidos, incluyendo el modelaje de enfermedades; d) biología digital, orientada a la creación de vida artificial por medio de técnicas de computación evolutiva, redes neuronales artificiales y la utilización de modelos de comportamiento procedentes de la robótica e inspirados en la psicología y la etología, y e) ciberbiología, cuyo objetivo principal es el estudio de la síntesis de la vida en computador a partir de la simulación de un organismo completo, multifuncional y no trivial (García, 2005).

f. Asistencia remota

Consiste en el desarrollo de modelos computacionales que posibiliten aplicaciones prácticas en control y diagnóstico remota.

g. Formas humanas de interacción

El reto consiste en llevar las formas de interacción humana a la interacción humano-computador: interfaces orales –que operen en contextos amplios–, inteligentes, interactivas, que ofrezcan destrezas similares a las humanas; generación de voz e interacción a través de imágenes.

h. Búsqueda eficaz en la web

A pesar de los grandes avances en “buscadores”, ante el incremento exponencial de la información deberán desarrollarse nuevas técnicas de búsqueda y minería de datos.

i. Computación nómada (computación ubicua)

En la medida que los usuarios se desplacen (usuario nómada) deberá hacerse realidad la computación personal, garantizándose continuamente la conectividad y recursos necesarios. Se deben concebir modelos y tecnologías para participar las aplicaciones y ubicar diferentes partes cooperantes. Un reto en este campo es la tolerancia a fallas y la adaptabilidad.

Dentro de esta tendencia se ubica también la computación en malla, en la cual se utiliza el tiempo libre de cualquier computador conectado a la red para contribuir al cómputo de procesos complejos.

j. El mundo físico como información

El reto consiste en lograr que los objetos físicos se comuniquen con los computadores a través de una red digital. Esta tendencia se conoce como *domótica* y su propósito práctico es llevar el acceso a internet a los electrodomésticos y equipos de oficina.

A más largo plazo, un reto es llevar la manufactura de productos a los hogares mediante “impresoras” que harán las veces de fábricas personales. A partir de esquemas o información técnica que se reciba vía internet, por ejemplo, las “impresoras” serán capaces de fabricar partes o elementos.

k. Consolidación e integración de áreas fundamentales

- Ingeniería de *software*
- Bases de datos
- Inteligencia artificial
- Recuperación de información
- Sistemas distribuidos y redes
- Lenguajes de programación (multiparadigma)
- Aplicaciones inalámbricas.

C. COMUNICACIONES¹¹

El sector telecomunicaciones fue severamente afectado en todo el mundo durante el periodo 2000-2003 cuando se desvaneció la burbuja punto com; incluso algunas de las más grandes empresas del sector vieron evaporarse entre el 90% y 98% de su capital. Esto se debió, principalmente, a un elevadísimo nivel de deuda adquirida anteriormente en razón a inversiones realizadas en infraestructura y desarrollo, y a la sobrecapacidad creada durante el anterior periodo de crecimiento de las compañías de internet, con la consecuente caída de precios en los servicios. Según el *IEEE* (2003), la deuda acumulada de las principales empresas era cercana a los dos billones de dólares en el 2003.

A pesar de ese gigantesco revés económico, desde finales de la década de los noventa el sector global de telecomunicaciones ha generado una increíble evolución y variedad en tecnologías y nuevos servicios disponibles, acompañados de un aumento en la confiabilidad y calidad de los mismos, y de una reducción en el costo de los servicios más básicos. La internet, por ejemplo, ya cuenta con más de 675 millones de usuarios, cerca del 8% de la población mundial, con acceso a más de 4.000 millones de páginas web (*Google*, 2004), atendidas por más de 55 millones de servidores (*ITU*, 2004).

Los tres principales desarrollos tecnológicos del periodo han sido la difusión de múltiples servicios y tecnologías inalámbricas (*wireless*); la difusión de servicios de datos de banda ancha (*broadband*), principalmente la internet; y la migración de la telefonía tradicional de circuito conmutado (*PSTN*), a la telefonía sobre protocolo internet por conmutación de paquetes (*VoIP*, o *voice over IP*).

La disponibilidad abundante y confiable de tecnologías de banda ancha e inalámbricas, son factores que habilitan el desarrollo del comercio electrónico, la computación ubicua (*pervasive computing*), los servicios web, y la computación distribuida como servicio de infraestructura. A continuación miramos estas tendencias.

I. Comunicaciones de banda ancha

La difusión del acceso a los servicios de banda ancha continúa siendo una prioridad en los países industrializados, que en esto llevan la delantera a los subdesarrollados. En Estados Unidos, por ejemplo, el número de usuarios con acceso a internet (65% de la población) ya es superior al de los que disponen de línea telefónica fija. El acceso a servicios de banda ancha es superior al 20% de la población y su rápido incremento es visto como un factor clave para acelerar el desarrollo de altas tecnologías, incrementar la competitividad del país, y cosechar los frutos de la “economía digital” (*IEEE*, 2002a).

Las redes sincrónicas ópticas (*Sonet*) y el protocolo *ATM* son la infraestructura base de troncales y enlaces de redes metropolitanas, con un ancho de banda casi ilimitado (terabits por segundo), y con calidad de servicio seleccionable para acomodar los requerimientos

¹¹ Correa, op. cit.

de distintas aplicaciones y usuarios, tales como voz sobre red de datos, teleconferencias, video por demanda y otras aplicaciones de comunicaciones multimedia.

En redes de área local el protocolo *ethernet* ha incorporado el uso de conmutación para evitar la degradación de velocidad a medida que el número de usuarios aumenta sobre un segmento. El *ethernet* convencional (10 Mbit/seg) ya ha sido reemplazado en muchos contextos de empresa y hogar por el *ethernet* rápido (100 Mbit/seg), y el *ethernet* gigabit (1 Gbit/seg) se utiliza en las grandes empresas como *backbone* para interconectar subredes y servidores.

La conexión de redes locales (de negocio u hogar) a redes metropolitanas se realiza por tres tecnologías principales de acceso: cable coaxial, línea de suscriptor digital (*DSL*) en Norteamérica, y línea de red digital de servicios integrados (*ISDN*) en Europa. Aparte de estas, existe el método más usual, la marcación por línea telefónica conmutada y las tecnologías inalámbricas descritas en la próxima sección.

Internet 2, el sucesor de la internet actual, continúa en desarrollo y evaluación en universidades y centros de investigación. Esta es una red de alta velocidad y mayor posibilidad de crecimiento; su troncal opera a velocidades cercanas a los 10 gigabits por segundo. Los protocolos soportados incluyen *IPv6*, (Protocolo Internet versión 6) el protocolo principal, e *IP multicast*. *IPv6* expande a 128 bits el rango de direccionamiento de 32 bits de la internet actual (*IPv4*), y soporta nuevas características como calidad de servicio y seguridad. El protocolo *IP multicast*, permite la transmisión eficiente de datos de un punto origen a múltiples puntos de recepción.

2. Comunicaciones inalámbricas (*wireless*)

La tecnología *wireless* o inalámbrica continúa progresando y difundiéndose rápidamente como extensión de las redes de telecomunicaciones ópticas y alambradas. Las dos aplicaciones principales son telefonía celular y redes inalámbricas de datos.

En telefonía celular, las tecnologías de segunda generación *TDMA*, *GSM*, y *CDMA* están siendo reemplazadas por las de tercera generación. *TDMA* y *CDMA* son la base de acceso por radio. *GSM*, el estándar

européico, opera sobre *TDMA* y puede acomodar tres canales de voz digital en cada canal análogo.

Las tecnologías de tercera generación incluyen *CDMA* de banda ancha (*W CDMA*) y versiones mejoradas de *GSM*. Aparte del servicio de voz, éstas permiten también transmisión de datos de banda ancha, así como los servicios que la capacidad de transmisión de datos habilita, incluyendo mensajería de texto, transmisión de imágenes y video, y acceso a internet desde las unidades celulares de tercera generación.

Uno de los temas principales en telefonía celular es la estandarización. En 1999 la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*ITU* por sus siglas en inglés) anunció un conjunto comprensivo de cinco patrones para tercera generación diseñados para acomodar y permitir la evolución natural de las tecnologías existentes, principalmente *GSM* y *CDMA*. Igualmente, un acuerdo sobre patentes entre las compañías *Qualcomm* de Estados Unidos y *Ericsson* de Suecia ha permitido la adopción de la tecnología *CDMA* en un estándar global para telefonía celular de tercera generación. *CDMA* ha demostrado ser una tecnología de transmisión superior al *TDMA*. La nueva generación de *GSM* puede operar sobre *CDMA* y *TDMA*, y acomoda el doble de canales digitales que *GSM* sobre *TDMA*.

Durante la década de los noventa surgió otro conjunto de tecnologías inalámbricas con gran atractivo como acceso a la red a alta velocidad y bajo costo de instalación. La primera es el servicio de distribución multipunto local (*LMDS*, o *local multipoint distribution service*), que opera en la banda de 28 a 30 GHz del espectro y permite altas velocidades de transmisión bidireccional de datos, de hasta 155 Mbps. *LMDS* funciona como un sistema celular al ser instalado, con la diferencia de que los usuarios son fijos, no móviles, y con requerimiento de *roaming* como en sistemas celulares convencionales. La alta velocidad de transmisión es ideal para enlazar redes locales de alta velocidad, que operan a 100 Mbps, con redes WAN o metropolitanas (Sheppard, 2000). Se estima que en Estados Unidos el mercado *LMDS* para estos servicios es de cuatro a cinco millones de usuarios.

Una característica aún más atractiva de *LMDS* es que, siendo una tecnología inalámbrica, tiene mínimos requerimientos de infraestructura para su instalación, por lo que puede ser montada a bajo costo y rápida-

mente, como alternativa a redes ópticas o cableadas. Esto es importante en sitios remotos con baja densidad de usuarios sin servicio, o en sitios urbanos congestionados con alto número de empresas y usuarios sin acceso a cable o fibra óptica, donde los costos de alternativas cableadas pueden resultar prohibitivos. *LMDS* también les permite a nuevos proveedores de servicios entrar a competir con aquellos ya instalados y con infraestructura existente.

Por último, la familia de estándares *IEEE 802.11* (a, b, g), también conocidos como *Wireless Fidelity* o *Wi-Fi*, permite la conexión de redes locales de datos inalámbricas (*WLAN*) a cortas distancias, típicamente hasta 1.000 pies (300 metros), dependiendo de las condiciones del sitio, antenas, etc. Las frecuencias de operación y velocidades de transmisión dependen del estándar particular; *802.11b*, por ejemplo opera a 2,4 GHz, y permite velocidades de hasta 5 Mbps. Esta tecnología se difundió rápidamente en instalaciones de casa y oficinas pequeñas, pero ha ganado popularidad en empresas y sitios concurridos como aeropuertos o cafés internet.

El mercado empresarial representa más del 30%, del mercado de *Wi-Fi* y una tasa de crecimiento del 7% anual. A pesar de problemas de seguridad y privacidad, la tecnología también está siendo implementada rápidamente por “ciudades digitales”, interesadas en ofrecer acceso a la red en espacios públicos como parte de su infraestructura. Versiones más recientes de la familia de estándares ofrecen seguridad (*802.11i*), garantía de calidad del servicio (*802.11e*) y velocidades de transmisión superiores a los 100 Mbps.

3. Telefonía sobre protocolo IP (VoIP)

La telefonía sobre protocolo *IP* se basa en la posibilidad de transmisión de voz digitalizada sobre redes con protocolo *TCP/IP*. A diferencia de la red telefónica tradicional con conmutación de circuito, las redes *TCP/IP*, con protocolo de conmutación por paquetes, no garantizan la transmisión de todos los paquetes recibidos y, más aún, dado que los paquetes enviados pueden tomar diversos caminos o sufrir retrasos diferentes, tampoco garantizan el orden de llegada o la demora que los mismos puedan sufrir.

El principal factor, entonces, que determina la viabilidad de la telefonía *IP* es la calidad de servicio de la

red. Desde el punto de vista del proveedor, esta incluye su confiabilidad, la cantidad de pérdida de información, el ancho de banda disponible, la demora en la red, y el *jitter* o variabilidad del retraso mismo. Todos estos factores determinan la calidad e inteligibilidad de la voz en el punto de recepción, que es el criterio de principal interés para el usuario.

La telefonía sobre *IP* tiene como protocolos principales el *H.323* de la UIT (Union Internacional de Telecomunicaciones) y el *MGCP* (*media gateway control protocol*). El *H.323* es un protocolo cliente-cliente que permite la transmisión de contenidos multimedia, mientras que *MGCP* permite el control de los dispositivos que realizan la transmisión de voz.

Las ventajas de la conversión de conmutación por circuitos a conmutación por paquetes incluyen una mayor eficiencia en la utilización de la red, y la posibilidad de construir y mantener una red única para transmisión de medios (voz y video) y datos, obviando la necesidad de sostener dos redes paralelas. El costo de instalar VoIP es aproximadamente un décimo del de una red tradicional pública conmutada (*PSTN*), este factor la hace atractiva para países en vía de desarrollo, que desean expandir su red nacional y obtener conexión con las internacionales.

D. LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE INVESTIGACIÓN EN CENTROS INTERNACIONALES¹²

Para el análisis de las tendencias tecnológicas mundiales, se han observado las líneas estratégicas definidas por tres centros internacionales líderes en investigación y desarrollo de telecomunicaciones:

I. CPqD Centro de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones de Brasil

Es considerado el mayor centro de investigación de América Latina, destacado siempre por su papel estratégico en el desarrollo tecnológico brasileño. Actualmente se desempeña en tres frentes: a) es proveedor de servicios tecnológicos de telecomunicaciones

¹² Cintel, 2004.

y realiza trabajos de innovación en tecnologías de este tipo; b) provee tecnologías para equipos y sistemas de telecomunicaciones, transfiere tecnología para la industria nacional e incentiva la creación de empresas de elevado contenido tecnológico, y c) provee *software* para telecomunicaciones.

2. CRC Communication Research Center de Canadá

Las investigaciones adelantadas por científicos e ingenieros de este centro lo han ubicado como líder mundial en tecnologías inalámbricas, satelitales y de difusión. Las líneas permanentes de investigación que ofrece el centro son: comunicaciones satelitales y radio propagación, tecnologías de redes de banda ancha, tecnologías inalámbricas y acceso a banda ancha.

3. Eurescom, Instituto Europeo de Investigación y Estudios Estratégicos en Telecomunicaciones

Eurescom provee la gestión y colaboración a proyectos de investigación de operadores y proveedores en la industria de las telecomunicaciones. Las principales competencias en gestión de proyectos se orientan en las siguientes áreas: tecnologías de redes, *interworking*¹³, plataformas de servicios, sistemas de soporte de operaciones y seguridad, terminales, servicios y aplicaciones en redes de nueva generación, temas relacionados con el mercado y oportunidades de negocio en el sector de telecomunicaciones.

A continuación se presentan las líneas estratégicas en investigación y desarrollo definidas en cada una de las instituciones mencionadas anteriormente para los próximos años:

Adicionalmente a los proyectos de investigación mencionados en el Cuadro 4, el CPqD se concentrará en temas relacionados con tecnología de servicios y programas de telecomunicaciones como servicios para redes de nueva generación (*new generation networks – NGN–*), televisión digital interactiva, sistemas de control de acceso basados en el protocolo IP y procesamiento del habla. De igual manera, maneja tecnología de soporte a operaciones y negocios de telecomunicaciones como sistemas de información geográfica, infraestructura para software de alta complejidad y planificación e integración de sistemas de telecomunicaciones.

Además de las líneas estratégicas mencionadas para el CRC, existe otro programa en el centro relacionado con la investigación y desarrollo de aplicaciones multimedia banda ancha que ofrezcan beneficios a la sociedad y a la industria.

Las otras líneas de investigación de Eurescom definidas en el año 2004 son los servicios multimedia, los servicios telemáticos para el hogar, consolas de juego en línea y los nuevos mercados para servicios satelitales Galileo .

E. LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE INVESTIGACIÓN EN ORGANISMOS DE REGULACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN¹⁴

I. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

A continuación se listan algunos grupos de trabajo del IEEE que laboran actualmente en el desarrollo de estándares relacionados con el sector de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática:

Cuadro 4

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN CENTROS INTERNACIONALES								
	NGN	Móviles	Redes ópticas	Acceso banda ancha	Espectro	IP y convergencia	Seguridad en redes	Defensa nacional
CPqD	X	X	X		X			
CRC		X	X	X	X	X	X	X
Eurescom	X	X		X	X	X	X	

Fuente: Cintel

¹³ Interconexión e interoperatividad de diferentes tipos de redes de comunicaciones.

¹⁴ Galileo es el sistema europeo global de navegación por satélite

- **Electromagnetismo**
 - Compatibilidad electromagnética.
 - Exposición a campos electromagnéticos.
 - Seguridad en el desempeño de productos (*Wireless Handset SAR Certification*).
- **Tecnología de difusión (broadcast)**
 - Compresión de video.
 - Procesamiento y distribución de video.
- **Confiabilidad**
 - Estándares de confiabilidad.
- **Componentes y materiales:**
 - Transistores orgánicos y moleculares.
 - Nanotecnología.
 - Estándares de microprocesadores.
- **Instrumentación y medición**
 - Convertidores analógicos a digitales.
 - Convertidores digitales a analógicos.
 - Sistemas de pruebas automatizadas.
 - Mediciones y análisis de pulsos.
 - Interfaces inalámbricas para sensores y actuadores.
- **Tecnología de baterías portátiles**
 - Baterías recargables para dispositivos móviles.
- **Comunicaciones para dispositivos médicos**
 - *MIB (Medical Information Bus)*.
- **Tecnologías de información**
 - Cálculos de retardos y potencia.
 - *LAN/MAN (Local Area Networks /Metropolitan Area Networks)*.
 - *PASC (Portable Applications Standards Committee)*.
 - Dispositivos programables.
 - Criptográfica (*Public-Key*).
 - Estándares de ingeniería de software.
 - Sistemas de almacenamiento.
 - Pruebas y diagnósticos para sistemas electrónicos.
 - *VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language)*
- **Ingeniería de sistemas de votación**
 - Estándares para sistemas de votación.
 - Equipos para votación.

En telecomunicaciones y específicamente en el área inalámbrica, se resalta el trabajo desarrollado actualmente por los siguientes grupos de trabajo del *IEEE*:

- *IEEE 802.11*: Grupo de trabajo en redes inalámbricas de área local *Wlan (Wide Local Area Networks)*. Los estándares *802.11* especifican las interfaces entre el cliente y la estación base o puntos de acceso, y entre clientes inalámbricos (especificaciones sobre el nivel físico y el nivel de control de acceso al medio).
- IEEE 802.15*: Grupo de trabajo en redes inalámbricas de área personal *Wpan*. El grupo *IEEE 802.15* trabaja en asocio con el *Bluetooth Special Interest Group (SIG)*. Como resultado del trabajo conjunto se obtuvo la especificación de *Bluetooth Specification v1.1 IEEE 802.15.1*
- *IEEE 802.16*: Grupo de trabajo en estándares de acceso inalámbrico de banda ancha. Trabaja en la formulación de estándares y recomendaciones prácticas para soportar el desarrollo de redes inalámbricas de área metropolitana.
- *IEEE P1451.5*: Grupo de trabajo en estándares de sensores inalámbricos. Este estándar definirá las *Transducer Electronic Data Sheets (Teds)* basadas en el concepto *IEEE 1451* y los protocolos para acceder a las *Teds*. Adoptará las interfaces inalámbricas y protocolos necesarios para facilitar el uso de tecnologías existentes.

2. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R)

En el sector de radiocomunicaciones de la UIT se encuentran los siguientes grupos de estudio y sus respectivas *WP (Working Party)* y *TG (Task Group)*:

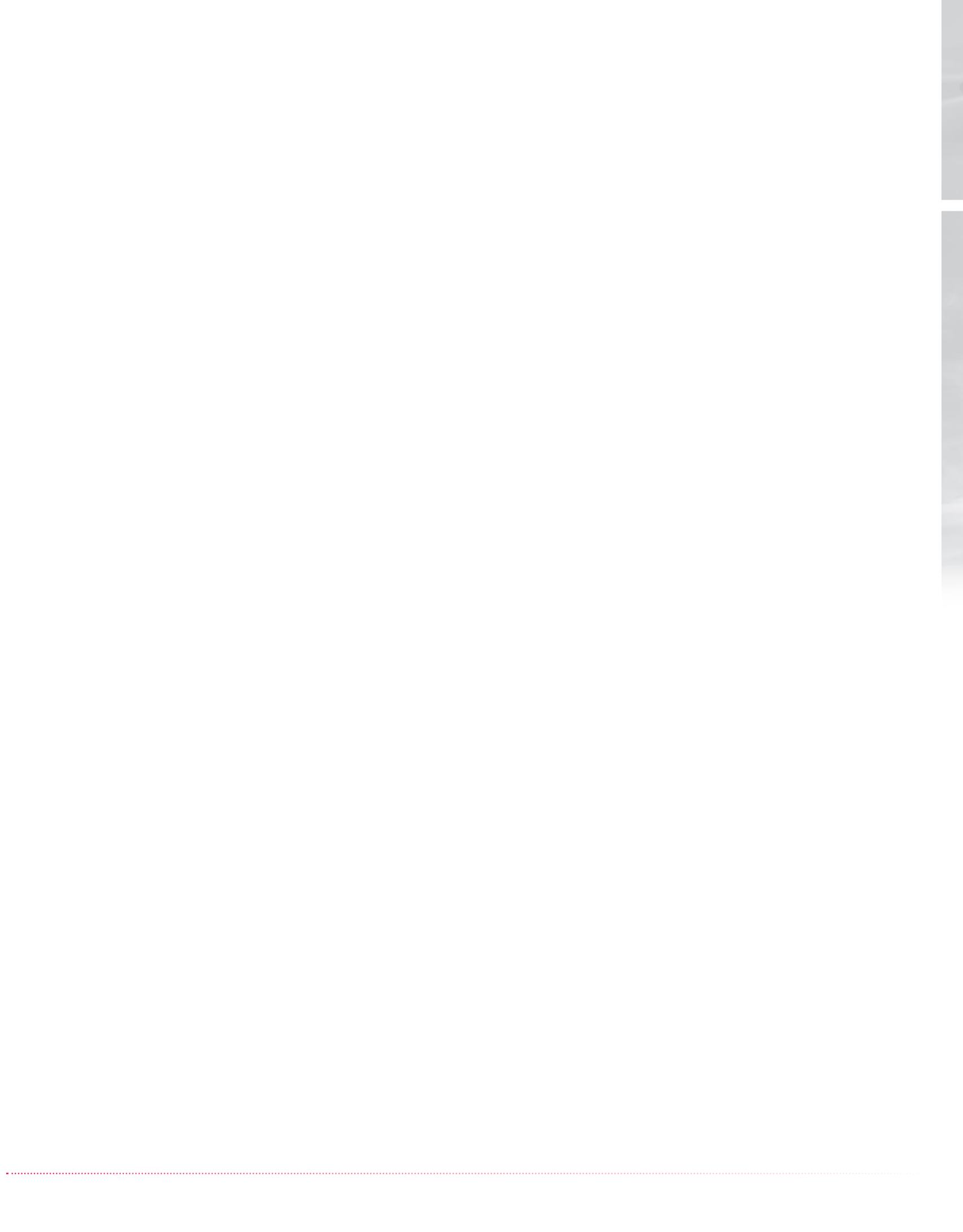
- SG 1 - Gestión del espectro
- SG 3 – Propagación de ondas de radio
- SG 4 – Servicio fijo satelital (*FSS*)
- SG 6 - Servicios de difusión (terrestre y satelital)
- SG 7 – Servicios científicos
- SG 8 – Servicios móviles, radiodeterminación, radioaficionados y satelitales
- SG 9 – Servicios fijos

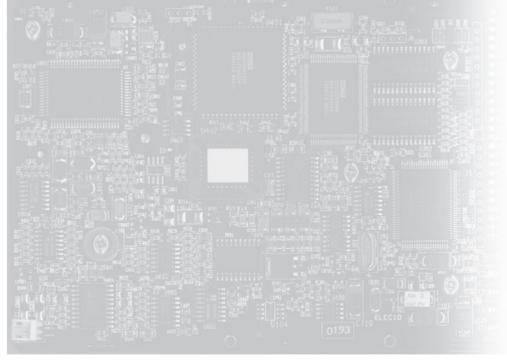
3. Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T

En el sector de estandarización de telecomunicaciones de la UIT se han estructurado los siguientes grupos de estudio para el periodo 2001-2004.

- SG 2: aspectos operacionales de la provisión de servicios, redes y desempeño. Conduce la definición de servicios, numeración, enrutamiento y movilidad global.
- SG 3: principios de tarificación incluyendo economía en las telecomunicaciones y políticas.
- SG 4: gestión de telecomunicaciones, incluyendo *TMN (Telecommunications Management Network)*.
- SG 5: protección del medio ambiente contra de los efectos electromagnéticos.
- SG 6: planta externa.
- SG 9: redes integradas de cable banda ancha, transmisiones de televisión y sonido.
- SG 11: requerimientos de señalización y protocolos.
- SG 12: desempeño de la transmisión extremo a extremo de redes y terminales. Conduce los estudios en calidad y desempeño.
- SG 13: redes multiprotocolo y basadas en *IP* y su *internetworking*. Conduce estudios relacionados con *IP, B-ISDN*, infraestructura global de información y satélites.
- SG 15: redes ópticas y otras de transporte. Conduce estudios en transporte en redes de acceso y tecnologías ópticas.
- SG 16: servicios multimedia, sistemas y terminales. Conduce estudios en negocios y comercio electrónico.
- SG 17: redes de datos y software de telecomunicaciones. Conduce estudios en seguridad de sistemas y lenguajes.
- *SSG Special Study Group: IMT2000* y más allá.

En el mes de mayo de 2004, la UIT-T creó un grupo especial compuesto por varias personas y un moderador, para trabajar exclusivamente en estándares para NGN.





CAPÍTULO II

CONTEXTO NACIONAL

CONTEXTO NACIONAL

A. EL SECTOR ACADÉMICO COLOMBIANO

I. Ingeniería electrónica e ingeniería electrónica y de telecomunicaciones¹⁵

a. Programas

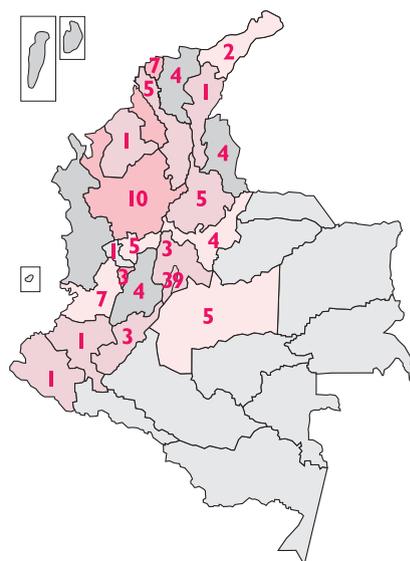
Antes de hacer un análisis de los grupos de investigación en electrónica en nuestro país, se presenta un rápido recuento de los programas nacionales de formación en ingeniería electrónica.

A finales de 2004, según el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES), había 94 programas de pregrado y 8 de posgrado reconocidos por el Icfes, para una población estudiantil de más de 25.000 estudiantes, lo que significa un incremento de más del 1.000% en diez años.

Este crecimiento no solo ha sido en número de programas y cantidad de estudiantes, sino también en cubrimiento. En 1994 los programas de Ingeniería Electrónica estaban concentrados en Bogotá, Medellín y Popayán, mientras que hoy en día hay en casi todo el país (Gráfico 5).

GRAFICO 5

DISTRIBUCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA POR DEPARTAMENTO



Fuente: García A., Retos y Oportunidades para Colombia en Electrónica

Los programas en términos generales son muy similares; para encontrar las diferencias entre ellos se analizaron las áreas de profundización o énfasis y la frecuencia con que éstas aparecen en los programas de 32 universidades (Cuadro 5).

¹⁵ García, 2004.

Cuadro 5

FRECUENCIA DE LAS ÁREAS DE PROFUNDIZACIÓN	
Electrónica Industrial	18
Telecomunicaciones	14
Control	14
Sistemas Digitales	7
Bioingeniería	6
Robótica	6
Instrumentación	5
Electromedicina	4
Electrónica de Potencia	4
Teleinformática	3
Microelectrónica	3
Estado sólido y optoelectrónica	2
Tratamiento de señales	2
Televisión	1
Redes neuronales	1
Mecatrónica	1
Inteligencia artificial	1
Sistemas expertos	1
Lógica difusa	1

Fuente: García A., Retos y Oportunidades para Colombia en Electrónica

Se resalta de este listado, el hecho de que estas áreas de profundización son en su mayoría de tipo aplicado y, con muy pocas excepciones, no hay profundización en las básicas. Una posible explicación es

que buena parte de las instituciones analizadas son escuelas de pregrado de corte profesionalizante y en muchas de ellas hay estudios de especialización o diplomados, los cuales esencialmente son profundizaciones sobre aplicaciones tecnológicas, más que estudios básicos o fundamentales sobre las mismas tecnologías. Dentro del grupo estudiado solo en ocho hay posgrados (maestrías) y apenas dos tienen doctorados.

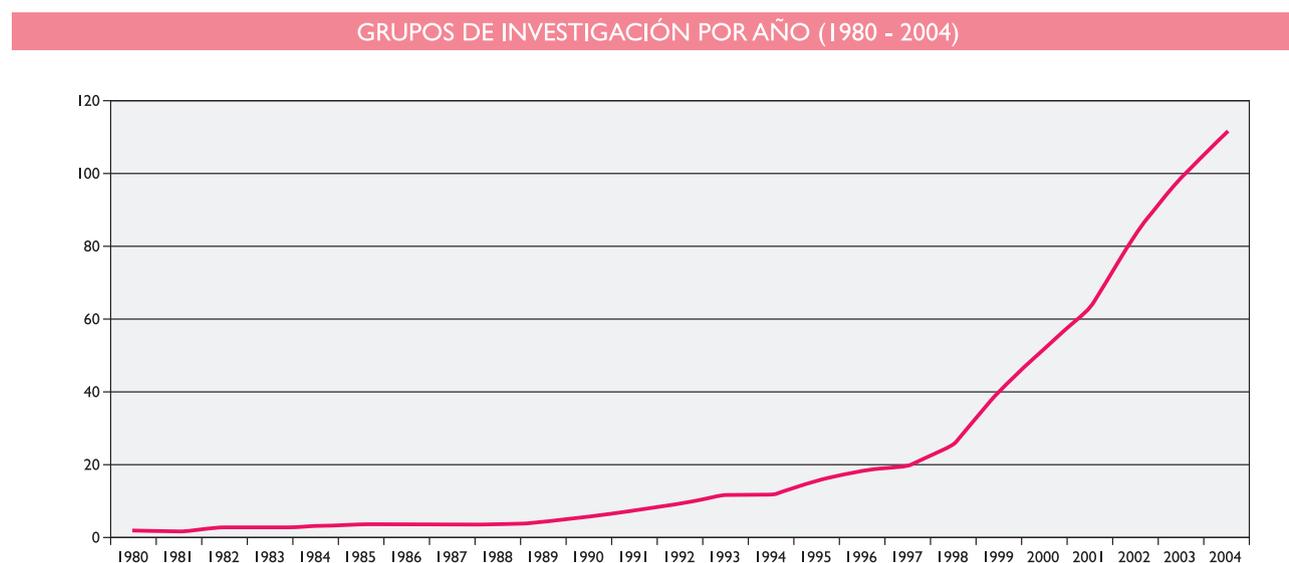
Este panorama visto de manera global muestra un cumplimiento de los objetivos planteados hace 10 años, y presenta una gran posibilidad de lograr una masa crítica de investigadores, no solo a escala nacional sino regional, capaz de producir cambios académicos e industriales.

Sin embargo, la carencia de investigación básica en los programas de ingeniería puede representar un riesgo muy importante: desarrollo de corto plazo sometido al devenir de la tecnología en otras latitudes.

b. Grupos de investigación

El crecimiento de los grupos de investigación en el sector ha sido también muy significativo en los últimos 10 años. De los oficialmente reportados desde 1989 a la fecha, se tienen 41 inscritos en Colciencias, que reúnen alrededor de 900 investigadores (GrupLAC, 2004).

GRAFICO 6



Fuente: García A., Retos y Oportunidades para Colombia en Electrónica

En este gráfico se ve claramente el resultado de las políticas estatales lideradas por Colciencias, dentro de los objetivos básicos del Plan Estratégico del Programa de Electrónica Telecomunicaciones e Informática (ETI), en los que plantea la necesidad de incrementar el número de grupos de investigación y desarrollo (Colciencias, 1997), así como fortalecer aquellos creados dentro del plan de microelectrónica del año 91, con acciones que se pusieron en práctica con el Plan de Fomento de los Grupos de Investigación, a partir de las convocatorias realizadas desde el año 98. Al igual que en caso de los programas de formación, los grupos están distribuidos en todo el país (Cuadro 6).

Cuadro 6

GRUPOS REGISTRADOS POR CIUDAD (A NOVIEMBRE DE 2004)	
Ciudad	No. de grupos registrados
Bogotá	47
Bucaramanga	10
Cali	10
Medellín	7
Pereira	6
Manizales	5
Popayán	5
Barranquilla	4
Sogamoso	3
Cartagena	2
Cúcuta	2
Ibagué	2
Pamplona	2
Valledupar	2
Armenia	1
Neiva	1
Santa Marta	1

Fuente: García A., Retos y Oportunidades para Colombia en Electrónica

c. Actividades de investigación

Basados en la información existente en la base de datos de GrupLAC se clasificaron las líneas de investigación reportadas por los diferentes grupos, con el fin de conocer cuáles son las tendencias de la investigación en nuestro medio y el número de grupos que trabajan en áreas comunes (Cuadro 7).

Cuadro 7

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y NÚMERO DE GRUPOS	
Líneas de investigación	No. de grupos
Control y automatización	15
Robótica	13
Micro y nanotecnologías	8
Comunicaciones	6
Señales	9
Inteligencia computacional	9
Redes inalámbricas	4
Redes de computadores	7
Educación	5
Bioingeniería	3
Instrumentación	1

Fuente: GrupLAC

Esta primera clasificación se puede agrupar de una manera más compacta, si tenemos en cuenta que varias de las líneas son complementarias o son variaciones sobre un tema básico. Este nuevo ordenamiento se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8

ÁREAS DE INVESTIGACIÓN Y NÚMERO DE GRUPOS	
Áreas de investigación	No. de grupos
Automatización y robótica	28
Procesamiento de señales	18
Comunicaciones	17
Electrónica integrada	8
Bioingeniería	3
Instrumentación	1

Esta distribución muestra igualmente el resultado de las políticas de Colciencias en diferentes épocas, especialmente en el caso de la automatización industrial y del diseño de circuitos integrados, las cuales fueron consideradas como líneas de acción estratégicas en el Plan Nacional del Programa ETI del año 1991 y en el Plan de Desarrollo Estratégico del Sector ETI en 1997.

El resultado de estas políticas se puede resumir en el Gráfico 7, elaborado a partir de la base de datos de Colciencias. En el periodo 1997-2004, el número de investigadores en electrónica aumentó de 195 a 1.030, cumpliéndose en términos globales con la meta planteada. De estos investigadores 275 tienen estudios de

posgrado, de los cuales 120 son doctores. Igualmente el número de proyectos registrados oficialmente por estos grupos paso de 120 a 586, lo cual es un logro importante. Igual efecto se tuvo en la producción de los grupos, entendiéndola como la producción bibliográfica, técnica y artística o cultural.

GRAFICO 7



Fuente: Base de datos Colciencias

Para un análisis más detallado, se clasificaron los productos de acuerdo con las líneas de investigación reportadas y según estas, los productos más significativos desde el punto de vista de investigación y desarrollo, como patentes, artículos y libros (Cuadro 9).

Cuadro 9

PRODUCTOS DE LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN						
Líneas de Investigación	No. de grupos	Proyectos	Productos	No. de integrantes	Procesos protegidos por el secreto industrial	Patentes y registros
Control y automatización	15	188	1052	352	24	29
Robótica	13	164	854	270	14	20
Micro y nanotecnologías	8	122	849	189	20	10
Comunicaciones	6	112	614	156	2	8
Señales	9	91	581	182	4	1
Inteligencia computacional	9	85	510	183	4	1
Redes inalámbricas	4	48	285	88	2	0
Redes de computadores	7	69	667	118	2	0
Educación	5	81	189	108	0	0
Bioingeniería	3	35	196	103	0	0
Instrumentación	1	21	127	22	0	0

Fuente: García A., Retos y Oportunidades para Colombia en Electrónica

En el análisis se encontró que de los 1.030 productos reportados, existen 38 registros y 548 publicaciones, de las cuales 483 son artículos y 65 entre libros y capítulos de libros; un incremento considerable en la productividad de los últimos dos años.

En este punto es importante resaltar que si bien se debe esperar más de estos grupos, el tiempo de vida de muchos de ellos es muy corto. En otros cinco años posiblemente habrá una producción de mayor impacto para el desarrollo del país. El análisis también permite ver que de la totalidad de líneas reportadas, solo hay producción en los campos de automatización industrial y robótica, electrónica integrada, comunicaciones y procesamiento de señales, sin que esta sea muy significativa, para el conjunto de grupos.

d. Programas de posgrado

En 2004, estaban registrados diez programas de posgrado, básicamente maestrías de las cuales la mayor parte corresponden a ingeniería electrónica (Cuadro 10).

Cuadro 10

MAESTRÍAS REGISTRADAS EN EL PAÍS EN 2004	
Tipo de maestría	Cantidad
Ingeniería electrónica	6
Telecomunicaciones	1
Electrónica-telecomunicaciones	1
Telemática/teleinformática	2
Total	10

Fuente: Colciencias

En el país hay registrados ocho programas de doctorado en ingeniería en universidades de diferentes ciudades (Snies, 2004).

2. Ingeniería de sistemas

a. Programas

De acuerdo con el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior, a finales de 2004 existían en el país 254 programas de ingeniería de sistemas y 7 de ingeniería de sistemas y telecomunicaciones. En caso de no considerar variaciones de programa dicta-

do por una institución en una sede este número es de 144 y 5 respectivamente.

El número de estudiantes de ingeniería de sistemas que presentó el Examen de Calidad de la Educación Superior (Ecaes) en 2003, fue de 8.332, correspondiente al 27,3% del total de estudiantes de las diferentes especialidades de ingeniería.

b. Grupos de investigación

Los grupos del Cuadro II pertenecen al área de Ciencias de la Computación y están registrados y reconocidos por Colciencias.

Cuadro II

GRUPOS, UNIVERSIDADES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN (2004)				
Grupo	Universidad (es)	Líneas de Investigación	Creado en	Art. Inv.
TICSw: Tecnologías de Información y Construcción de Software	Universidad de Los Andes	Computación Distribuida, Diseño y seguridad en redes, Métodos formales, Procesos de software y sistemas de control, Sistemas de información multimedia y geo-referenciada, Tecnologías de información para comercio electrónico	1997	31
Redes de Computadores	U. del Norte	Calidad de Servicios en Redes, Desarrollo de Aplicaciones para Redes, Interconexión de Redes, Simulación	1997	23
DESTINO - Desarrollo en Internet y Objetos	Javeriana Cali	Desarrollo de software, Interfaces orales, Telemedicina	2001	21
Sistemas e Informática	U. Nal. Medellín	Ingeniería de Software, Ingeniería Artificial, Investigación de Operaciones	1995	20
AVISPA	Jav. Cali y del Valle	Composición asistida por computador; Lenguajes Visuales, Programación concurrente por restricciones, Cálculo de procesos concurrentes	1996	20
Grupo de Ing. Telemática	U. del Cauca	Ambientes Integrados para Desarrollo de Sistemas Telemáticos, Aplicaciones Soportadas en Internet, Gestión de Ciencia y Tecnología, Gestión de Redes y Servicios de Telecomunicaciones, Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Servicios Avanzados de Telecomunicaciones, Sistemas de Tiempo Real, Tecnologías de la Información	1976	16
GEDI	U. del Valle	Tecnologías Computacionales Avanzadas	1996	14
SIDRE	U. Javeriana	Base de Datos, Comunicaciones y Redes de Computadores, Concurrencia y Paralelismo, Gestión de Tecnología, Ingeniería de Software, Nuevas Tecnologías, Sistemas Distribuidos, Sistemas de Información	2000	13
Tecnologías de Información	U. Autónoma de Bucaramanga	Automatización Industrial y Control, Sistemas de Información e Ingeniería de Software, Telecomunicaciones y Tecnologías Web	1998	12
Análisis Numérico y Simulación en Paralelo	U. Nacional	Análisis numérico y procesamiento en paralelo, Astronomía Extragaláctica	2001	11
GIIDIE (Grupo de Investigación, Innovación y Desarrollo en Informática Educativa)	San Buenaventura - Medellín	Informática Educativa, Ontológico-Epistémico: el Universo Virtual, Pedagógico-Didáctico: Modelos de Enseñanza para el Aprendizaje, Técnico-Tecnológico: Mediación de las NTIC	2002	10

Grupo	Universidad (es)	Líneas de Investigación	Creado en	Art. Inv.
Grupo I+D en Tecnologías de la Información	Universidad del Cauca	Informática Educativa, Objetos y Agentes, Seguridad Computacional, Sistemas de Información Geográficos, Tecnologías Internet	2000	8
SICOSIS	U. Antioquía	Aprendizaje Humano, Aprendizaje de Máquinas, Complejidad computacional, Modelamiento y simulación computacional, Paralelismo, Sistemas Basados en el Conocimiento, Sistemas multiagente, Visión Artificial	1988	7
Imagine. Grupo de informática gráfica y procesamiento de imágenes	Universidad de Los Andes	Ambientes inmersivos de visualización, Aplicaciones en CIM, Desarrollo de aplicaciones inmersivas para aplicaciones biomédicas, Entretenimiento, Interacción Humano-Máquina, Modelaje, representación y Geometría computacional, Tratamiento de Imágenes, Visualización	1998	7
CIDLIS	UIS	Calidad, Educación y Nuevas Tecnologías, Ingeniería de Software, Telemática y telecomunicaciones	1991	6
Grupo de Investigación en Electrónica, Telemática, Arquitectura del Computador y Temas afines	Universidad del Bosque	Arquitectura del Computador, Lenguajes de bajo nivel y Sistemas paralelos, Arquitecturas de Hardware y Software para Internet, Gestión de Redes, Seguridad Informática, Sistemas Operativos y Compiladores, Sistemas de Navegación y de Control de Tráfico, Tecnología, Protocolos de Comunicaciones y Software para redes LAN, WAN y MAN	2002	6
Grupo Interdisciplinario de Investigación en Sistemas	Fundación Universitaria Panamericana	No aplica ²	1997	5
Inteligencia Artificial	Universidad del Bosque	Bioingeniería, Biotecnología, Domótica, Realidad Virtual, Redes Neuronales Artificiales, Sistemas Expertos	2002	4
SOCRATES (Software, Calidad y Reingeniería Aplicada a Tecnología en Educación Superior)	Universidad de Córdoba	Computación Evolutiva, Ingeniería de Software Educativo, Estándares de Calidad en Software, Tecnologías Educativas	2002	4
Grupo de Investigación en Realidad Virtual	Escuela de Administración Finanzas y Tecnología	Educación y Entrenamiento, Realidad Aumentada, Realidad Virtual, Realidad Virtual Colaborativa	1996	3
Grupo de estudios en Ingeniería de Software	Escuela Colombiana de Ingeniería	Fundamentos y métodos de construcción de software	2002	2
Ciencias Computacionales	U. de Pamplona	Comunicación de datos y Nuevas Tecnologías, Informática Industrial, Ingeniería del software, Sistemas Tutoriales Inteligentes	2000	0
CT&S - UN	U. Nacional	Aprendizaje de Máquinas, Data Mining - Knowledge Mining, Desarrollo Informático, Lingüística computacional	2002	0

Fuente: Cardozo R., Díaz J F., Rueda C., Tendencias tecnológicas en Informática y oportunidades de investigación para Colombia, 2004

c. Grupos en otras áreas con intereses en computación

En 2004 había 56 grupos registrados en otras áreas pero cuyos intereses estaban relacionados con la computación (Cuadro 12).

Cuadro 12

OTROS GRUPOS CON INTERESES EN COMPUTACIÓN (2004)				
Grupo	Universidad (es)	Líneas de Investigación	Creado en	Art. Inv.
LAMIC	U. Distrital	Automática, Inteligencia Computacional, Microelectrónica	1999	24
Grupo Icesi de Informática y Telecomunicaciones (I2T)	U. ICESI	Comunicaciones móviles, Diseño y Gestión de Redes, Ingeniería del software, Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos, Recuperación de la información, Redes de datos, Seguridad, Servicios WEB, Sistemas Distribuidos	1999	19
Percepción y Control Inteligente (PCI)	U. de Manizales	Diseño Electrónico con VHDLs, Reconocimiento de Patrones, Robótica, Sistemas de Control, Visión Artificial	2001	13
Laboratorio de CAD/CAM/CAE	EAFIT	Computer Aided Geometric Design, Mecánica Computacional	1996	12
Inv. y Des. en Informática y Telecomunicaciones	U. de Manizales	Geomática, Inteligencia Artificial, Medios Virtuales, Socio Antropología de la Educación, Telecomunicaciones	2000	12
Grupo de Investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes	U. del Valle	Arquitectura y concepción de sistemas inteligentes, Inteligencia Computacional, Percepción artificial y robótica avanzada, Procesamiento Digital de Señales e Imágenes	1996	9
COMBA I+D (Computación Móvil y Banda Ancha)	U. Santiago de Cali	Computación Móvil, Redes Inalámbricas, Tecnologías de Banda Ancha	2000	4
Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación y Control Numérico	Santo Tomás	Control Numérico, Simulación Numérica	2000	4
SIRP - Sistemas Inteligentes, Robótica y Percepción	U. Javeriana	Percepción, Robótica, Sistemas Inteligentes	2000	4

Fuente: Cardoso R., Díaz J F, Rueda C., Tendencias tecnológicas en Informática y oportunidades de investigación para Colombia, 2004

d. Programas de posgrado

Actualmente están registradas once maestrías. En esta clasificación se han considerado nuevamente las maestrías en telemática y teleinformática puesto que la informática es parte esencial de dichas áreas.

Cuadro 13

MAESTRÍAS EN 2004	
Tipo de maestría	Cantidad
Informática	8
Informática -telecomunicaciones	1
Telemática / teleinformática	2
Total	11

Fuente: Colciencias

3. Telecomunicaciones

a. Programas

Los programas de pregrado y posgrado se han reseñado en los numerales anteriores.

b. Grupos de investigación¹⁶

De los grupos de investigación registrados en Colciencias en electrónica, telecomunicaciones, informática e ingeniería eléctrica, se identificaron 19 grupos que trabajan en el sector de telecomunicaciones:

- I. Gitun (Grupo de Investigación de Teleinformática de la Universidad Nacional de Colombia) - Universidad Nacional.

¹⁶ Cintel, 2004.

2. GNTT (Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones), Universidad del Cauca.
3. GIT (Grupo en Ingeniería Telemática), Universidad del Cauca.
4. GTI (Grupo en Tecnologías de Información), Universidad del Cauca.
5. Gitud (Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad Distrital) Universidad Distrital.
6. Grupo de Control y Procesamiento Digital de Señales, Universidad Nacional Manizales.
7. Grupo de Investigación y Desarrollo de Informática y Telecomunicaciones, Universidad de Manizales.
8. Anaconda, Universidad Cooperativa de Colombia. Popayán.
9. Desarrollo de *Hardware* y *Software* para Procesos de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente.
10. Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal, Universidad Industrial de Santander.
11. Grupo de Electrónica y Sistemas de Telecomunicaciones, Universidad de los Andes.
12. Centro de Estudios para la Gestión de Servicios en Redes, Universidad de los Andes.
13. Telecomunicaciones y Señales, Fundación Universitaria del Norte.
14. Comba I+D, Universidad Cooperativa de Colombia.
15. GIDT (Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones), Universidad Francisco de Paula Santander.
16. RadioGis, Universidad Industrial de Santander.
17. Gidat (Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones), Universidad Pontificia Bolivariana.
18. Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga.
19. Grupo Icesi de Informática y Telecomunicaciones (I2T), Universidad Icesi.

Se identificaron los grupos cuyas líneas de investigación declaradas por cada uno se enmarcan dentro de las siguientes categorías: telecomunicaciones, telemática, comunicaciones móviles e inalámbricas, banda ancha, gestión, regulación y antenas, microondas y propagación, como se indica a continuación. Se aclara que estos no son los únicos campos de estudio de los mencionados grupos de investigación.

Cuadro 14

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN TELECOMUNICACIONES (2004)			
ÁREA	GRUPO	ENTIDAD	Total
Telecomunicaciones Gral.	Gitun	U. Nacional	7
	GIT	U. del Cauca	
	GTI	U. del Cauca	
	Grupo I+D GNTT	U. del Cauca	
	Gitud	U. Distrital	
	Grupo de Control y Procesamiento Digital de Señales	U. Nacional	
	Grupo de Investigación y Desarrollo de Informática y Telecomunicaciones	U. Manizales	
Telemática	GIT	U. del Cauca	6
	Anaconda	U. Cooperativa de Colombia	
	Desarrollo de Hardware y Software para Procesos de Ingeniería	U. Autónoma de Occidente	
	Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal	U. Industrial de Santander	
	Grupo de Electrónica y Sistemas de Telecomunicaciones	U. de los Andes	
	Telecomunicaciones y Señales	Fundación Universitaria del Norte	

Móviles	Comba I+D	U. Cooperativa de Colombia	5
	Grupo I+D GNTT	U. del Cauca	
	GIT	U. del Cauca	
	GIDT	U. Francisco de Paula Santander	
	Telecomunicaciones y Señales	Fundación Universitaria del Norte	
Antenas, RF, microondas y propagación	RadioGis	U. Industrial de Santander	5
	Gitud	U. Distrital	
	GIDT	U. Francisco de Paula Santander	
	Grupo de Electrónica y Sistemas de Telecomunicaciones	U. Andes	
	Gidat	U. Pontificia Bolivariana	
Inalámbricos	Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica	U. Pontificia Bolivariana-Bucaramanga	1
Gestión de redes y servicios	Grupo I+D GNTT	U. del Cauca	2
	GIT	U. del Cauca	
Banda ancha	RadioGis	U. Industrial de Santander	1
Regulación Telecom	Gitud	U. Distrital	1

Fuente: Cintel, Retos y oportunidades para Colombia en Telecomunicaciones, 2004

En el siguiente cuadro se presenta el número de proyectos y productos desarrollados por cada uno de los grupos que trabajan en el área de las telecomunicaciones reportados a Colciencias. Se aclara que los

proyectos y productos no hacen referencia exclusiva a telecomunicaciones, pues hay trabajos en otros sectores como aplicaciones, automática, contenidos y tratamiento de señales entre otros.

Cuadro 15

PRODUCCIÓN EN GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS CON TELECOMUNICACIONES (2004)				
Grupo	Entidad	Proyectos	Productos	
Gitun	U. Nacional	8	43	
GIT	U. del Cauca	32	106	
GTI	U. del Cauca	9	210	
GNTT	U. del Cauca	18	61	
Gitud	U. Distrital	0	0	
Grupo de Control y Procesamiento Digital de Señales	U. Nacional	15	73	
Grupo de Investigación y Desarrollo de Informática y Telecomunicaciones	U. de Manizales	20	30	
Anaconda	U. Cooperativa de Colombia	0	0	
Desarrollo de hardware y software para procesos de ingeniería	U. Autónoma de Occidente	9	7	
Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal	U. Industrial de Santander	5	59	
Grupo de Electrónica y Sistemas de Telecomunicaciones	U. de los Andes	8	110	
Comba I+D	U. Cooperativa de Colombia	8	25	
Telecomunicaciones y Señales	Fundación Universitaria del Norte	8	150	
RadioGis	U. Industrial de Santander	0	0	
Gitud	U. Distrital	6	40	
GIDT	U. Francisco de Paula Santander	9	20	
Gidat	U. Pontificia Bolivariana	25	160	
Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica	U. Pontificia Bolivariana Bucaramanga	15	0	
TOTAL		195	1.094	

Fuente: Cintel, Retos y oportunidades para Colombia en Telecomunicaciones, 2004

B. EL SECTOR INDUSTRIAL

I. Electrónica¹⁷

Para efecto del presente análisis dividiremos la evolución de la industria electrónica en tres etapas: una inicial de conformación, comprendida entre los años setenta y ochenta, una segunda en la década de los noventa, considerada por algunos como de grandes cambios, y un último periodo iniciado a partir del 2000.

En los años setenta y ochenta, la industria estuvo dominada fundamentalmente por empresas ensambladoras, nacionales o con capital extranjero, dedicadas a la electrónica del entretenimiento (televisión y sonido). Al final de este periodo, cuando se produjo la gran explosión de los computadores personales (PC), también se hicieron incursiones de ensamblaje en esta área. Otra parte de la industria, de origen nacional, estaba dedicada a las telecomunicaciones, especialmente a pequeñas centrales de conmutación, a transmisores RF y al sector de la energía a reguladores y equipos de respaldo UPS (fuentes de alimentación ininterrumpidas). Es de destacar en esta época la existencia de empresas orientadas a la fabricación de componentes pasivos como condensadores.

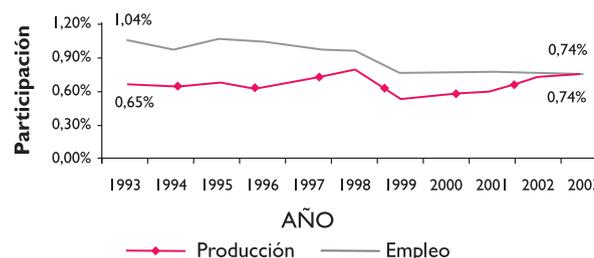
La segunda etapa, se caracterizó por la gran variación en el número, tipo y tamaño de las empresas, hechos ocurridos en medio de una gran variación en las políticas económicas del país, como la apertura económica y la privatización de empresas públicas, que, en principio, acabaron con las políticas de protección implementadas para las industrias nacionales (García, ETI, 2004).

El primer impacto de estas políticas en la industria electrónica, fue la desaparición de las ensambladoras de origen extranjero, las cuales, ante la apertura en todo el hemisferio sur, se reubicaron en los países de mejores condiciones tanto económicas como de seguridad.

Durante la primera parte de la década se presentó un incremento en el número de empresas, el cual no representó un impacto en el mercado de trabajo, pues de acuerdo con las cifras presentadas por Asociación de Entidades del Sector Electrónico (Asesel)¹⁸ en el estudio sobre la cadena de producción de la industria eléctrica electrónica (Asesel, 2003), aunque la participación en el empleo disminuyó en la mediana y gran empresa y varias de ellas desaparecieron, se incrementó en empresas muy pequeñas, de menos de 10 empleados (Colciencias, 1997). Se mantuvo así, prácticamente constante la participación en la producción nacional en este mismo periodo (Gráfico 8).

GRAFICO 8

EMPLEO Y PRODUCCIÓN: PARTICIPACIÓN DE LA CADENA EN LA INDUSTRIA (1993 - 2003)



Fuente: Dane, Encuesta Anual Manufacturera, 2003; Cálculos estimados DNP-DDE, 2002 y 2003.

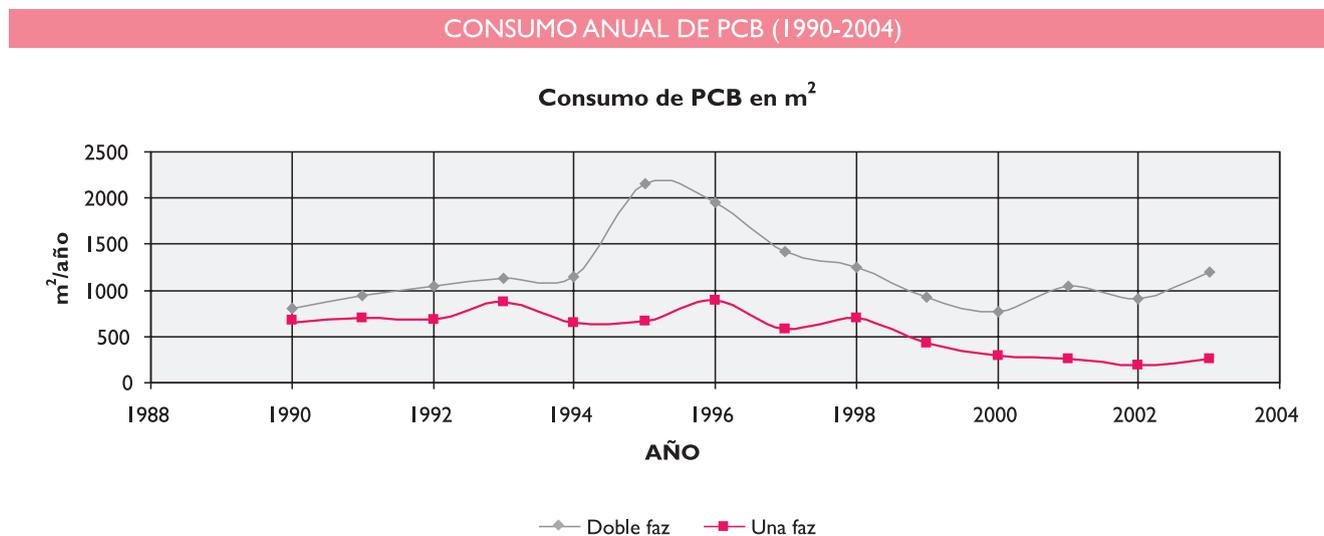
En la segunda parte de este periodo, un buen número de empresas nacionales comenzó a sentir el impacto de las medidas económicas y debió cerrar su operación al no poder sostener la competencia de los productos importados, mientras que aquellas con mayor solidez, no solo tecnológica, sino administrativa y financiera, abrieron sus mercados y entraron a participar de esta nueva economía.

Las anteriores afirmaciones están respaldadas de manera global por cifras de producción de placas de circuito impreso, PCB (*printed circuit boards*), materia prima para la producción electrónica nacional, las cuales fueron obtenidas de Microcircuitos de Cali, uno de los principales fabricantes del país (Chávez, 2004).

¹⁷ García, op. cit.

¹⁸ Entidad gremial fundada en 1986, alrededor de la cual se agrupan las industrias del sector. Durante su existencia ha realizado múltiples estudios sobre la industria electrónica en nuestro entorno, siendo el más reciente el dedicado al análisis de la cadena productiva de la electrónica y los equipos de telecomunicaciones.

GRAFICO 9



Fuente: Microcircuitos

Según estos datos, a principios de los noventa no solo se dio un aumento en la producción, sino también un cambio cualitativo del tipo de productos; se pasó de circuitos de una sola cara, a circuitos de dos caras incrementándose el consumo total.

En este punto vale la pena resaltar que la industria electrónica, tanto en nuestro país como en el mundo entero, está conformada por un selecto grupo de grandes entes y por un altísimo número de medianas, pequeñas y muy pequeñas empresas, que de manera individual o en conglomerados, desarrollan productos terminados o intermedios para el mercado o para los grandes productores o distribuidores. El tema de las mipymes de este sector merece la pena ser analizado con una óptica especial, pues no obstante su reducido número de empleados, cuentan con gran capacidad creativa y alto nivel tecnológico.

La tercera etapa de análisis comprende desde el año 2000, fecha arbitraria por no encontrar un hito que nos dé un punto de partida. En los gráficos 8 y 9 se puede ver cómo en esta etapa comenzó un incremento en la actividad productiva debido, al parecer, a la aparición de nuevas mipymes.

Según un estudio realizado por el Centro de Estudios del Tercer Mundo (Creset), entidad privada especializada en estudios sectoriales que ha realizado varios trabajos en el sector de la electrónica para el Proyecto Iberchip de la Unión Europea, después de que la experiencia aperturista mostró resultados poco exitosos, los analistas económicos, han reencontrado

el tema de la electrónica como insumo básico de una industria globalizada y competitiva (Acosta, 2000). A esta conclusión se llegó después de profundizar en los factores fundamentales para que las exportaciones ganaran en competitividad, y esto ha vuelto a poner sobre el tapete la ventaja o desventaja, según la óptica con que se mire, de que el cambio tecnológico de los últimos treinta años nos pone frente a una industria electrónica diferente y que toca crear.

Con esta pendiente negativa arrancamos el nuevo siglo, teniendo un par de elementos básicos para iniciar el análisis de actual estado de la industria. Un primer punto de necesaria referencia, es la apertura globalizada y el de los tratados regionales de comercio, los cuales, si bien plantean unas reglas de juego pactadas y más claras que las de la apertura de los noventa, impondrán restricciones que pueden llegar a ser más severas desde el punto de vista de normalización y estandarización, para las cuales el país no está preparado. El segundo punto de esta última etapa, es el gran incremento de profesionales en electrónica en los próximos años, el cual, dadas las actuales condiciones del mercado, tendrá que encontrar en la creación de empresas su futuro. Dada la importancia de este punto le dedicaremos un numeral aparte.

a. Estado actual

Como en muchos otros campos del desarrollo tecnológico del país, en el caso de la electrónica el trabajo por regiones (o por ciudades) es una de sus

características esenciales, pudiéndose distinguir claramente desarrollos en las regiones de los Santanderes, Occidente, Zona Cafetera, Antioquia y la Zona Central (Bogotá, Cundinamarca, Boyacá), donde aparecen polos académicos e industriales muy definidos. Estos se han visto apoyados, en los últimos cinco años, por los programas estatales de creación de incubadoras (caso Sena -Colciencias) y por parques industriales de iniciativa privada o mixta (pública y privada), con los cuales ha nacido un nuevo estilo de industria electrónica, que si bien es de tipo regional en el sentido de uso eficiente de los recursos humanos y económicos de la zona, su metas de mercado son de tipo globalizado. Por otra parte, el tipo de nuevas empresas refleja la asimilación de novedosas tecnologías electrónicas por parte de la academia y de la industria, en especial la de los circuitos integrados programables tipo microcontroladores, y los arreglos de celdas lógicas, los que además de la simplificación de los productos dan un gran potencial a los diseñadores para la implementación de sistemas más complejos.

Cuantificar el tamaño de la industria no es tarea fácil y requeriría de un estudio particular, pues aunque existen cifras oficiales, estas no concuerdan con el sentimiento de varios de los integrantes del sector. En el estudio de Asesel, basado en la información de registro oficial (Cámaras de Comercio), en 2001 aparecían registradas 154 empresas productoras de componentes y equipos de la cadena de electrónica, lo que representaba una disminución del 21% respecto a los reportes de 1992. En la distribución porcentual de las actividades realizadas por estas empresas dentro de la cadena, según el estudio de Asesel, el 81,2% de la producción se concentra en solo en tres líneas de producto terminado: electrónica de consumo, telecomunicaciones y electrónica de potencia (Cuadro 16).

Cuadro 16

DISTRIBUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DENTRO DE LA CADENA	
Eslabón	Participación 2001 (%)
Cajas y racks	0
Partes y accesorios	10.92
Componentes electrónicos	1.62
Antenas para telecomunicaciones	1.48
Circuitos electrónicos	0.83
Partes y tarjetas para computador	0
Equipos de instrumentación y control	3.87
Equipos de electrónica de potencia	8.6
Computadores y equipos para tratamiento de datos	0
Equipos de telecomunicaciones	26.42
Electrónica de consumo	46.27
Total Cadena	100

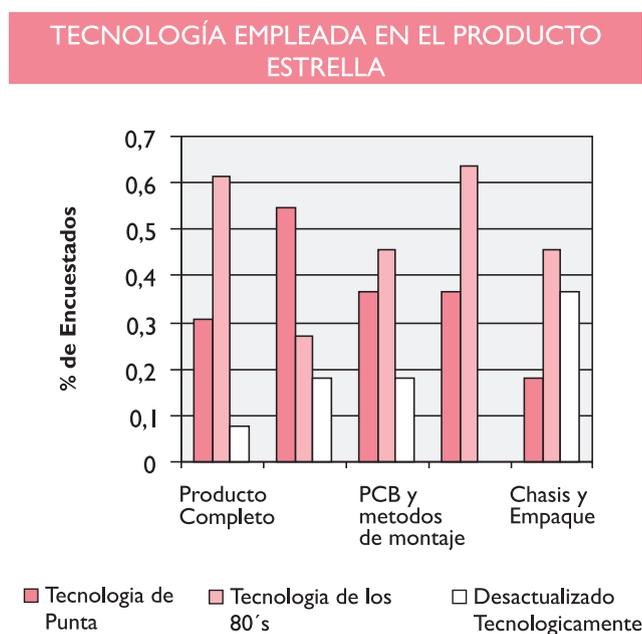
Fuente: Asesel

Sin embargo, según el mismo estudio, los datos del Dane de la misma época diferían de los de Confecámaras, que contaba solo 94 empresas pertenecientes a esta cadena, cifra que también contrasta con el obtenido del informe de Microcircuitos Ltda., el cual muestra una cantidad de clientes industriales de PBC, que correspondería aproximadamente a 222 empresas, en nichos diferentes a los planteados, distribuidas geográficamente en 89 en Bogotá, 57 en Medellín, 41 en Cali y algo más de 30 en el resto del país. Los nichos de mercado que atienden estas empresas son:

- Telecomunicaciones
- Electrónica de potencia
- Biomédicos (estética y fisioterapia)
- Transporte mecánico en edificaciones
- Seguridad
- Sistemas de transporte
 - Seguridad
 - Taxímetros
 - Estaciones de servicio
 - Equipos de transporte
- Sistemas de entretenimiento
 - Bingos
 - Maquinitas de apuestas

El anterior resultado es concordante con el presentado en el estudio de Creset ya mencionado, que da cuenta de la existencia de una serie de empresas que actúan en el marco de las nuevas dinámicas de globalización y que no están vinculadas al gremio, ni a las asociaciones de pymes. Son organizaciones de jóvenes innovadores y empresarios, a los cuales es vital tener en cuenta. Plantea el estudio que las actividades de especialización de estas nuevas industrias, no son las mismas de las décadas ochenta y noventa, más relacionadas con las telecomunicaciones (básicamente telefonía) y con el sector eléctrico (fuentes de potencia). Ahora las nuevas especializaciones apuntan, en orden de importancia, a la automatización industrial, la bioingeniería, los instrumentos de precisión y los sistemas de seguridad y transporte. Para analizar en detalle el estado tecnológico de la industria, en el estudio de Creset se indagó sobre el estado del arte del producto estrella de la compañía (Gráfico 10).

GRAFICO 10



Fuente: Creset

De acuerdo con las respuestas se ve que el 76% de la industria reconoce estar usando una tecnología de los ochenta o anterior, siendo notorios dos puntos: a) la desactualización en los acabados y montajes, donde hay mayor atraso, y b) la tecnología avanzada de los circuitos usados, con esquemas de montaje un tanto anticuados. Esta situación permite concluir que el principal problema no está en la electrónica misma

sino en toda la tecnología de producción, hipótesis que el estudio pedía sustentar con una muestra más amplia a la realizada.

Un resultado similar se encuentra en el diagnóstico realizado por el Cidei¹⁹ (Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria Electro-electrónica e Informática) sobre la industria nacional, según el cual, salvo destacadas excepciones, la mayoría de las empresas del sector adolece de falta de calidad en los productos, los cuales si bien tienen buenos diseños, a la hora de implementarlos dejan de lado prácticas industriales básicas, tales como confiabilidad o seguridad. En este sentido, el sector de la electrónica, en su mayoría, por no tener proyección exportadora, o sea por estar concentrado en atender mercados locales poco exigentes en el aspecto normativo, no da la importancia a elementos tales como sellos de calidad o normas industriales.

La anterior conclusión se ve respaldada por la carencia no solo de una institucionalidad que impulse estas prácticas, sino por la falta de espacios de formación de los ingenieros y tecnólogos en electrónica en el campo industrial, debido muy posiblemente a que nuestros currículos tienen gran influencia de programas de países desarrollados, donde estas materias ya forman parte desde hacen muchos años de las prácticas profesionales y son asumidos por entidades y asociaciones profesionales distintas a la universidad.

Los sectores hacia los cuales van las importaciones de equipos de instrumentación y control, no dan una idea de aquellos campos en los que la electrónica ejerce su papel de impacto transversal, por carecer de información estadística detallada. Para tener una idea sobre el particular, se contactó una empresa importadora de sistemas de control e instrumentación con más de 25 años en el mercado (Herrán, 2004), según la cual los permanentes demandantes de estas tecnologías se pueden clasificar en los siguientes sectores:

- Defensa: Fuerza Aérea, Ejército, Armada y Policía.
- Servicios: energía, minería, petróleo, telecomunicaciones (operadores públicos y privados en telefonía, datos, radio y televisión).
- Educación: universidades e institutos tecnológicos.

¹⁹ Entidad de carácter privado sin ánimo de lucro, creada con capital semilla de Colciencias y aportes del sector privado, cuyo centro de actividad es el apoyo a la innovación y desarrollo de empresas pequeñas y medianas, con el objeto de mejorar su competitividad mediante la incorporación de las tecnologías eléctrica, electrónica e informática mediante la realización de proyectos de modernización, reconversión y desarrollo tecnológico.

- Producción: petroquímica, alimentos, papel, plásticos y empaques, textiles.

La clasificación anterior, si bien no es completa, refleja los sectores que en razón de su posición en el mercado demandan permanentemente tecnología, y que teóricamente deberían ser nichos de mercado para una industria electrónica nacional. Del estudio citado resalta el hecho de que las empresas catalogadas como industria electrónica en nuestro país, con contadas y muy importantes excepciones, no aparecen dentro de las empresas consumidoras de este tipo de importaciones.

Oferta de profesionales en ingeniería electrónica

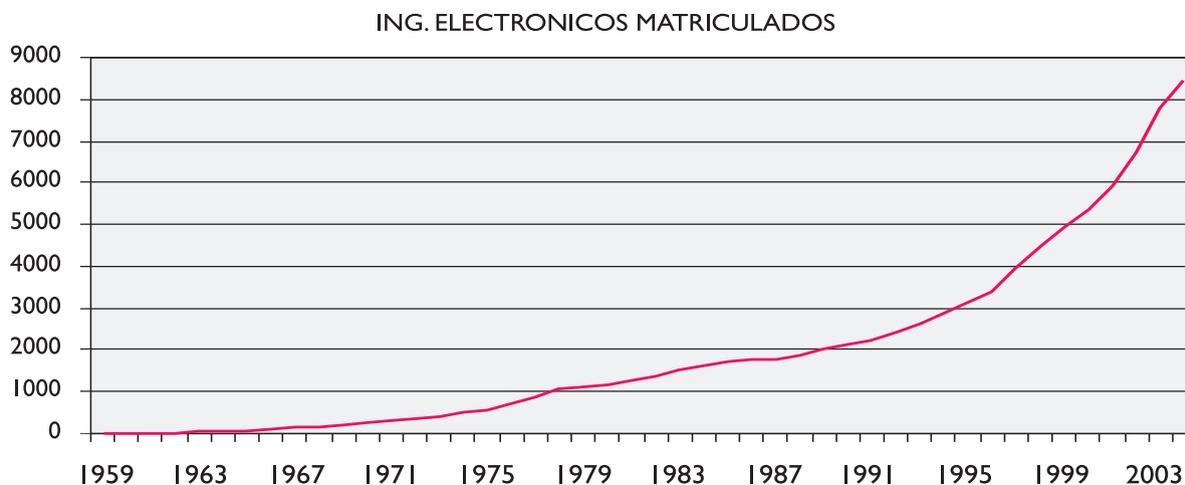
Un aspecto importante de tener en cuenta al momento de plantear las posibilidades de la electrónica en nuestro país, es la gran oferta de profesionales que tenemos hoy en día en esta área. En la Gráfico 11 se presenta la evolución del número de ingenieros electrónicos matriculados, de acuerdo con los datos del Consejo Nacional de Ingeniería.

Para entender el problema, basta con analizar las cifras presentas por Aciem (Asociación Colombiana de Ingenieros Electricistas, Mecánicos y Afines) en su informe sobre el desempleo en la ingeniería durante el año 2000, según el cual en general este era del 16%, y en el caso particular de las ingenierías eléctrica y electrónica de 7,4%, el nivel más bajo dentro de las diferentes especialidades. Por otra parte, y tomando el sector cubierto por el estudio de la cadena productiva de electrónica realizado por Asecel, el empleo generado por la industria manufacturera en los últimos 10 años ha disminuido en 25%: lo que representa alrededor de 5.500 puestos de trabajo en el 2002. A la fecha no se tienen cifras, pero el panorama no parece ser mejor si tenemos en cuenta no solo el incremento del número de programas de ingeniería electrónica creados en los últimos cinco años, sino también los cambios importantes que se han dado en el mercado de trabajo.

Uno de estos cambios está en las empresas del sector público y en especial en telecomunicaciones. Este en otros tiempos fue campo de acción de los ingenieros electrónicos; hoy es cada día más competido pues las actividades tradicionalmente realizadas por

GRAFICO 11

EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE MATRICULADOS EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA (1959-2004)



Fuente: Consejo Nacional de Ingeniería

De continuar con este crecimiento, la gran cantidad de egresados proyectada para los próximos años, vista de una manera aislada daría grandes esperanzas para el futuro del sector; sin embargo la realidad puede ser muy diferente, pues actualmente la capacidad del sector productivo para absorber estos profesionales es muy limitada.

ingenieros electrónicos, se deben compartir ahora con ingenieros en telecomunicaciones (especialidad que en la actualidad cuenta con 11 programas de pregrado y 11 de posgrado), y con ingenieros de sistemas, dada la convergencia alcanzada entre telecomunicaciones e informática.

Adicionalmente, la evolución tecnológica de este sector requiere en nuestro medio de menos profesionales y más técnicos, y concentra su mayor crecimiento en la demanda de personal en mercadeo y administración, por lo tanto, los ingenieros deben competir con una gran multitud de profesionales de diferentes disciplinas, con una capacitación que para el efecto puede ser mejor y más completa que la de los ingenieros. Este último comentario también es válido para otros sectores que tienen que ver con la electrónica, en los cuales la actividad es fundamentalmente la importación y venta de equipos (instrumentación, control y automatización).

Ahora bien, sin pensar en la posible renovación por efectos de la edad, en los próximos diez años se necesitarán 30.000 plazas laborales para absorber los nuevos ingenieros electrónicos. Una de las alternati-

vas para convertir todo este potencial en progreso, es la creación de una nueva industria electrónica (de producción, o de servicios), la cual requerirá de un gran soporte de investigación y desarrollo que la haga competitiva a escala mundial.

2. Informática

La industria informática puede considerarse como uno de los sectores más dinamizadores de la economía colombiana. Aglutina a más de 600 empresas y genera alrededor de 13.000 empleos calificados.

Sus actividades responden a una amplia demanda de servicios que ha ido incrementándose año tras año (cuadros 17, 18, 19 y 20).

Cuadro 17

INVERSIÓN EN SERVICIOS DE TECNOLOGÍA INFORMÁTICA EN COLOMBIA (MILLONES DE DÓLARES)						
CONCEPTO	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Consultoría	38	41	44	47	52	59
Outsourcing del sistema de información	52	58	68	78	85	92
Servicios de procesamiento	35	43	51	61	71	83
Outsourcing de aplicaciones	2	4	7	11	15	18
Integración de sistemas	97	110	123	136	151	168
Desarrollo de aplicaciones de software	22	32	38	44	50	58
Soporte y mantenimiento de software	38	46	51	56	63	69
Soporte y mantenimiento de hardware	44	48	53	58	64	70
Consultoría e integración de redes	16	26	36	45	55	65
Outsourcing de desktop y redes	27	35	43	53	63	75
Educación y entrenamiento en tecnologías informáticas	18	19	22	25	28	31
Total Colombia	389	462	536	614	697	788

Fuente: IDC, Fedesoft

Cuadro 18

SOFTWARE Y TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS RELACIONADAS (VENTAS EN MILLONES DE DÓLARES)									
Ventas	2000			2001			Variación anual %		
	Nal	Export	Total	Nal	Export	Total	Nal	Export	Total
Hardware	262,67	0,014	262,68	272,3	0,056	272,36	3,67	300,00	3,68
Software	120,62	2,12	122,74	128,21	4,76	132,97	6,29	124,53	8,33
Servicios	133,47	12,02	145,49	149,71	14,13	163,84	12,17	17,55	12,61
Totales	516,76	14,154	530,91	550,22	18,95	569,17	6,47	33,73	7,20
Participación %	97,33	2,67	100,00	96,67	3,33	100,00			

Fuente: Agenda de Conectividad, Centro Nacional de Consultoría, Fedesoft

Cuadro 19

ACTIVIDAD COMERCIAL DE LAS EMPRESAS (PORCENTAJE)	
Venta e instalación de <i>software</i>	84
Servicios de consultoría en tecnología informática	76
Desarrollo de <i>software</i> a la medida	69
Implantación de <i>software</i> y/o paquetes	69
Soporte de sistemas	66
Capacitación en tecnología informática	62
Integración de sistemas	51
Gerencia de proyectos	48
Venta e instalación de <i>hardware</i>	47
<i>Outsourcing</i> en tecnología	44
Procesamiento de datos	33
Telecomunicaciones	24
Arrendamiento de <i>hardware</i>	21
Otros	13

Fuente: Agenda de Conectividad, Centro Nacional de Consultoría, Fedesoftware

Cuadro 20

CLASIFICACIÓN DE LAS EMPRESAS SEGÚN EL TAMAÑO			
Nivel ^{1/}	Cantidad	%	Empleos ^{2/}
Microempresas	398	58	1-10
Pequeñas	229	34	11-50
Mediana	46	7	51-200
Grandes	6	1	Mayor a 200

1/ Certificaciones en todos los niveles: ISO 9000, 49 empresas; CMM5 (Capability Maturity Model Nivel 5), una empresa.

2/ Promedio de empleos: 20.

Fuente: Agenda de Conectividad, Centro Nacional de Consultoría, Fedesoftware

Como puede verse, el sector se caracteriza por una gran cantidad de microempresas, muchas de las cuales permanecen durante poco tiempo en el mercado. Sin embargo, entre 1995 y 2001 todos los indicadores de crecimiento han tenido una buena actividad.

Fedesoftware (2004) ha adelantado un análisis dofa con miras a determinar estrategias de fortalecimiento del sector. Las conclusiones de dicho análisis son las siguientes:

- **Debilidades**

- El 95% de los empresarios son ingenieros de sistemas con poca formación empresarial y administrativa.

- Hay desconfianza en el mercado nacional sobre la permanencia de las empresas y la capacidad tecnológica.
- Poca inversión extranjera.
- Ausencia de alianzas nacionales e internacionales y por tanto bajo nivel de asociatividad.
- Bajo nivel de investigación, desarrollo e innovación.

- **Oportunidades**

- Desarrollar potencial y liderazgo frente a los países de la región.
- Ser el país representante de la región a escala mundial.
- Ubicar a Colombia en un nivel de clase mundial, dentro de los 10 países emergentes más importantes que han transformado su economía con tecnologías informáticas.
- Lograr que el aporte del sector a la economía sea superior a la de todos los sectores económicos juntos.

- **Fortalezas**

- Creación endógena de empresas productoras de software.
- Único sector con materia prima propia y generación de la misma.
- Alto porcentaje de profesionales y tecnólogos.
- Único transversal a todos los demás.
- Requiere relativamente poca inversión en infraestructura o en capital para desarrollarse.
- Cuenta con ayudas fiscales.

- **Amenazas**

- Hay otros países latinoamericanos incursionando en la carrera para ser representantes de la región.
- Hay países asiáticos que están incursionando en la región.

De todo lo anterior se puede concluir que con una adecuada transformación, la informática puede llegar a ser fundamental en el desarrollo económico del país, y como componente básico de las tecnologías informáticas y de comunicaciones, ayudar en la modernización y transformación hacia una sociedad basada en el conocimiento y en la información.

Uno de los factores importantes para la consolidación del sector es el desarrollo de su capacidad exportadora. Se trabaja activamente con la Agenda Interna del *Software* del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, en la identificación de las oportunidades, metas y estrategias para cumplir dicho propósito en el mediano plazo (Visión 2010).

Para su desarrollo, es también necesario modificar la actitud hacia la innovación y desarrollo tecnológico. Muchos de los retos actuales tanto en el ámbito local como internacional se apartan de las áreas tradicionales. Una orientación hacia nuevas tecnologías en campos como bioinformática, telemática, gestión del conocimiento, seguridad, aplicaciones en internet, servicios web y otras, podría ser la verdadera oportunidad que se busca tanto para la consolidación, como para la actualización de la industria.

3. Industria y servicios de telecomunicaciones. Situación nacional

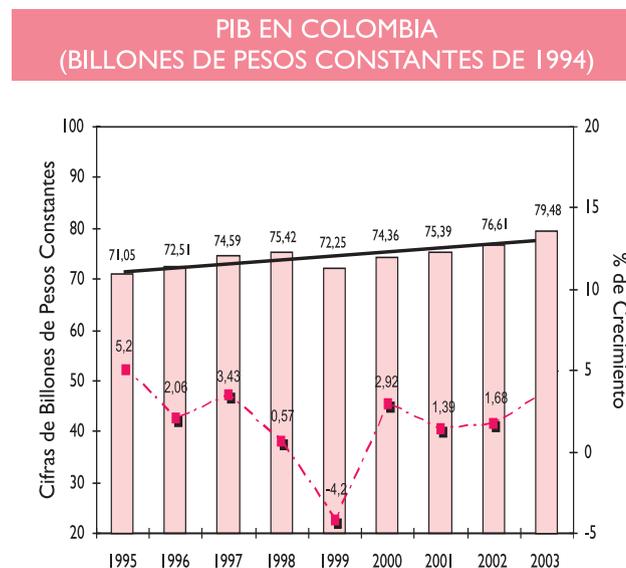
El análisis que se presenta a continuación tiene por objeto proporcionar herramientas para la identificación de las líneas orientadoras de investigación, desarrollo e innovación en telecomunicaciones para el país.

a. PIB por ramas de actividad

El año 2003 se caracterizó por la aceleración del crecimiento económico como consecuencia de un mayor dinamismo de la demanda interna y la paulatina recuperación de la demanda externa. Como consecuencia hubo una significativa expansión en la mayoría de los sectores económicos. Colombia registró una de las tasas de crecimiento más altas de América Latina, 3,74% frente a 1,5% de la región. Así, el PIB per cápita aumentó en 1,8 puntos porcentuales, después de más de cinco años en los cuales había disminuido. Además, excluidos los cultivos ilícitos del cálculo, el crecimiento del PIB en 2003 superó el 4,0%.

Al analizar el PIB colombiano por ramas de actividad para el año 2003 se observa que los sectores con mayor crecimiento fueron los servicios de intermediación financiera (13,81%), y la construcción con 11,61%. Los sectores que crecieron en menor proporción fueron el de trabajos de ingeniería (2,51%) y

GRAFICO 12



Fuente: Dane

el agropecuario con 2,36%, sin embargo, este resultado es positivo para el agro y obedece especialmente al del café sin tostar no descafeinado.

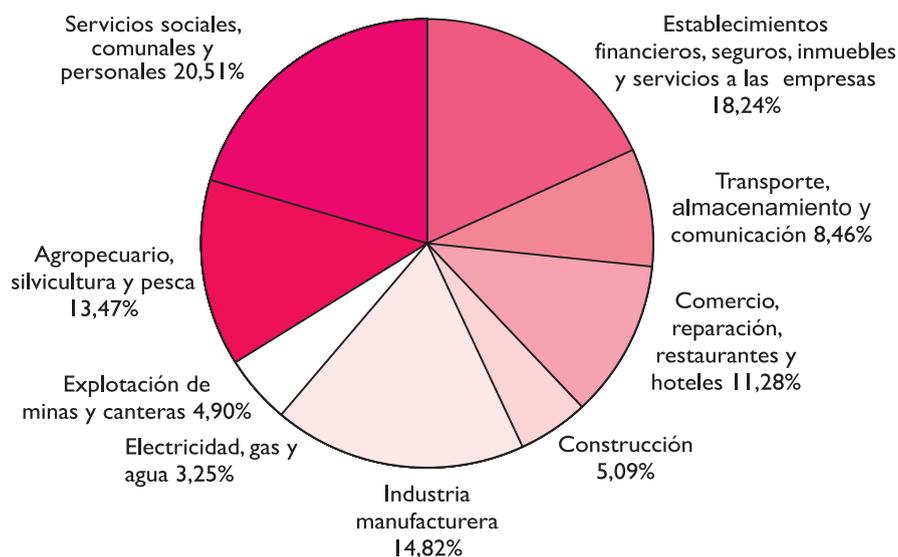
La minería registró en 2003 una variación positiva de 5,45% con respecto al año anterior, sin embargo, presentó un descenso en el último trimestre del año en cuestión, explicado por la disminución de carbón, petróleo y hierro. La industria manufacturera tuvo un crecimiento acumulado entre enero y diciembre del 2003 de 4,23%, principalmente por la situación favorable de industrias de carne, pescado, azúcar, productos textiles, prendas de vestir, productos de madera y químicos entre otros.

b. PIB telecomunicaciones frente al PIB nacional

Siendo el producto interno bruto uno de los factores económicos con alto grado de sensibilidad frente a la actividad de las telecomunicaciones, el Centro de Investigación de las Telecomunicaciones (Cintel) analiza periódicamente la trayectoria de esta variable, y de forma particular el del PIB de las telecomunicaciones. En el Gráfico 14 se observan las tasas de crecimiento del PIB nacional comparadas con las del PIB de las telecomunicaciones en los últimos años, donde estas evolucionaron de manera similar a las de las tasas de crecimiento del PIB nacional y conservaron un mayor dinamismo hasta el año 2000.

GRAFICO 13

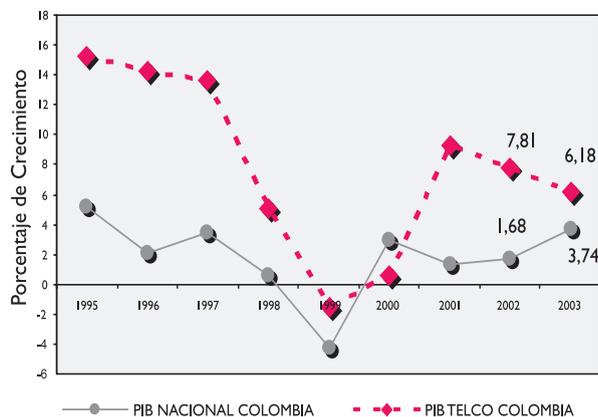
PIB POR RAMAS DE ACTIVIDAD PARA 2003 (PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN)



Fuente: Dane

GRAFICO 14

TASAS DE CRECIMIENTO DEL PIB NACIONAL Y DEL PIB DE LAS TELECOMUNICACIONES



PIB TELCO COLOMBIA 2003: \$2.21 BILLONES CONST. REPRESENTANDO EL 3% DEL PIB TOTAL

*Cifras provisionales
Fuente: Dane

c. Estructura del mercado de las telecomunicaciones 1998 – 2003

La variación del mercado de las telecomunicaciones en los últimos años se puede observar en el Gráfico 15, manifiesta en el valor de los ingresos de cada uno de los servicios más representativos por operador, sin incluir radio y televisión por difusión²⁰. Este gráfico muestra siete grupos por servicios: telefonía pública básica conmutada local (TPBCL)²¹, telefonía pública básica conmutada de larga distancia (TPBCLD)²², telefonía móvil celular (TMC)²³, valor agregado (VA)²⁴, buscapersonas, *trunking* y televisión por suscripción.

²⁰ Siguiendo la estructura del estudio de telecomunicaciones que realiza Cintel cada año.

²¹ TPBCL, incluye los valores respectivos de la telefonía local y local extendida.

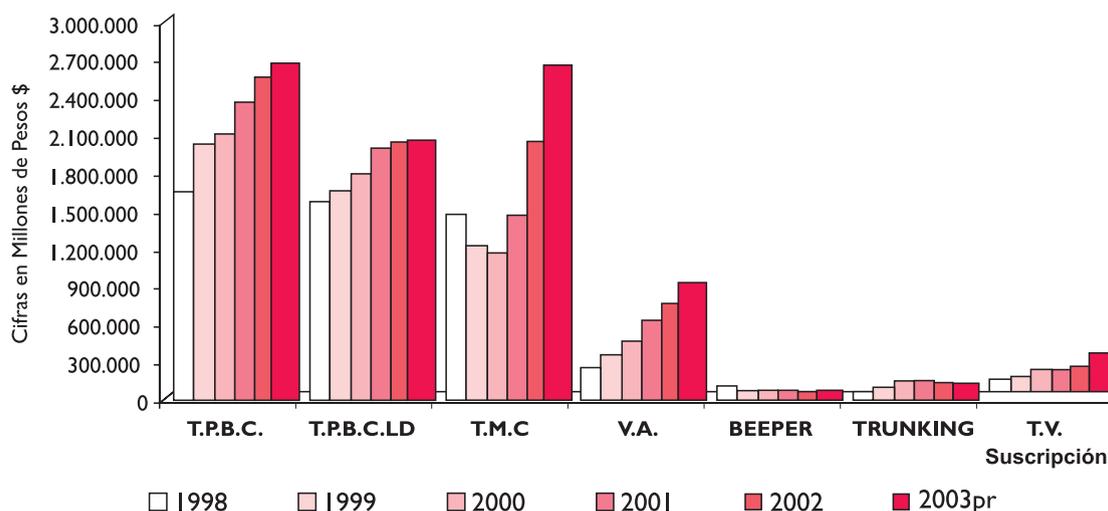
²² TPBCLD, incluye larga distancia nacional e internacional.

²³ No incluye los ingresos de Colombia Móvil.

²⁴ Incluye servicio portador.

GRAFICO 15

TOTAL MERCADO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA 1998 2003
(MILLONES DE PESOS CORRIENTES)



Fuente: SSPD, SS, cálculos Cintel.

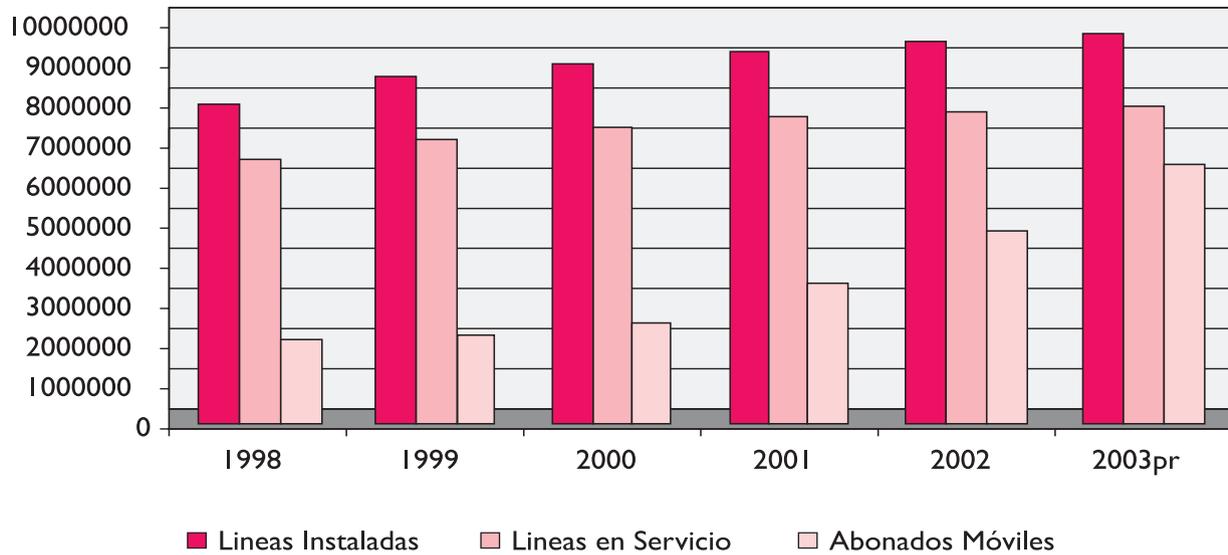
Para el año 2003²⁵, el valor total de las ventas por servicio de telecomunicaciones se aproxima a \$8,6 billones (como cifra preliminar), con un crecimiento del 12,24% con relación a 2002.

- Telefonía pública básica conmutada: Conserva significativos volúmenes en ventas; desde 1998 hasta 2003 ha crecido, sin embargo, descendió en los últimos dos años. La telefonía pública básica conmutada de larga distancia nacional e internacional con una situación similar a la de la TPBCL, muestra crecimientos en sus ventas en los años en estudio con un incremento casi nulo para 2003.
- Telefonía móvil celular: Presenta buen crecimiento a partir del año 2000, con un incremento en sus ingresos operacionales de 28,88% entre 2002 y 2003, equivalentes a \$2.606.933 millones. La cantidad de usuarios se incrementó en 35% durante el mismo periodo, con un número de abonados en servicio a marzo de 2004 de 7,05 millones. El Gráfico 18 muestra el crecimiento de los abonados móviles en Colombia en los últimos años, con un incremento entre 2001 y 2003 del 89%, mientras que las líneas en servicio de la TPBC han aumentado 21% desde 1998 hasta 2003.

²⁵ Datos preliminares Cintel

GRAFICO 16

PENETRACIÓN TELEFONÍA FIJA Y MÓVIL EN COLOMBIA (MILLONES)

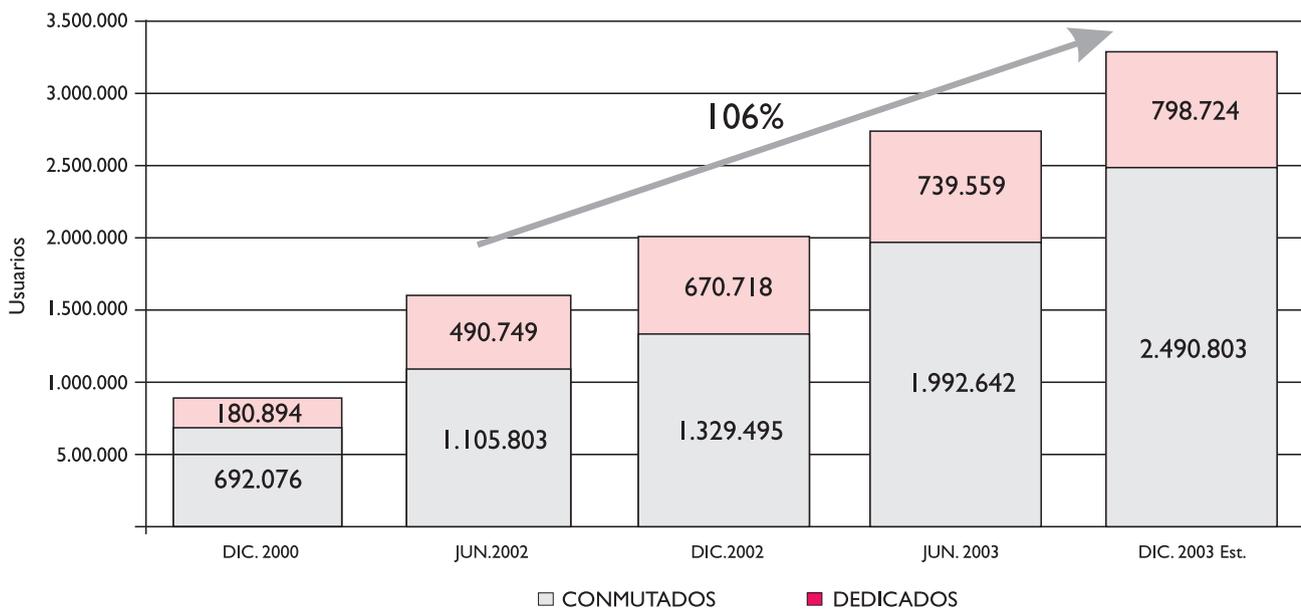


Fuente: Cintel

- Valor agregado: Aunque con menores volúmenes en ventas respecto a los servicios analizados anteriormente, muestra un crecimiento continuo en el periodo analizado, con un aumento del 21,76% para 2003, con \$895.109 millones en sus ingresos operacionales. Los gráficos 17 y 18 ilustran la evolución de los usuarios de internet entre diciembre de 2000 y junio de 2003 y el crecimiento de los computadores entre 1998 y 2003, respectivamente.

GRAFICO 17

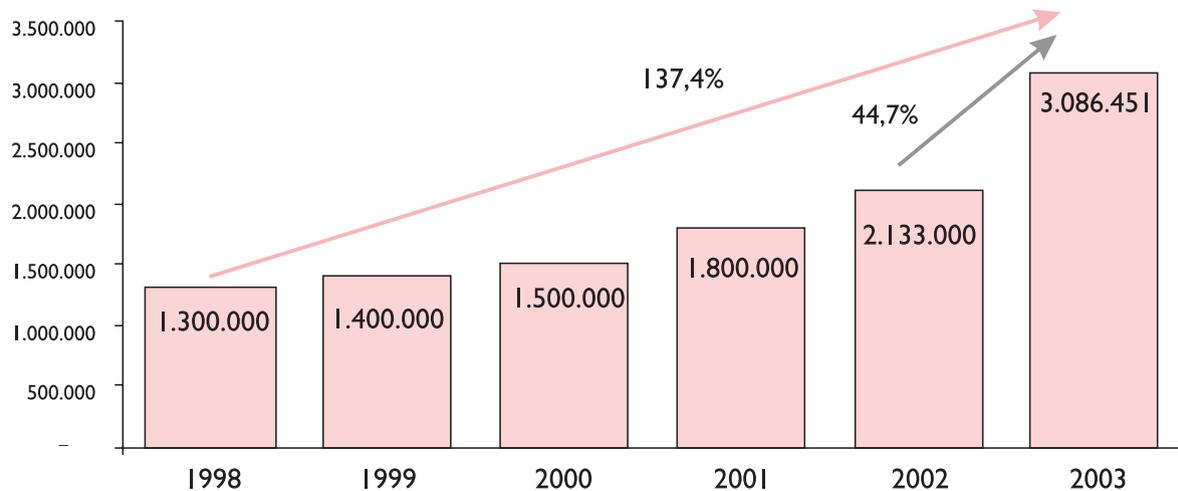
EVOLUCIÓN USUARIOS DE INTERNET (DE DICIEMBRE DE 2000 A JUNIO DE 2003)



Fuente: CRT.

GRAFICO 18

CRECIMIENTO DE COMPUTADORES EN COLOMBIA



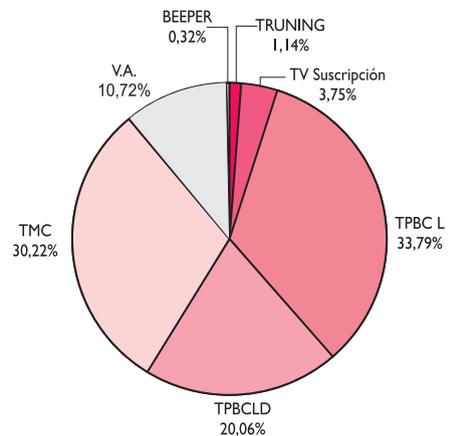
Fuente: UIT, IDC. Cálculos Ministerio de Comunicaciones

- Buscapersonas: Tuvo una variación descendente en sus tasas de crecimiento hasta del -30% en los años en estudio, sin embargo, para 2001 presentó una recuperación del 8,61%, aunque volvió a caer el año siguiente a una tasa de -11,24%; en 2003 decreció 2% aproximadamente llegando a \$34.371 millones.
- Trunking: Este servicio presenta variaciones cíclicas en los años estudiados, con un crecimiento sustancial desde el año 1997 hasta 2000 para disminuir en 2001 y 2002 a tasas del -3%; para 2003 presentó un leve crecimiento del 1,63% para ingresos por \$101.112 millones.
- Televisión por suscripción: Su crecimiento es de más del 95% desde 1998 hasta 2003.

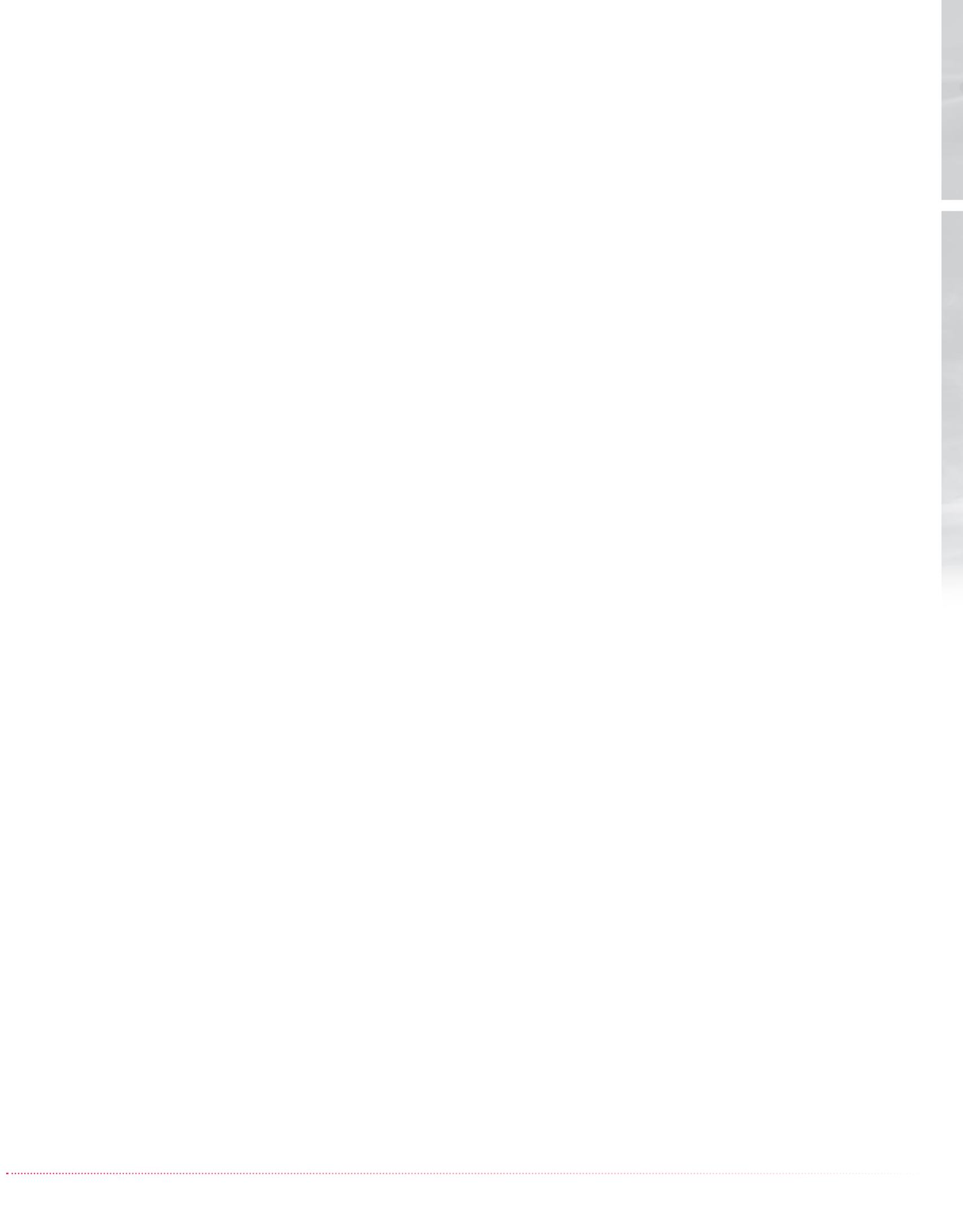
La mayor participación en este total de ventas corresponde a los servicios de voz, TPBCL (30,48%) la cual disminuyó nuevamente su participación con respecto al año anterior; la TPCBLD (23,43%) y TMC con 30,24% (que incrementó su participación en el mercado en casi 3% con respecto al año anterior). Los tres equivalen al 84,15% de la facturación total del año 2003; el 15,85% restante corresponde a los otros servicios: valor agregado (10,38%) que aumentó aproximadamente 2% su participación en el mercado, televisión por suscripción, trunking y buscapersonas (Gráfico 25).

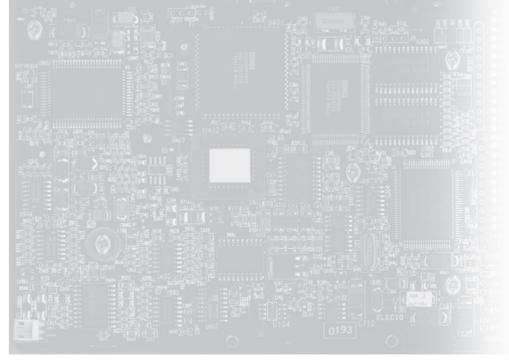
GRAFICO 19

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DEL MERCADO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA 2003



Fuente: SSPD, SS, Cálculos Cintel





CAPÍTULO III

RESULTADOS DEL PROGRAMA ETI 2004

RESULTADOS DEL PROGRAMA ETI 2004

A. INDICADORES DE CAPACIDAD Y FORTALECIMIENTO

En los últimos años las actividades del Programa ETI se desarrollaron de acuerdo con el Plan Estratégico 1997-2002 (que realmente abarcó hasta el 2004), en donde se definieron la misión, la visión, los objetivos con metas y las actividades y líneas estratégicas.

El objetivo general era incrementar la capacidad y la actividad de investigación y desarrollo en electrónica, telecomunicaciones e informática y favorecer un clima adecuado para el mejoramiento de los sectores productivos colombianos donde estas tecnologías inciden.

Las líneas de acción se definieron en los siguientes objetivos específicos:

- Constituir una masa crítica de ingenieros e investigadores, suficiente para atender permanentemente el avance científico y tecnológico en las diferentes áreas especializadas derivadas de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática.
- Lograr una constante actualización del conocimiento de la electrónica como tecnología matriz, asunto indispensable para garantizar un verdadero desarrollo de todas las tecnologías alrededor de ésta y de las telecomunicaciones y la informática.
- Lograr con la contribución de actividades de investigación y desarrollo, la expansión y fortalecimiento

de la infraestructura nacional de información que el país requiere en el siglo XXI.

- Lograr el desarrollo de los sectores productivos y de la industria nacional alrededor de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática, favoreciendo especialmente la producción de electrónica de alto valor agregado y la consolidación y fortalecimiento de la industria del software nacional para hacerla altamente competitiva a escala internacional.
- Contribuir desde la investigación y el desarrollo de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática, con el robustecimiento y progreso de sectores de gran importancia para el país, particularmente educación, salud, medio ambiente y agro.

A continuación se muestran algunos indicadores relacionados con los Grupos y Centros de Investigación, fortalecimiento del recurso humano, proyectos financiados, Centros de Desarrollo Tecnológico e incentivos tributarios otorgados.

I. Grupos y Centros de Investigación

De acuerdo con los resultados de reconocimiento de grupos del 29 de septiembre de 2004, de los 3.473 grupos registrados en GrupLAC, había 3.395 en los 11 programas nacionales de Ciencia y Tecnología, de los cuales 1.445 fueron reconocidos como grupos de investigación y de estos 76 pertenecen al Programa ETI.

Cuadro 21

DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS REGISTRADOS Y RECONOCIDOS EN GRUPLAC POR PROGRAMAS NACIONALES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA					
No.	Programas	Principal	Secundario	Ambos	Reconocidos
1	Biotecnología	89	121	210	39
2	Ciencia y Tecnología de la Salud	436	203	639	194
3	Ciencia y Tecnología del Mar	52	22	74	23
4	Ciencia y Tecnologías Agropecuarias	191	128	319	71
5	Ciencias Básicas	426	380	806	221
6	Ciencias Sociales y Humanas	1.087	550	1.637	482
7	Ciencias del Medio Ambiente y el Hábitat	288	312	600	118
8	Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad	243	408	651	78
9	Electrónica, Telecomunicaciones e Informática	234	132	366	76
10	Estudios Científicos de la Educación	258	479	737	91
11	Investigaciones en Energía y Minería	91	58	149	48
	No aplica	78	548	626	4
	Total	3.473	3341	6.814	1.445

Fuente: Colciencias

Los grupos reconocidos ETI están concentrados en el Distrito Capital, Antioquia, Santander, Valle del Cauca y Cauca (Cuadro 22).

Cuadro 22

GRUPOS RECONOCIDOS POR DEPARTAMENTO	
Departamento	No. de grupos reconocidos
Distrito Capital	23
Antioquia	13
Santander	8
Valle del Cauca	8
Cauca	5
Norte de Santander	4
Atlántico	3
Caldas	3
Córdoba	3
Risaralda	3
Bolívar	1
Magdalena	1
Quindío	1
Total	76

Fuente: Colciencias

2. Resumen de proyectos financiados 1991 – 2004

Desde 1991 hasta finales del 2004, se han financiado proyectos cuyos objetivos son:

- Generar conocimiento y fortalecer grupos de investigación y desarrollo.
- Fortalecer empresas de base tecnológica en electrónica, telecomunicaciones e informática.
- Apoyar sectores estratégicos y generación de contenidos.

Las modalidades de financiación empleadas por los 230 proyectos financiados por el Programa son: recuperación contingente, cofinanciación, reembolso obligatorio (directo con Colciencias, Línea IFI-Colciencias, Línea Bancoldex-Colciencias).

a. Generar conocimiento y fortalecer grupos de investigación y desarrollo

Hasta la fecha hay 62 proyectos financiados a grupos de investigación y desarrollo a través de la línea de recuperación contingente con los siguientes aportes:

Colciencias	\$4.381.264.000
Contrapartida	\$8.830.632.000
Total	\$13.211.896.000

Fuente: Colciencias

b. Fortalecer empresas de base tecnológica en electrónica, telecomunicaciones e informática

Mediante cofinanciamiento se han apoyado 39 proyectos de grupos de investigación y desarrollo:

Colciencias	\$4.365.563.000
Contrapartida	\$5.580.951.000
Total	\$9.946.514.000

Fuente: Colciencias

c. Fortalecer empresas de base tecnológica en electrónica, informática y telecomunicaciones

A través de la línea de crédito se han financiado 65 proyectos empresariales y para este sector se han aprobado 104 proyectos en total.

Colciencias	\$18.020.967.000
Contrapartida	\$12.082.838.000
Total	\$30.103.805.000

Fuente: Colciencias

d. Apoyar sectores estratégicos y generación de contenidos

Mediante tres convocatorias realizadas por Colciencias en convenio con el Ministerio de Comunicaciones han sido financiados 64 proyectos a grupos de investigación y desarrollo:

Convenios	\$7.030.000.000
Contrapartida	\$6.693.000.000
Total	\$13.723.000.000

Fuente: Colciencias

Cuadro 23

PROYECTOS Y ÁREAS FINANCIADAS	
Áreas	No. proy.
Educación	19
Salud	16
Agrario	7
Medio ambiente	2
Discapacidad	8
Telecomunicaciones	12
Total	64

Fuente: Colciencias

Cuadro 24

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA PARA LOS PROYECTOS DE LAS CONVOCATORIAS CON EL MINISTERIO DE COMUNICACIONES	
Departamento	No.
Amazonas	1
Antioquia	8
Atlántico	1
Caldas	4
Cauca	7
Cundinamarca	23
Meta	2
Risaralda	1
San Andrés y Providencia	1
Santander	9
Tolima	1
Valle	6
Total	64

Fuente: Colciencias

Cuadro 25

TOTAL DE PROYECTOS FINANCIADOS POR EL PROGRAMA ETI (MILLONES DE PESOS)			
Periodo	No.	Monto financiado	Porcentaje
91-96	52	5.143,32	15
97-04	178	28.654,68	85
Total	230	33.798,00	100

La contrapartida de estos 230 proyectos fue de \$33.187 millones, para un valor total de los proyectos de \$66.985 millones.

3. Convenios especiales de cooperación con el Ministerio de Comunicaciones (Fondo de Comunicaciones)

- Primer convenio: Telecomunicaciones. Invertidos \$2.000 millones en proyectos de investigación y desarrollo para 15 grupos de investigación en diferentes regiones del país
- Segundo convenio: Electrónica, telecomunicaciones e informática aplicadas a educación y salud. Invertidos \$1.462 millones en 15 proyectos de investigación en herramientas y redes para educación y salud en diferentes regiones del país.
- Tercer convenio: Electrónica, informática y telecomunicaciones aplicadas a los sectores salud, educación, agropecuario, medio ambiente y discapacidad. Invertidos \$3.600 millones para grupos de distintas regiones del país.

4. Centros de Desarrollo Tecnológico

En el Programa ETI, se ha impulsado la consolidación de propuestas para la creación de centros de desarrollo tecnológico. Hasta el momento hay tres:

- Centro de Investigación en Telecomunicaciones (Cintel), creado el 18 de diciembre de 1991.
- Centro de Apoyo a la Tecnología Informática (Cati), creado desde 1997.
- Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria Electro, Electrónica e Informática (Cidei), creado en 2001.

5. Formación de recursos humanos e incentivos

A través de las convocatorias realizadas desde 1992, Colciencias ha financiado 846 estudiantes de doctorado, maestrías y D. E. A. (Diplomé des études et approfondité), como se muestra en los cuadros 26 y 27. En el área de electrónica, telecomunicaciones e informática han sido financiados 53 becarios (44 estudiantes de doctorado y 9 de maestría), lo que corresponde al 6,26% del total financiado.

Cuadro 26

ÁREAS Y BECARIOS DEL PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
Programa Nacional de Ciencia y Tecnología	Becarios	Porcentaje
Biotecnología	26	3,07
Ciencia y Tecnología Agropecuaria	50	5,91
Ciencia y Tecnología de la Salud	97	11,47
Ciencia y Tecnología del Mar	20	2,36
Ciencias Básicas	285	33,69
Ciencias del Medio Ambiente y el Hábitat	58	6,86
Ciencias Sociales y Humanas	107	12,65
Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad	101	11,94
Electrónica, Telecomunicaciones e Informática	53	6,26
Estudios Científicos de la Educación	14	1,65
Investigaciones en Energía y Minería	35	4,14
Total general	846	100,00

Fuente: Colciencias

Cuadro 27

DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIARIOS POR AÑO DE CONVOCATORIA		
Año	Beneficiarios	Beneficiarios ETI
1992	55	7
1993	89	10
1994	51	1
1995	121	8
1996	126	5
1997	176	15
2000	8	1
2001	9	0
2002	138	6
2003	73	0
Total	846	53

Fuente: Colciencias

Las áreas de formación con mayor porcentaje de becarios son Informática y Ciencias de la Computación con 28,30%, Ingeniería Eléctrica y Electrónica 16,98% y Robótica y Cibernética con 9,43%. Otras que cuentan con becarios financiados por Colciencias son: Automática e Informática Industrial, Bioingeniería, Robótica, Cibernética, Inteligencia Artificial, Mecánica

Computacional, Microelectrónica, Pensamiento Crítico de Sistemas, Sistemas de Información, Telecomunicaciones, Tratamiento de Señales, Ciencias del Conocimiento.

Otros programas mediante los cuales Colciencias ha estimulado el contar con recurso humano de alto nivel en el país son: Retorno de Investigadores, Movilidad de Investigadores y el Programa de Jóvenes Investigadores, en el cual se ha financiado desde 1995 hasta el 2003 un total de 1.144 personas (Cuadro 28). De igual manera, los estímulos también se aplican en forma de exenciones tributarias (cuadros 29, 30 y 31)

Cuadro 28

ÁREAS Y NÚMERO DE INVESTIGADORES FINANCIADOS (1995 – 2003)		
Programa de Ciencia y Tecnología	No. de Jóvenes Investigadores	%
Biotecnología	46	4,0
Agropecuaria	228	19,9
Educación	36	3,1
Salud	194	17,0
ETI	40	3,5
Medio Ambiente	71	6,2
Sociales	194	17,0
Industria	106	9,3
Energía y Minería	65	5,7
Mar	20	1,7
Básicas	144	12,6
Total	1.144	100,0

Fuente: Colciencias

Cuadro 29

CANTIDAD Y MONTO DE SOLICITUDES CALIFICADAS PARA EXENCIÓN DE IVA (EN DÓLARES)		
Año	No. proyectos	Monto total
2001	6	693.727
2002	5	233.191
2003	4	318.236
2004	10	121.441
Total	25	1.366.595

Fuente: Colciencias

Cuadro 30

PROYECTOS ETI CALIFICADOS PARA ESTÍMULOS TRIBUTARIOS POR INVERSIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA 1993-2004		
Año	No. de proyectos	Monto aprobado (millones de pesos corrientes)
1997	13	3.415
1998	15	2.764
1999	42	18.001,25
2000	17	5.752
2001	11	31.105
2002	13	7.488
2003	8	2.058
2004	12	3.125
Total	131	73.709

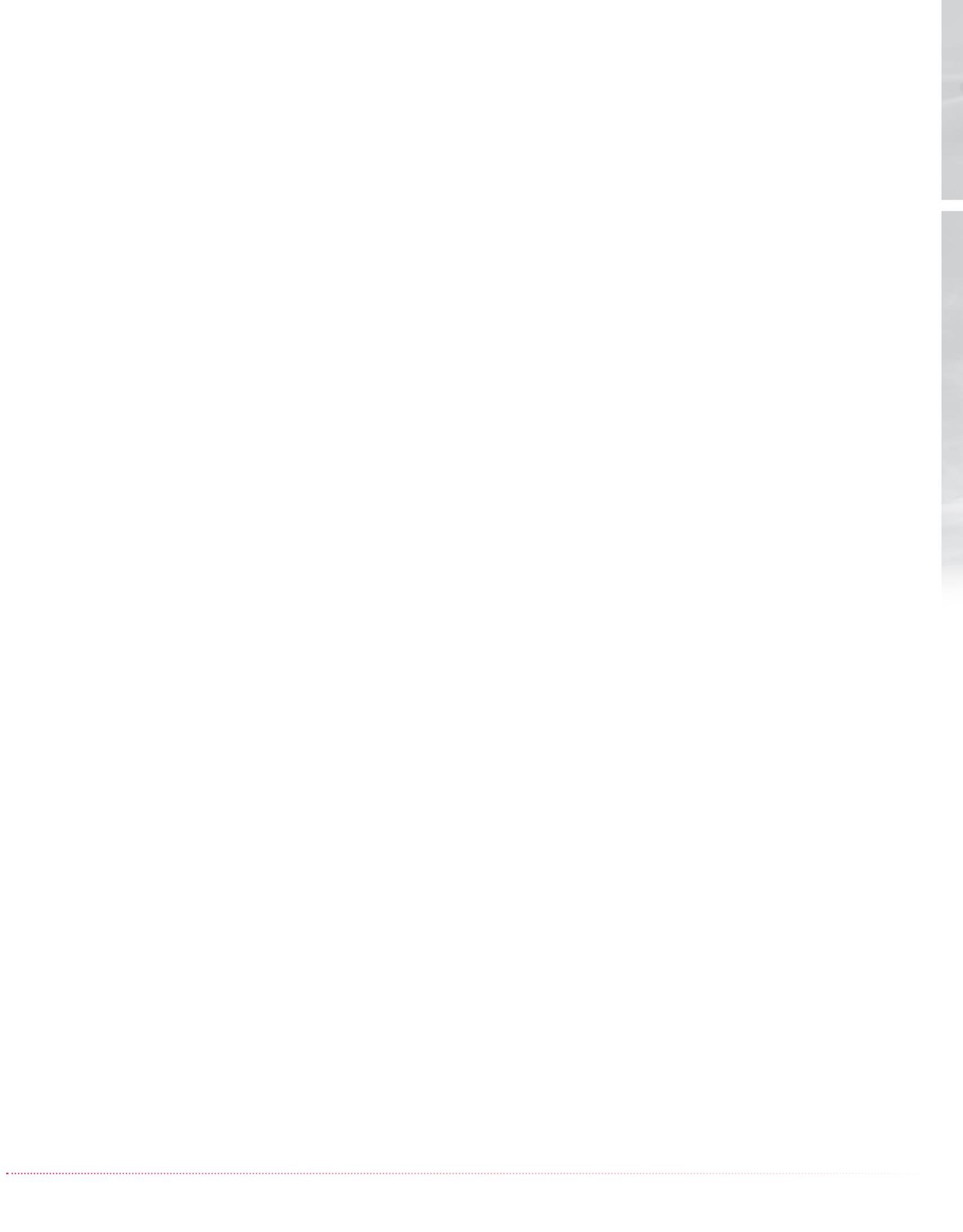
Fuente: Colciencias

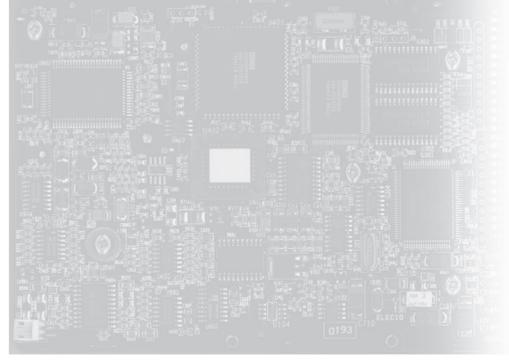
Cuadro 31

SOFTWARE CALIFICADO PARA EFECTOS DE EXENCIÓN DE RENTA ^{1/}	
Estado solicitudes	No.
Aprobados	16
Negados	4
En trámite	17
Total	37

^{1/} Ley 788 dic 27/02 y Decreto 2755 de sept. 30/03)

Fuente: Colciencias





CAPÍTULO IV

LÍNEAS ORIENTADORAS EN ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES

LÍNEAS ORIENTADORAS EN ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES

A. ELECTRÓNICA

Una vez realizado un análisis del estado actual de los principales involucrados en la investigación, desarrollo e innovación en el campo de la electrónica, como la academia y la industria nacional, y conocer las tendencias mundiales, se presentarán algunos lineamientos sobre actividades y prioridades en investigación, desarrollo tecnológico e innovación para la electrónica en Colombia (García, 2004).

I. Investigación y desarrollo

a. Electrónica inalámbrica

1) Electrónica de radiofrecuencia

El incremento en las aplicaciones inalámbricas de los últimos años ha llevado a un relanzamiento de las tecnologías de electrónica de radiofrecuencia (RF), aplicadas a escala de circuitos integrados para hacerlas compatibles con las tecnologías de integración CMOS submicrónicas, o implementarlas en tecnologías nuevas basadas en el uso de materiales semiconductores diferentes al silicio. Son claro ejemplo

de esta línea de trabajo los circuitos integrados para telefonía celular, las redes inalámbricas o los dispositivos de identificación RF, en las bandas entre 800 MHz y 100 GHz.

Por otra parte, debe incentivarse en la academia el trabajo con dispositivos basados en materiales compuestos, fundamental en frecuencias por encima de los 10 GHz, los dispositivos tales como los HEMT (*High Electron Mobility Transistor*), MHMET (*Metamorphic High Electron Mobility Transistor*), o HBT (*Heterojunction Bipolar Transistor*), fabricados en SiGe o AlGaIn, puesto que dadas las características de frecuencia y potencia necesarias para las aplicaciones inalámbricas, son la base del diseño.

2) Sistemas mixtos análogo-digitales

El diseño sobre un mismo sustrato de circuitos analógicos y digitales de altas prestaciones continúa siendo un campo de investigación y desarrollo, debido a la “incompatibilidad” que dichas aplicaciones tienen. El ruido inducido por los sistemas digitales sobre circuitos análogos de bajo ruido, operados con voltajes entre 1 y 2V de alimentación, plantea retos no solo en el tipo de materiales que se deben usar sino también en nuevas técnicas de diseño.

3) Sistemas de energía

El suministro de energía confiable y limpia es también una de las grandes preocupaciones de los sistemas electrónicos actuales, especialmente para todos los equipos portátiles, para los sistemas inalámbricos y muy especialmente para el desarrollo de sistemas y microsistemas embebidos. Esto plantea retos en el manejo óptimo de las fuentes existentes (baterías y microbaterías) y en la búsqueda de alternativas energéticas.

En la exploración de nuevas fuentes de energía integrables a microsistemas o SoC hay un campo de investigación de gran futuro en el que se contemplan baterías nucleares a base de tritium, microgeneradores nucleares, autogeneración por movimiento y sistemas de transmisión mediante radiofrecuencia de la energía para la operación de los circuitos.

Igualmente se están buscando nuevos esquemas para un suministro adecuado de energía a circuitos integrados, con módulos de manejo de potencia con los cuales se logre una provisión apropiada a las etapas de radiofrecuencia y de procesamiento, minimizando los consumos, optimizando la utilización de las fuentes de energía y evitando las interferencias a través de la fuente entre los diferentes módulos.

4) Amplificadores de potencia

En esta materia los retos giran alrededor de la etapa de potencia en las frecuencias de 800 MHz y 100 GHz como salida natural de los sistemas inalámbricos. Las tendencias están entre tener la salida de radiofrecuencia dentro de un mismo chip o llegar a tener módulos separados que realicen esta función de manera independiente, evitando los problemas de interferencias naturales generadas con otros elementos, análogos o digitales del sistema, ya sea por los altos voltajes y diferentes frecuencias generadas o por los problemas de manejo de la potencia (alimentación) en el sistema total. El reto está no solo en nuevas arquitecturas sino también nuevas tecnologías (incluyendo elementos pasivos como condensadores, inductancias y antenas) y herramientas que simplifiquen la simulación y el diseño. Respecto a las tecnologías semiconductoras en nuestro medio, es necesario un mayor trabajo en materiales diferentes a silicio, tales como SiGe o InP.

5. Microsistemas y sistemas microelectrónicos (μ -Sistemas y Mems)

Los microsistemas se destacan por su gran utilidad en múltiples campos, en especial en la agricultura, el medio ambiente y la seguridad, donde se requiere de sistemas de control de bajo costo y tamaño reducido, que permitan la captura de información y su transmisión a puntos centrales de recolección. Un ejemplo es el sistema de control de los nidos de una colonia de aves que utiliza la Universidad de Berkeley en California, conocido como "la mota" el cual contiene un procesador, memoria, sensores de humedad, de luz, de presión y de calor. Los retos implícitos en estos sistemas van desde la electrónica hasta su empaque pasando por las redes de comunicaciones inalámbricas y los SoC.

Si a estos microsistemas adicionamos elementos actuadores, como las partes mecánicas o hidráulicas, para llevarlos a ejecutar labores dinámicas, desde el punto de vista de movimiento de pequeñas masas, utilizando la tecnología Mems encontramos otro de los campos de mayor interés desde el punto de vista académico e industrial del momento. Paralelamente a la actividad de desarrollo de nuevo *hardware* se requiere del desarrollo de *software* que garantice su operación óptima.

La incorporación de complejos sistemas electrónicos va más allá de las ampliaciones anteriores y en general se puede decir que penetrarán la sociedad en todos sus niveles, lo cual requerirá en el futuro cercano de nuevas tecnologías y materiales electrónicos, que permitan implementar las funciones que hoy hacemos sobre silicio, a muy bajo costo hasta incluso hacerlos desechables. Una de las alternativas consideradas como de mayor futuro, está en la utilización de materiales orgánicos para la fabricación de los elementos de conmutación en sistemas digitales. Los llamados transistores flexibles están basados en el uso de polímeros para la fabricación de los dispositivos semiconductores, no obstante, aún tienen que enfrentar retos muy importantes como el de la velocidad de conmutación, la cual está todavía lejos de ser comparable con la de los transistores de silicio.

6) Diseño de IP A/D (propiedades intelectuales del silicio analógico/ditales)

La necesidad de incrementar la productividad del diseño, aprovechando al máximo las facilidades de producción de circuitos integrados, ha llevado a que el diseño de IP (*intelectual properties*) o VC (*virtual components*) se convierta en un área de desarrollo de mucha importancia para la electrónica, y muy especialmente en el campo de circuitos y módulos analógicos. Los diseños de tipo IP, aunque se presentan dentro de la línea de los microsistemas, por ser estos los más demandados, pueden cubrir muchas otras áreas. Estos IP son la descripción funcional –en un lenguaje de alto nivel– y física –a escala de fabricación–, de un circuito. Esta producción de IP, es una actividad de espectro globalizado de alto valor tanto tecnológico como económico, que bien puede realizarse desde nuestros países, por grupos pequeños, donde lo importante es el conocimiento. Es una labor posible de desarrollarse a distancia, y en consecuencia convertirse en un nicho de oportunidad para diseñadores de cualquier país, que pueden mercadear su producto usando las facilidades de la internet.

b. MNBIC

Los temas relacionados con esta línea de investigación están orientados al trabajo en áreas básicas y fundamentales con una expectativa de apropiación de las tecnologías y resultados a mediano y largo plazo.

Caracterización teórico-práctica de propiedades electromecánicas y térmicas de micro y nanoestructuras.. Para esto se debe montar un laboratorio interdisciplinario de caracterización microscópica al que todas las universidades tengan acceso y que cuente con microscopia de barrido, electrónica, TEM, espectroscopia, etc.

Sinterización de nanopartículas y la adherencia de proteínas a las mismas para aplicaciones de diagnóstico o tratamiento de enfermedades. La exploración de adherencia en nanoestructuras para la modificación de propiedades físicas como la absorción o repulsión de agua.

Generación de librerías para la simulación multifísica de efectos a escalas nanométricas, y exploración

de herramientas CAD para la simulación multifísica de Mems.

Acople de elementos anobios a elementos nanomecánicos y/o nanoeléctricos para la generación de dispositivos inteligentes.

c. Innovación tecnológica²⁶

1) Actualización de productos

Financiación de proyectos a la industria con el fin de actualizar con tecnologías de punta su portafolio de productos.

2) Nuevas técnicas de manufactura

Fomentar el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación y producción (por ejemplo circuitos impresos para montaje superficial), con el fin de tener más competitividad internacional.

3) Infraestructura para pruebas y ensayos

Desarrollo de laboratorios de pruebas que faciliten las homologaciones exigidas para entrar al mercado internacional.

d. Capacitación

Actualmente no hay proporción entre el número de programas de pregrado y el de posgrados que ofrecen las universidades en el país. Debe impulsarse la creación de maestrías y doctorados para fortalecer la capacidad de investigación e innovación tecnológica.

B. INFORMÁTICA²⁷

Los temas relacionados con las siguientes líneas de investigación están orientados al fortalecimiento de la generación de conocimiento y apropiación en áreas básicas y fundamentales, con una expectativa de resultados a mediano y largo plazo, y con aplicaciones inmediatas y oportunidades en el corto plazo

²⁶ García, 2004.

²⁷ Cardozo, Díaz y Rueda, 2004.

I. Complejidad estructural. **Resultados a mediano plazo**

Teoría predictiva de la construcción de *software* para poder cuantificar la complejidad de la estructura; paso importante para anticipar con mayor exactitud tiempos y recursos de desarrollo.

Buenas métricas con el fin de estimar la complejidad del *software* y de su desarrollo, las cuales son evidentes en la aplicación de tecnologías para su construcción basada en componentes.

Caracterización de técnicas de arquitecturas de componentes que puede conseguir medidas más precisas sobre la complejidad de construir las.

2. Software confiable. **Resultados a mediano plazo**

Los sistemas que se modelarán en el futuro inmediato serán masivamente concurrentes y distribuidos. Se deberán desarrollar nuevas metodologías, arquitecturas, modelos y lenguajes, y afinar sus alcances en implementaciones reales.

La construcción de *software* basado en la analogía de modelos de mercado (componentes y servicios) debe elaborar metodologías que integren formalmente desde las etapas de especificación y diseño, estrategias de tolerancia a fallas, formalización de acuerdos y compromisos entre agentes y, de manera particular, esquemas integrados de seguridad.

La seguridad es un aspecto relevante de la confiabilidad. Con el incremento en la cantidad y difusión de virus a través de internet, se han replanteado los lenguajes tradicionales de programación. La programación “basada en aspectos” es una de las respuestas a esta necesidad. El desarrollo de extensiones a lenguajes familiares, tales como Java, para ofrecer primitivas de seguridad puede ser un camino fructífero en el mediano plazo.

Se vislumbra en el mediano plazo el desarrollo de tecnologías de soporte para el diseño de sistemas efectivos de control de acceso para una aplicación. La autenticación y la verificación de autoridad son aspectos particularmente importantes en este campo, como también el desarrollo de sistemas de modelamiento de protocolos de seguridad.

Confiabilidad y privacidad, vista desde la óptica del ciudadano, es otro reto importante de mediano plazo. ¿Cuál es la correcta caracterización formal de privacidad en una base de datos pública? ¿Qué desarrollos tecnológicos pueden garantizar de manera confiable que se preserve esta privacidad?

3. Retos y oportunidades prácticas

Adaptación de las tecnologías de agentes para construir herramientas de soporte para la negociación, mantenimiento y traza automáticos de las interacciones entre componentes o servicios web. Para lograr servicios verdaderamente interactivos, su búsqueda debe basarse en la semántica de los mismos. Se requiere entonces integrar representación de conocimiento en los componentes, así como facilidades para que un componente pueda autorreconfigurarse.

Una oportunidad que puede dar frutos a corto plazo es la extensión de técnicas formales, tales como la metodología B, Z o similares, para la especificación formal de acuerdos y compromisos entre servicios web.

Construcción de herramientas para dar soporte a metodologías rigurosas de desarrollo de *software*.

Aplicación de métodos estocásticos en el desarrollo de *software* y en el aseguramiento de su calidad de tal forma que pueda ser involucrado de manera regular y natural.

4. Operación con conocimiento aproximado o incompleto. **Retos a mediano plazo**

A mediano plazo los lenguajes y las herramientas de apoyo para la construcción de *software* deberán integrar la noción de objeto y/o componente que proveen información parcial y/o aproximada. Deberán incluir también combinatorias de tales objetos que puedan establecer preferencias o inclinaciones (operaciones probabilísticas).

Los formalismos de computación (por ejemplo, cálculos de procesos) deberán, así mismo, integrar la noción de aproximación con el fin de estudiar con precisión sus propiedades. Se deberán desarrollar

metodologías de construcción de software con elementos “aproximados” y estrategias de razonamiento preciso.

Retos y oportunidades prácticas

Integrar las propuestas formales de razonamiento aproximado en herramientas de *software* que permitan construir aplicaciones.

Trabajar en mecanismos y estrategias para integrar en una aplicación componentes de *software*, sobre los que se tiene un conocimiento parcial que podrá acumularse por aprendizaje del resultado de las interacciones.

5. Solución práctica de problemas NP difíciles

Construcción de sistemas híbridos que integren dos o más técnicas de aproximación para la solución de problemas combinatorios. Por ejemplo, integración de modelos evolutivos y de restricciones o de programación lógica.

Desarrollo de nuevas técnicas “blandas” para hacer más efectivos los mecanismos de búsqueda. Por ejemplo, la inclusión de preferencias o probabilidades en los formalismos lógicos derivados de la inteligencia artificial.

Herramientas para apoyar al usuario en el ajuste de los mecanismos de búsqueda de soluciones, por ejemplo, mecanismos que provean explicaciones efectivas sobre las decisiones en un proceso de búsqueda.

Retos y oportunidades prácticas

Explorar la integración de técnicas de investigación de operaciones en los sistemas de restricciones para la solución de problemas en planeamiento, logística y asignación de recursos.

Integración de estrategias y software de soporte para la construcción incremental de soluciones a problemas NP.

Desarrollar sistemas amigables de depuración de programas para problemas NP.

6. Modelamiento computacional en biología. Retos a mediano plazo

Desarrollar formalismos computacionales que den cuenta precisa de la estructura y funcionamiento de estructuras moleculares biológicas, en diferentes contextos.

Elucidar la estructura tridimensional de moléculas biológicas. Esto conlleva la utilización de técnicas para la solución de problemas NP-difíciles.

Retos y oportunidades prácticas

- Proveer una serie de ejemplos de procesos biomoleculares sencillos transcritos en lenguajes formales, y estar en capacidad de plantear en la transcripción preguntas biológicas interesantes sobre estos modelos.
- Utilizar las analogías que esta máquina abstracta biológica plantea para modelar de manera más efectiva sistemas computacionales.

7. Asistencia remota

- Investigación de inteligencia artificial en ontologías que permita aproximarse a mecanismos de interpretación estándar de información médica, mecánica y de otros dominios. Esta interpretación permitirá el acceso remoto efectivo a información de asistencia.
- Desarrollo de dispositivos computacionales empujados capaces de comunicar a la web información vital de personas o dispositivos.

Retos y oportunidades prácticas

- Desarrollo de herramientas sofisticadas que utilicen agentes de *software* que consultan bancos de datos de tipos de problema, historial de consultas del usuario, registros de *bugs*, entre otras.
- Desarrollo de simuladores quirúrgicos que provean visualización vía web para servir a la vez de sistema de educación continua y de ayuda para intervenciones en sitios de difícil acceso.

- Construcción de herramientas de *software* de apoyo realmente efectivo a las comunidades.

8. Formas humanas de interacción. Retos a mediano plazo

- Uso de voz para interacción con la web, así como a la traducción automática de información.
- Optimización de tecnologías de reconocimiento de lenguaje natural para uso en dispositivos móviles de pocos recursos computacionales. En particular, se espera la decantación de técnicas experimentales probabilísticas para reconocimiento.

Retos y oportunidades a corto plazo

- Adaptación o construcción de interfaces de lenguaje natural que sean eficaces para formas de expresión comunes del léxico colombiano.
- Construcción de diccionarios electrónicos activos de español adaptados al léxico colombiano (como servicio web, por ejemplo) que provean interacción con diccionarios fonéticos o sistemas de ontologías en la web.
- Aplicación de la teoría de ambientes colaborativos para lograr aprendizaje específico en comunidades virtuales.

9. Búsqueda eficaz en la web. Retos a mediano plazo

- Construir un lenguaje de consulta en la web (*web query language*) realmente efectivo, que involucre técnicas de inteligencia artificial (ontologías, minería de datos). Debe permitir, además, interacción entre procesos computacionales que intercambian o utilizan servicios web.
- Definir herramientas que permitan construir servicios web de manera efectiva a partir de otros servicios o de información en la red.

Retos y oportunidades prácticas

- Desarrollo de algoritmos y técnicas para la nueva generación de búsqueda de audio e imágenes en la web.

- Desarrollos en representación de características de imágenes, aprendizaje de relaciones (o conceptos) visuales y anotación automática de imágenes, entre otros.

- Desarrollo de tecnologías para indexación de video en internet: representación estructural de contenido, clasificación e indexación por contenido, detección de eventos, agrupamiento de escenas.

10. Computación nómada. Retos a mediano plazo

- Construir “utilidades de información” para promover el entendimiento humano mediante la tecnología de la información.
- Desarrollar adecuadamente medidas para garantizar la seguridad.

Retos y oportunidades prácticas

- Desarrollo de nuevos dispositivos móviles adaptables, nuevos dispositivos empujados de computación distribuida, sistemas de redes pertinentes para ellos, tecnología de acceso basada en el habla, tecnologías inteligentes de acceso basadas en conocimiento, automatismos para tareas del día a día y nuevos métodos de adaptación.
- Desarrollo de aplicaciones e interfaces para utilización de computación en malla.

11. Problemas de infraestructura, aportes a la sociedad del conocimiento

La aplicación de la informática en la solución de problemas de interés social crea retos y oportunidades inmediatas en áreas tales como:

- Transporte: Mantenimiento de redes viales, sistemas de información de transporte.
- Telecomunicaciones: Internet; internet 2; comunicaciones inalámbricas; computación interactiva, distribuida y concurrente; computación global o ubicua.

- Salud: Internet 2, bodegas de datos, minería de datos, bioingeniería.
- Educación virtual.
- Administración pública: Gobierno en línea, voto electrónico, ontologías de gestión pública.
- Negocios electrónicos.
- Servicios web

12. Otras líneas orientadas al desarrollo tecnológico²⁸

El desarrollo tecnológico en informática, deberá fortalecer capacidades humanas y empresariales en las siguientes áreas:

- Definición de requerimientos, análisis, diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas y aplicaciones informáticas empresariales. Tecnologías y productos de los principales fabricantes: *Microsoft, IBM, Novell, SUN, Oracle, Red Hat*, etc.
- Seguridad de redes y sistemas de computación. Privacidad de la información. Auditoría de sistemas.
- Impulso a empresas y proyectos de creación de contenidos, particularmente contenidos web multiplataforma cliente (escritorio, móvil, voz, PDA, etc.). Contenidos multimedia. Contenidos cultural, educativo, y de entretenimiento.
- Impulso a empresas y/o centros de consultoría, diseño, *outsourcing*, prueba, y certificación de productos y servicios de software.
- Desarrollo de competencias y familiaridad con movimientos de estándares, *software* libre, y código abierto, y búsqueda de la participación en proyectos de interés. Estándares de calidad de *software*.

C. TELECOMUNICACIONES Y TELEMÁTICA²⁹

A continuación se presenta la propuesta sobre cuáles deberían ser las líneas orientadoras de investigación, desarrollo e innovación, para promover el avance del sector colombiano de las telecomunicaciones durante los próximos seis años (2004-2010).

I. IP

A lo largo de este documento se ha presentado la importancia de *IP* en las redes futuras. De hecho, este es el protocolo elegido para ser empleado en la arquitectura de las redes de nueva generación. El estudio de la nueva versión de *IP* es clave para garantizar la evolución de las redes; proporciona elementos importantes relacionados con seguridad, autoconfiguración, movilidad, *QoS*, *multicast*, etc.

a. Banda ancha

La demanda creciente que experimentará la banda ancha en el mercado colombiano, según se muestra en la gráfica siguiente, hace que cada vez cobre más importancia el estudio de tecnologías innovadoras que permitan ofrecer a los usuarios valor agregado a los servicios tradicionales prestados en redes de cable y ADSL. Como se ha presentado en este documento, las características de *WiFi* y *WiMax* las hacen atractivas para operadores y prestadores de servicios. El impacto que pueden tener justifica la importancia de su estudio con el fin de permitir, entre otras, movilidad, ubicuidad, transparencia, calidad de servicio, gestión y seguridad en los futuros sistemas inalámbricos. El mismo caso ocurre con la propuesta de *PLC* (*power line carrier*) que permite accesos banda ancha, con la infraestructura existente de las líneas de poder.

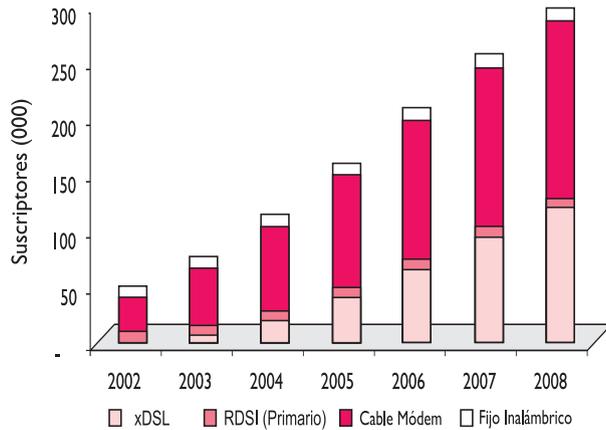
Igual importancia tiene el estudio de protocolos para el acceso banda ancha, por ejemplo la nueva propuesta *Ethernet PON* en donde se examinan nuevos algoritmos para garantizar calidad para prestar voz, datos y video sobre *Epon* y *Gpon*.

²⁸ Correa, 2004.

²⁹ Cintel, 2004.

GRAFICO 21

SUSCRIPTORES DE BANDA ANCHA POR
TECNOLOGÍA DE ACCESO EN COLOMBIA
(2002-2008)



Fuente: Cintel-Pyramid Research, PNUD-CRT

b. Nuevas tecnologías cuyo propósito sea la optimización del espectro

La optimización en el uso del espectro es uno de los objetivos principales de los gobiernos y los operadores. Todas las iniciativas tecnológicas tendientes a promover su uso eficiente, como nuevas técnicas de modulación y codificación, antenas inteligentes, redes en malla, redes de banda ultraamplia *UWB*, uso de protocolo IP móvil, etc. deberían hacer parte de las líneas orientadoras de investigación en el país.

c. Nuevas tecnologías cuyo propósito sea la optimización de recursos, la calidad y la seguridad

La optimización de la infraestructura existente y el uso de tecnologías que permitan ofrecer servicios multimedia y aplicaciones en tiempo real en las redes de telecomunicaciones, garantizando seguridad y calidad, cobran cada vez más importancia. Las nuevas propuestas como *DiffServ* y *MPLS* que permiten gestión e ingeniería de tráfico respectivamente, deberían convertirse en uno de los principales temas de estudio para los proveedores de servicio. Otros asuntos importantes que deberían ser objeto de estudio son los nuevos mecanismos para el tratamiento de calidad en redes de acceso tanto cableadas como inalámbricas.

Igual importancia debería darse al estudio de protocolos que permitan la nueva oferta de servicios asegurando la máxima eficiencia, como por ejemplo los nuevos desarrollos alrededor de *Ethernet*, *Sonet/SDH* y *GMPLS/MPLS* que proveen economía a través de una gestión integrada.

d. Redes de tercera y cuarta generación

Las exigencias de roaming mundial, los nuevos servicios móviles multimedia y acceso a internet de alta velocidad que serán demandados por los suscriptores celulares, requieren la actualización de las redes móviles. Estos son algunos de los dinamizadores que exigen capacitación de los agentes del sector, de tal manera que se garanticen las mejores metodologías de planeación y despliegue de las redes de tercera generación.

Es importante resaltar que los agentes implicados son: el gobierno con políticas que promuevan la migración de las actuales redes móviles (asignación de espectro, definición de concesiones, etc.); los operadores quienes deben garantizar las actualizaciones tecnológicas en las redes y el acondicionamiento de contenidos y aplicaciones; los fabricantes de equipos quienes proveen la infraestructura de las redes de transporte, acceso y terminales, y los fabricantes de software de aplicaciones, plataformas y servicio, proveedores de servicios de internet inalámbrico y contenidos digitales quienes interactúan en todos los eslabones de la cadena de valor de las comunicaciones móviles.

La investigación de las tecnologías para la integración de las redes móviles e inalámbricas para la migración a la cuarta generación, debería hacer parte de las líneas orientadoras del plan estratégico.

e. Gestión de redes y del servicio

Estudios cuyo objetivo sea la optimización de la gestión de redes y servicios deberían también considerarse dentro del plan estratégico en el área de telecomunicaciones, por ser estos los que garantizan la provisión exitosa de los nuevos servicios que serán demandados en las redes futuras. Tratamiento de fallas, control de congestión, metodologías para planeación y expansión de las redes, gestión de configuración, gestión de desempeño, gestión de seguridad, gestión de contenido y datos, gestión de calidad de

servicio, gestión de VPN y servicios empresariales IP, son algunas de las actividades que permiten garantizar los acuerdos en diferentes niveles de servicio, indispensables en el escenario de las redes de nueva generación.

f. Redes ópticas

Aunque la aplicación de las nuevas tecnologías de conmutación óptica no sea uno de objetivos de los operadores en el mediano plazo, y la optimización de la red de transmisión de este tipo puede no resultarles a los operadores en el corto o mediano plazo debido a la gran capacidad instalada en las redes colombianas, las tendencias tecnológicas en el transporte óptico (v.g. NGS, DWDM, IP/Ethernet sobre WDM, GMPLS, etc.) se impondrán en un futuro. Estas abren grandes campos de investigación como se presentó a lo largo de este documento. Sería importante que el sector académico se involucre en el estudio de dichas tecnologías.

g. Líneas relacionadas con otros campos

Como ya se dijo, las tendencias en el sector de telecomunicaciones se deben estudiar tomando como referencia su convergencia con las tecnologías de la información, electrónica y contenidos. Aunque estas tres últimas no son objeto de este estudio, a continuación se presentan algunos temas de interés que podrían considerarse en el Plan como orientadoras para los sectores de la electrónica y la informática, respectivamente:

- **Potencia:** Los futuros sistemas móviles e inalámbricos exigen la optimización del consumo de energía, por esta razón, nuevas propuestas tecnológicas relacionadas con este propósito deberían ser consideradas dentro del Plan.
- **Seguridad:** Su importancia tanto en redes cableadas como inalámbricas debería ser otro tema de estudio dentro del Plan Estratégico, por ejemplo, nuevas técnicas de codificación, autenticación, cortafuegos (*firewalling*), detección de intrusos, etc.

A continuación se mencionan otros temas importantes relacionados con el sector de las telecomunicaciones:

- **Regulación:** Las nuevas tecnologías en telecomunicaciones como por ejemplo el protocolo IP dinámico de la convergencia de redes y servicios; la asignación eficiente del espectro y la migración a la tercera generación, implican revisiones a la regulación actual. La definición de nuevos lineamientos y políticas regulatorias son claves para el fomento del futuro entorno tecnológico.
- **Nuevos servicios, aplicaciones y desarrollo de contenidos:** La infraestructura en telecomunicaciones cobra sentido en la medida en que existan aplicaciones que la exploten. El fomento al desarrollo de servicios, aplicaciones y contenidos que permitan incrementar la productividad del sector es indispensable para el país.
- **Gestión del negocio:** Los procesos y actividades relacionadas con las empresas del sector, mejoras y automatización, etc. tendientes a garantizar la gestión del negocio, deberían ser temas de investigación, de tal manera que permitan incrementar la productividad.

D. CONVERGENCIA Y TRANSVERSALIDAD

I. Retos³⁰

Teniendo como objetivo general el desarrollo económico y social del país en condiciones de igualdad de acceso y oportunidad para todos, así como las características propias de las tecnologías de información y comunicaciones, se pueden identificar los siguientes cinco retos para el Programa ETI, y el país en general.

- Manejo de la convergencia y velocidad de cambio de las tecnologías en electrónica, telecomunicaciones e informática.
- Desarrollo de recursos humanos calificados en la creación, uso, gestión, y mercadeo de altas tecnologías.
- Incremento del nivel de innovación nacional.
- Generación de empresas de base tecnológica.
- Minimización de la brecha digital.

³⁰ Correa, 2004.

2. Convergencia, *software*, nanotecnología y velocidad del cambio

La convergencia de diferentes disciplinas en el análisis y abordaje de problemas tecnológicos actuales, requiere la colaboración de las diferentes tecnologías en electrónica, telecomunicaciones e informática para su solución. Estas incluyen: a) *hardware* o equipos microelectrónicos; b) *software* y otra tecnología informática, y c) conectividad a redes de telecomunicaciones, principalmente internet.

El *software* se ha tornado en elemento central de las aplicaciones de electrónica, telecomunicaciones e informática, por ser el instrumento que une las diferentes partes de un sistema y define su funcionalidad. Aunque al hablar de desarrollo de *software* se piensa en primera instancia en programadores, las actividades de generación de requerimientos, diseño, codificación y pruebas exigen cierto nivel de conocimientos del tema propio de la aplicación desarrollada (en ingeniería, comercio, finanzas, medicina, ciencia, etc.). En el caso del *software* embebido, por ejemplo, es necesario un conocimiento detallado del *hardware* en el cual se ejecutará la aplicación.

Se requiere entonces, experiencia en ingeniería de *software* y cierto grado de familiaridad con la disciplina de las aplicaciones que se desarrollan. Una alternativa, principalmente en la realización de prototipos de aplicaciones, son los profesionales con formación en la disciplina requerida (e.g., medicina o ingeniería) con formación secundaria o autodidacta en desarrollo de *software* que se desempeñan como programadores.

La creación de aplicaciones en electrónica, telecomunicaciones e informática demanda competencia primaria en una de estas tres tecnologías y cierto grado de familiaridad con las otras dos. Adicionalmente requiere, en empresas y grupos nacionales de investigación, conocimiento multidisciplinario del tema de las aplicaciones desarrolladas, y competencia en el desarrollo de *software* y sistemas complejos.

Los siguientes son ejemplos de aplicaciones convergentes de amplia relevancia en el mercado y para el país:

- Internet y sus aplicaciones
- Telefonía y voz sobre protocolo *IP*
- Sistemas de comunicaciones y redes inalámbricas
- Automatización y negocios electrónicos
- Dispositivos de electrónica del consumidor

Aunque no se lista explícitamente la microelectrónica en las aplicaciones anteriores, esta es básica en cada una de ellas, particularmente para atender los requerimientos del país, los cuales incluyen equipos sencillos de bajo costo, con fuentes de energía y posibilidad de operación continua en zonas rurales y lugares remotos, y con capacidad de operación confiable aún con la presencia de fallas. Países como India están desarrollando exitosamente aplicaciones de microelectrónica para atender las necesidades de países en vías de desarrollo.

A la cantidad de conocimientos requeridos para la creación de aplicaciones de electrónica, telecomunicaciones e informática, debemos sumar la velocidad del cambio tecnológico y la incertidumbre acerca de cuáles tecnologías sobrevivirán en el futuro. Como ejemplos de esta velocidad de cambio e incertidumbre se pueden citar la rapidez en el surgimiento y obsolescencia de estándares, y la evolución anticipada en las próximas dos décadas en la tecnología de dispositivos microelectrónicos.

La fabricación de dispositivos de silicio está llegando a sus límites físicos, y nuevas ciencias como la nanotecnología son importantes alternativas. Estas alternativas se basan en nueva investigación en ciencias fundamentales, y requieren montajes experimentales costosos de replicar. Al ser ciencias recientes, la inversión es una proposición de alto riesgo, pero con potencial de retornos elevados.

El primer reto para el Programa ETI es impulsar la competencia y experiencia dentro de los grupos de investigación y las empresas del sector, en la aplicación conjunta de tecnologías de electrónica, telecomunicaciones e informática y promover nuevas áreas de ciencias fundamentales para la creación de sistemas electrónicos complejos, como los mencionados antes. La velocidad del cambio y la incertidumbre solo acentúan el reto. El Programa debe determinar la disponibilidad de investigadores nacionales con experiencia en los nuevos campos, como la nanotecnología, y las posibilidades de incursionar en su investigación.

3. Desarrollo de recursos humanos calificados en altas tecnologías

A pesar del excelente nivel de los profesionales colombianos, comparado con el de sus pares de otros países latinoamericanos, el segundo reto que las tecnologías de información y comunicaciones presentan para Colombia es incrementar el recurso humano capacitado en la creación, uso, gestión y mercadeo de altas tecnologías, en particular las de electrónica, telecomunicaciones e informática. Es necesario revisar el estado actual de los indicadores de recursos existentes, fijar metas alcanzables según las necesidades y posibilidades del país, y trazar estrategias para su formación. Esfuerzos anteriores de Colciencias, la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (Acac), y el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (Ocyt) han desarrollado indicadores de recursos humanos en ciencia y tecnología e invención que muestran el panorama del país.

Un indicador útil al abordar este tema es la demanda estimada presente y futura, tanto numérica como cualitativamente. No obstante, no existe hasta el momento en el país, un indicador confiable para dicho propósito, que obviamente es central al formular planes de formación para cualquier sector. El indicador de demanda laboral es importante, ya que una objeción común a planes de formación son los altos índices de desempleo y subempleo de profesionales, y más programas solo contribuirán a incrementar el problema y el éxodo de estos. Es una situación clásica que la intervención acertada de un programa de ciencia y tecnología como el ETI puede ayudar a sortear.

De hecho, un estudio reciente de la compañía estadounidense *IDC* comisionado por *Cisco Systems* expresa que en el contexto de países latinoamericanos, no se completan los proyectos de tecnología informática por escasez de personal calificado. Según el estudio, en Argentina, Brasil, Chile, México, y Venezuela la demanda de trabajadores en informática es entre dos y tres veces superior a la oferta. Así, en México, país con 103 millones de habitantes, existe una demanda de 182.000 trabajadores en tecnología informática, y una oferta de tan solo 63.000, lo que genera un déficit de 119.000 trabajadores. Adicionalmente, en el caso de México, un 50% de los proyectos en informática son liderados por personal estadounidense. Las universidades, a su vez, producen graduandos, de los cuales solo el 8% está capacitado en informática (*Cisco-IDC, 2004*).

La situación presente en Colombia no es muy diferente. Salvo en casos contados en las principales empresas, los proyectos de electrónica, informática, y telecomunicaciones son hechos con productos y servicios importados; en el país apenas se realizan las etapas de menor requerimiento tecnológico y valor agregado como el mercadeo y ventas técnicas, la instalación, configuración, mantenimiento, y operación de los sistemas. Los procesos más críticos, costosos, y de mayor valor agregado como la consecución de requerimientos, el análisis, diseño, desarrollo y la prueba de aplicaciones o sistemas, son a menudo realizados por multinacionales, que lo llevan a cabo con personal foráneo, y más recientemente por *outsourcing* con empresas especializadas del sector, por lo general extranjeras.

El país ha progresado notablemente en indicadores de educación en este tipo de tecnologías, como el número de programas universitarios y de ingenieros profesionales matriculados y graduados por año. A finales de 2004, según el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior, existían los siguientes programas:

Pregrados: 109 en ingeniería electrónica, 13 en ingeniería electrónica y de telecomunicaciones, 12 en ingeniería de telecomunicaciones y 16 en ingeniería telemática y teleinformática.

Maestrías: 6 en ingeniería electrónica y 4 en telecomunicaciones y telemática.

Doctorados: 4 con énfasis en ingeniería electrónica y 1 con énfasis en telecomunicaciones

Las cifras anteriores, elevadas en el caso de pregrados, incluyen programas por diferentes convenios, en modalidades diurna y nocturna, y en diferentes sedes de la misma entidad universitaria.

El incremento en el número de programas universitarios en tecnologías ETI, particularmente en electrónica y telecomunicaciones, ha resultado en un aumento importante y muy satisfactorio en los últimos diez años, de profesionales en esos dos campos. En el censo de 1987, *Asesel* mostró que 110 empresas empleaban algo más de 3.000 personas en total, con 30% de ellas (900) ingenieros electrónicos. La cantidad de ingenieros se cuadruplicó aproximadamente hacia el año 2000. Por otro lado, estudios anteriores, de mediados de la década de los noventa, señalan que 4.500

ingenieros de *software* practican la profesión en el país (Acis, 1995; Correa, 1997). Dado el menor número de programas de ingeniería de sistemas y computación, el crecimiento en ingenieros de *software* es menor.

El incremento de profesionales de electrónica y telecomunicaciones es satisfactorio, sin embargo, son principalmente de pregrado. Otros indicadores, como el número de investigadores y posgraduados en el país (maestrías y doctorados) muestran que Colombia es deficiente en ese sentido, aún cuando se compara con países de la región como Argentina, Brasil, Chile, y México, dado tal vez por la escasez en este tipo de programas. Cifras actuales del Snies, por ejemplo, indican un número total de alrededor de 1.300 profesores con doctorado en las universidades del país, en todas las especialidades (Snies, 2004). De estos un alto porcentaje es de ciencias sociales y humanas y tan solo una pequeña fracción en áreas de electrónica, comunicaciones y computación.

Según datos del Ocyt, en el año 2000, 5.429 personas se declararon investigadores, de los cuales 3.327 fueron realmente productivos durante el periodo 1996-2000 (Ocyt, 2004). El Departamento Nacional de Planeación, por otro lado, reporta un crecimiento satisfactorio de 3.840 a 4.987 investigadores entre 1996 y el 2000, un promedio del 6,7% anual (DNP, 2002). Ninguno de los números anteriores es halagüeño, pues son inferiores a los registrados en la década anterior. Según un estudio previo, los científicos e ingenieros dedicados a actividades de investigación y desarrollo en 1987 eran 5.726 (Narvárez-Berthelemot, 1994). El éxodo de colombianos profesionales durante la segunda mitad de la década de los noventa, seguramente contribuyó a su disminución en el país, contrarrestando los esfuerzos del gobierno en programas de formación de investigadores. También, es posible que diferencias en las metodologías y criterios de medición de los estudios contribuyan a la diferencia.

Las cifras anteriores muestran que Colombia ha tenido un progreso rápido en el número de profesionales en electrónica, telecomunicaciones e informática con formación de pregrado. Sin embargo, a pesar de esfuerzos realizados anteriormente, las cifras también sugieren que en la última década ha habido un retroceso en cuanto a la disponibilidad de investigadores y personal dedicado a actividades de ciencia y tecnología en general, y tecnologías ETI en particular. Las

cifras continúan siendo inferiores a las de economías más desarrolladas (Correa, 1997). Es común que una sola de las grandes multinacionales del sector, como HP, IBM, Microsoft y otras, cuente con más de 10,000 profesionales del software y la computación, y con varios cientos y hasta miles de doctores en uno solo de sus laboratorios de desarrollo³¹.

La formación de recursos especializados no es responsabilidad del Estado únicamente. Las empresas, las universidades y los centros de capacitación tecnológica son también relevantes para atender esta necesidad. Programas empresariales, programas de maestría y doctorado en las universidades nacionales, programas de formación en el exterior, y programas de capacitación tecnológica como el anterior "Proyecto Inteligente" de la Agenda de Conectividad son herramientas importantes para la formación de los recursos. Las empresas desempeñan un papel central en el desarrollo y mantenimiento de la competitividad de sus profesionales, al ser la principal fuente de aprendizaje para sus empleados en los países desarrollados. El Departamento del Trabajo en los Estados Unidos señala por ejemplo que el 80% del aprendizaje de empleados estadounidenses se da en el sitio de trabajo.

Es necesario contemplar que la formación de recursos humanos, especialmente en áreas tecnológicas, requiere un proceso continuo a lo largo de la vida de los profesionales. Cifras en los Estados Unidos indican que el 50% de las habilidades de los empleados se tornan obsoletas en un plazo de tres a cinco años. Esto hace necesario conocer y aplicar las últimas metodologías de aprendizaje y tecnologías informáticas que las soportan (*e-learning*).

Por último, es importante propender por un número crítico obvio de más de un investigador por área tecnológica o de investigación (como se ve en varios casos en Colombia), y por una selección de las áreas más relevantes y con mayor posibilidad de desarrollo en el país. También es común que la selección de áreas de estudio e investigación y trabajo surja de la iniciativa propia de los investigadores individualmente, según sus aptitudes e intereses. Sin embargo, pensamos que el mayor impacto a corto y mediano plazo se puede dar en el área de informática y su intersección horizontal con la electrónica y las telecomunicaciones y otros con múltiples campos del saber y los negocios.

³¹ Microsoft, por ejemplo, tiene más de 20,000 desarrolladores de software en su sede de Redmond, Washington (Cusumano, 1996). IBM tiene más de 15,000 empleados en su sede de desarrollo de Carolina del Norte, y más de 3.000 profesionales, el 60% con título de doctor en su División de Investigación.

El segundo reto para el país es crear una base suficiente de personal calificado y empresarial nacional que pueda asumir la tarea de difusión y mayor implantación de las tecnologías ETI en el país para suplir sus necesidades.

4. Incremento del nivel de innovación nacional

Colombia presenta uno de los más bajos coeficientes de invención entre los países latinoamericanos, con un registro promedio de 3,1 patentes por año por millón de habitantes en el periodo 1992-1998 (Ocyt, 2000), mientras Chile y Brasil registraron, respectivamente, 26,8 y 42,1 patentes por millón de habitantes. Adicionalmente, el 85% de las patentes tradicionalmente otorgadas en Colombia corresponden a solicitudes de no residentes en el país. El número de patentes registradas por colombianos en la Oficina de Patentes de los Estados Unidos es aún más retador, tan solo 0,14 patentes por millón de habitantes, colocando al país en décimo lugar a escala latinoamericana.

El Índice Nacional de Innovación del investigador Michael Porter del Instituto de Estrategia y Competitividad de la Universidad de Harvard, que mide el potencial de producir innovaciones comercialmente relevantes de un país, ubicó a Colombia en el puesto 62 en el año 2003, cerca del fin de la lista de países para los cuales se recopiló la información (*MIT Technology Review*, 2004).

Las cifras anteriores explican el alto grado de dependencia tecnológica y el bajo nivel de valor agregado de la economía nacional (importación, venta y soporte de productos o infraestructura tecnológica). La privatización y apertura económica con la globalización de la economía, a pesar de los beneficios de competitividad y eficiencia que traen, no han presentado un mayor impacto en la transferencia de conocimientos y la apropiación de competencias tecnológicas en los proyectos realizados. Esto es una reflexión de una disminución sustancial del nivel de inversión nacional en ciencia y tecnología en los últimos diez años, principalmente en el sector privado (Correa, 2004c).

Sospechamos una correlación causal elevada entre el bajo coeficiente nacional de innovación y el escaso número de investigadores y profesionales con posgrado en el país.

El tercer reto para Colombia es buscar mecanismos de incremento del nivel de innovación nacional, medida con índices establecidos internacionalmente y a la vez relevantes para el país. Esto obviamente depende directamente del éxito en la atención al segundo reto planteado, de formación y aprovechamiento de recursos humanos en tecnologías ETI.

5. Generación de empresas de base tecnológica

La generación de empresas de base tecnológica es uno de los objetivos fundamentales del Programa ETI de Colciencias, y de otros similares de ciencia y tecnología o de desarrollo tecnológico. La creación de este tipo de empresas es un mecanismo para pasar de actividades de consultoría, comercialización, e instalación y mantenimiento de equipos, hacia otras de mayor creatividad y valor agregado.

La existencia de empresas nacionales de tecnología es también un requerimiento para apropiar e implantar las tecnologías de electrónica, telecomunicaciones e informática en el país a una escala sustancial y sostenible. En el sector informático, la creación de sitios y aplicaciones web para negocios electrónicos, portales de información, gestión administrativa y empresarial, automatización y control industrial, sistemas de aprendizaje electrónico, investigación científica y tecnológica, y prestación de servicios públicos y privados en general, son ejemplos de las tareas por realizarse. El mercado interno colombiano de tecnologías ETI es sustancialmente superior a los US\$5.000 millones anuales (entre el 6 y 7% del PIB).

En el caso de equipos de computación, telecomunicaciones, instrumentación, electrónica general y componentes, es improbable para la industria nacional competir directamente, por elevadas barreras de entrada como los altos costos de facilidades para diseño y fabricación, desarrollo de mercados, capital, y competitividad internacional en calidad, montaje, acabado y mercadeo de productos. Sin embargo, es concebible que nuevas empresas electrónicas colombianas puedan participar en la invención, diseño y concepción de novedosos dispositivos y productos y, según sea el caso, en su fabricación y comercialización aprovechando competitivamente recursos complementarios de la economía global, como facilidades de fabricación de dispositivos (fundiciones de silicio) y de manufactura y acabado de productos electrónicos.

En la industria del *software* no existen los altos costos de facilidades de diseño y fabricación, pues lo producido es intangible o “blando”: Requerimientos, diseños, código, datos y contenido, planes de prueba, documentación y propiedad intelectual en general. Adicionalmente, los movimientos de estándares, *software* libre y de código abierto, así como los programas para desarrolladores de *software* y socios de negocios de las principales empresas informáticas, como *Microsoft* (*Microsoft MSDN*, 2004), *IBM* (*IBM developerWorks*, 2004) y *SUN* (*SUN Java*, 2004), por solo mencionar las tres principales, hacen que las herramientas de desarrollo de *software*, así como las múltiples plataformas tecnológicas requeridas para su prueba y evaluación (sistemas operacionales, bases de datos, servidores de web y aplicaciones, protocolos de comunicaciones, etc.), puedan ser licenciadas a un costo relativamente bajo por empresas desarrolladoras.

Sin embargo, como en el caso de equipos y *hardware*, el progreso de la industria del *software* en Colombia tiene igualmente importantes barreras de entrada. En lo técnico, el conocimiento actualizado y la experiencia sobre tecnologías y metodologías de desarrollo son limitados; esto constituye un escollo que no puede menospreciarse, y que empresas, universidades y centros de capacitación deben participar para reducirlo en atención al segundo reto que identificamos. Por el lado de habilidad empresarial, la visión y capacidad creativa de identificar y formular nuevos productos y servicios para mercados nacionales e internacionales, y para crear y gestionar empresas tecnológicas, son probablemente una segunda barrera importante.

Otro obstáculo importante para la generación de empresas de base tecnológica en Colombia es de tipo sociológico y de centros geográficos con suficiente disponibilidad de recursos humanos y empresariales. El surgimiento de empresas, en particular aquellas basadas en conocimientos especializados, requiere de masas críticas de ingenieros, empresarios, científicos y tecnólogos, localizados en centros geográficos, aparte de otras condiciones como la disponibilidad de capital. Porter (1998) presenta la noción de centros tecnológicos como “concentraciones geográficas de empresas, proveedores especializados, proveedores de servicios, e instituciones asociadas en un campo particular, que se encuentran presentes en una región

particular o país”. Dichos centros reducen los costos de negocios incrementando la productividad de las empresas, por lo que su desarrollo y mejoramiento son un elemento importante de agendas gubernamentales y privadas.

John Seely Brown (2002), el anterior director del centro de investigación *Xerox Parc*, señala adicionalmente cómo centros industriales tipo *Silicon Valley* en California, el más famoso de todos, se forman gracias a la confluencia de recursos humanos y las prácticas colaborativas que contribuyen a la dinámica del conocimiento. Según Seely Brown, la proximidad física es más poderosa que la simple posibilidad de comunicación instantánea de las nuevas tecnologías (e.g., la internet) para la creación y el flujo del conocimiento en “comunidades profesionales”. Esta dificultad de crear y mantener las redes de conocimiento ayuda a explicar el por qué los centros industriales son importantes estratégicamente y tan difíciles de replicar.

Sin una industria nacional de tecnologías de información y comunicaciones, el trabajo de mayor valor intelectual continuará siendo realizado principalmente por multinacionales o empresas extranjeras, con propiedad y capital intelectual extranjero, y con transferencia tecnológica mínima, o solo en los niveles más bajos. La falta de transferencia tecnológica tiene motivación, en parte, en la búsqueda de las empresas contratistas o proveedoras de preservar su ventaja competitiva y oportunidades futuras de negocio en nuevos proyectos, contratos, y servicios de mantenimiento, y es una reflexión de los bajos niveles de inversión privada en ciencia y tecnología. A estas desventajas debemos sumar otra; el costo típicamente más elevado de personal y proyectos en el país por la condición persistente de Colombia como país de alto riesgo.

La generación de empresas de base tecnológica es un mecanismo importante para la atender la preocupación de posible desempleo de profesionales en electrónica, telecomunicaciones e informática³². A su vez, la existencia de personal calificado en estas áreas y en gestión empresarial es una de las condiciones para la generación de empresas, por lo que es necesario dar atención exitosa al segundo reto que hemos planteado, pues la formación de recurso humano contribuirá también directamente a la creación

³² Otro mecanismo de generación de empleos profesionales es incentivar la inversión extranjera en el país en centros de desarrollo, soporte, o servicios relacionados con las nuevas tecnologías. Aunque es una opción que debe explorarse, esta alternativa presenta sus propios retos y riesgos, incluyendo posible inestabilidad y dependencia tecnológica continuada.

de empresas. Otras condiciones, como el desarrollo de mercados y la disponibilidad de capitales de riesgo, también tendrán que garantizarse por medio de programas estratégicos.

El cuarto reto para el país es forjar empresas de base tecnológica con capacidad de satisfacer las necesidades del país, y a la vez emplear productivamente a empresarios, científicos, ingenieros y tecnólogos con especialidad en tecnologías ETI.

6. Minimización de la brecha digital

Las tecnologías de información y comunicaciones presentan una correlación importante entre el nivel educativo y socioeconómico de las personas, y la posibilidad de acceso de éstas a las tecnologías y las ventajas que las mismas confieren. Por lo tanto, si las tecnologías no son implantadas con atención cuidadosa a su impacto social, pueden incrementar la desigualdad y las desventajas comparativas de oportunidades para la población en general y para las regiones menos favorecidas.

La diferencia en las posibilidades de acceso a las nuevas tecnologías es la llamada *brecha digital* (*digital divide*), que ha venido recibiendo atención en la última década por parte de gobiernos, entidades multinacionales, y empresas con misión clara de responsabilidad corporativa.

La brecha digital tiene como componentes más visibles y convencionales la disparidad de acceso a conectividad y computadores (e.g., densidad telefónica alamburada, densidad de unidades celulares, densidad de computadores personales, y penetración de la internet en sus distintas modalidades de acceso). Otro indicador complementario y más útil que medidas per cápita es la noción de *acceso universal*, que mira el porcentaje de unidades familiares con acceso a los servicios (ITU, 2003). Existen, sin embargo, otros elementos igualmente relevantes de la brecha digital, como son la alfabetización y el nivel educativo de la población, su habilidad funcional y familiaridad con las nuevas tecnologías, y el acceso a contenido y servicios relevantes en el lenguaje propio (TRPI, 2002)³³. El analfabetismo tecnológico, en particular, es un factor que debe recibir igual atención que los indicadores de acceso.

Por esta razón, programas de conectividad y acceso a equipos como los adelantados por la Agenda de Conectividad para las regiones más remotas del país, y para las zonas menos favorecidas de las grandes ciudades, son cruciales para evitar la ampliación de la brecha digital. Igualmente, programas de introducción y familiarización con las tecnologías ETI en el sistema educativo desde edades tempranas, son mecanismos para garantizar la igualdad en capacidad de aprovechamiento de las tecnologías. El papel de las universidades y de los sectores de educación, cultura e industria del gobierno es importante en ese sentido.

Colombia, junto países como Brasil, Guatemala y Paraguay en el hemisferio, tiene una de las distribuciones más extrema de ingresos en el mundo, situación que coloca en desventaja a los estratos más bajos y tiende a perpetuar la “pobreza hereditaria” (Unesco, 2001). Adicionalmente, con niveles relativamente bajos de penetración de computadores e internet, alrededor 2.100.000 computadores personales y 2.700.00 usuarios de internet, entre el 5 y 6% de la población (CRT, 2003; ITU, 2003), Colombia tiene como punto de partida indicadores básicos pobres de brecha digital y comparado con otros países de la región, ventaja solo a Bolivia, Cuba, Guatemala, y Paraguay. Por lo tanto, programas de impulso a las tecnologías ETI deben plantearse cuidadosamente para evitar ampliar la brecha digital y, al contrario, minimizarla.

7. Oportunidades

El impacto de las tecnologías de información y comunicaciones en la economía mundial, y nacional en particular, ha traído consigo los retos técnicos, económicos y sociales descritos en la sección anterior. Sin embargo, también traen múltiples beneficios que motivan su desarrollo y difusión y son elemento clave del progreso. Resaltamos las siguientes oportunidades para el país:

- Proyectos de convergencia y amplio impacto.
- Negocios electrónicos y productividad empresarial.
- Calidad y cubrimiento en la prestación de los servicios básicos; estímulo al crecimiento de la economía colombiana.
- Generación de empresas y empleos de alto valor agregado.

³³ Colombia habla mayoritariamente español, por lo tanto, dada la universalidad del inglés como lenguaje de la tecnología y del comercio global, este se constituye en una barrera para quienes no lo dominan.

Consideramos cada uno de estos puntos en las siguientes secciones.

a. Proyectos de convergencia y amplio impacto

La Ley de Moore acerca del incremento de la capacidad computacional de dispositivos microelectrónicos, la amplia capacidad instalada en telecomunicaciones al final de la “burbuja punto com” así como la transición a una red única de voz y datos sobre protocolo *IP*, y los modelos de desarrollo de *software* libre y de código abierto, han reducido dramáticamente los costos de equipos y *software* base para la creación de aplicaciones y el desarrollo de infraestructura empresarial y nacional.

Sin embargo, a pesar de fenómenos recientes como la contratación de tareas a países de menor costo, el valor del desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones de electrónica, telecomunicaciones e informática, sigue siendo extremadamente elevado dada la intensidad del recurso humano necesario, el costo del mismo, y la complejidad y riesgo de desarrollo e implantación de las aplicaciones requeridas.

La primera oportunidad que se plantea para el Programa ETI es la identificación y consenso sobre las tecnologías y aplicaciones con mayor relevancia nacional de estos tres sectores, y la movilización de recursos (empresariales, grupos de investigación, y centros de desarrollo tecnológico) para ganar experiencia en las mismas y para su desarrollo práctico.

Como elementos concretos, se presentan las siguientes cinco tecnologías y aplicaciones generales, ampliamente reconocidas como estratégicas y de importancia en las próximas décadas (*IEEE, 2004; MIT 2004*): Internet, aplicaciones como voz sobre protocolo *VoIP* y educación electrónica; tecnologías inalámbricas, electrónica y microelectrónica, *software* libre y de código abierto y negocios electrónicos.

Este modelo de uso de programas nacionales para la creación y el desarrollo de tecnologías de interés nacional ha sido utilizado exitosamente por los Departamentos de Comercio, Energía, y Defensa de los Estados Unidos, resultando en tecnologías como la internet, semiconductores, supercomputación, fuentes alternas de energía, y seguridad nacional. Recientemente se ha anunciado la iniciativa nacional sobre nanotecnología.

Una de las tareas para el Programa ETI en relación con esta oportunidad es, también, explorar la conveniencia y posibilidades de contratarse externamente algunas de las tareas específicas con países de menor costo, como India y China, y en áreas donde el país no cuenta con recursos humanos suficientes con la calificación requerida. Esta exploración no solo es relevante para proyectos de escala nacional, sino que también puede convertirse en información útil para empresas nacionales con necesidades e interés de competir internacionalmente, aprovechando las posibilidades de la economía global.

b. Negocios electrónicos y productividad empresarial

La productividad los países desarrollados, principalmente los Estados Unidos, ha tenido un aumento acelerado en los últimos quince años y ha sido el factor que ha permitido el crecimiento de la economía con bajos niveles de inflación. La optimización de procesos de negocios utiliza hoy en día no solo las tecnologías de información y comunicaciones, sino también sus técnicas y metodologías para el modelaje y diseño de procesos, para la medición de su desempeño, y para su optimización. Según Erik Brynjolfsson, profesor de la Escuela de Administración Sloan del MIT y director del Centro de Negocios Electrónicos, “la razón del resurgimiento de la productividad americana ha sido el resultado de la combinación de tecnologías digitales con organización digital” (Brynjolfsson, 2004).

Las empresas están utilizando herramientas tecnológicas para optimizar procesos de planeación y producción, reducir tiempos y niveles de inventarios, crear economías de escala, introducir sistemas de capacitación más convenientes y de menor costo, facilitar opciones de teletrabajo y colaboración entre empleados, mejorar su integración con socios y proveedores, y por último para introducir más y mejores productos y servicios en el mercado. Las anteriores oportunidades son componentes de los llamados “negocios electrónicos” o *e-Business* (Amor, 2000). La optimización de procesos de negocios y de infraestructura informática ha progresado concurrentemente, y converge ahora en la gerencia de rendimiento empresarial (*IDC, 2004*).

Para Colombia se considera entonces, como segunda oportunidad de las tecnologías en electrónica, telecomunicaciones e informática, el incremento de la productividad y eficiencia de sus organizaciones

según modelos de negocios electrónicos y “organización digital”. Esta oportunidad existe en los sectores público y privado, y para pequeñas, medianas y grandes empresas. La colaboración del Programa ETI y otros, especialmente el de Desarrollo Tecnológico, Industrial, y Calidad, sería especialmente acertada dada la multidisciplinariedad del tema incluyendo técnicas matemáticas de modelaje probabilístico y estocástico, teoría de la decisión y optimización, y temas particulares a la gestión de empresas, incluyendo manejo de la cadena de suministro.

La eficiencia de sectores como salud y educación es vital en la gestión pública, dada su importancia social y magnitud en el presupuesto nacional. Pensamos que el uso de indicadores de desempeño acertados y de nuevas “mejores prácticas” internacionales pueden traer incrementos sustanciales en la operación y eficiencia de utilización de recursos. La administración de la justicia y la seguridad son particularmente relevantes para Colombia por la situación de conflicto y administración incompleta y tardía de justicia, en consecuencia, las tecnologías informática y de comunicaciones son sin duda una herramienta importante para su modernización, transparencia y optimización.

En el sector privado, la difusión continuada de estas tecnologías ofrece oportunidades en diversos campos: manufactura, servicios, finanzas, comercio, cultura y entretenimiento, etc. Otros cambios que pueden anticiparse a largo plazo son una evolución en la relación entre empleados, empleadores y empresas; el incremento de la meritocracia en las organizaciones, del teletrabajo y formas de telecolaboración.

3. Servicios y crecimiento de la economía colombiana

El incremento en la eficiencia y productividad empresarial no es la única oportunidad que presentan las tecnologías ETI. Otra importante y complementaria para Colombia, es la evolución de su economía hacia una expansión del sector servicios. Esto incluye la ampliación del cubrimiento de servicios públicos y privados y la mejora de la calidad en su prestación.

Servicios que anteriormente requerían el desplazamiento y la presencia del ciudadano con la consecuente pérdida de varias horas de su tiempo, pueden

actualmente ser reemplazados por operaciones de negocios o gobierno electrónico, incrementando su conveniencia, exactitud, velocidad, transparencia, e igualdad en facilidad de acceso desde diferentes regiones del país. La empresa prestadora del servicio puede a la vez ahorrar costos, y diferenciarse competitivamente.

Servicios privados incluyen bancos, finanzas, comercio, cultura, medios, información y entretenimiento. Servicios públicos con tecnología informática y de telecomunicaciones son posibles en educación, salud, impuestos, comunicaciones, justicia, seguridad, etc.

Las tecnologías en electrónica, telecomunicaciones e informática potencian la prestación de esos servicios en costos y logística. Los centros de soporte y atención al cliente, por ejemplo, son un componente clave de la empresa moderna como punto de contacto con el cliente. Tecnologías de web, bases de datos, pagos electrónicos, seguridad electrónica, centrales de llamadas, manejo de relación con el cliente etc., son claves para la prestación de servicios en empresas tradicionales y nuevas (Amor, 2000). Estas permiten altos volúmenes de transacciones, niveles de calidad definidos, y almacenamiento electrónico de la información con fines de negocios y cumplimiento de regulaciones legales, a costos viables para la empresa³⁴.

La brecha digital es un asunto que debe atenderse cuidadosamente al expandir la economía de servicios, particularmente con las nuevas tecnologías. Por un lado, una expansión sin atención incrementará la desigualdad entre ciudadanos, en particular la falta de acceso a los nuevos servicios por parte de los estratos más bajos. Por otro, reducirla tiene un efecto acelerador en el crecimiento porque crea un mercado adicional para los nuevos servicios e impulsa la economía. Es importante resaltar que los obstáculos por vencer no solo son de brecha digital, sino también de acceso a otros dos elementos básicos de la vida moderna: Una cuenta bancaria y crédito.

El uso de aplicaciones de negocios electrónicos para la prestación de servicios debe estar acompañado de atención continuada y cuidadosa a la legislación sobre el particular, la autenticación de usuarios, y la privacidad y seguridad de la información. La legislación requerida incluye la determinación de la validez legal de documentos y firmas electrónicas en distintas

³⁴ Una figura indicativa es el número de transacciones diarias que manejan los centros de llamadas de las más grandes empresas en finanzas, bancos, etc., en países desarrollados. Fidelity Investments, la empresa estadounidense de fondos mutuos, por ejemplo, atiende más de medio millón de llamadas diarias de clientes, utilizando una combinación de operadoras humanas y sistemas telefónicos de respuesta automática por voz o tonos.

situaciones legales, y legislación sobre temas como fraude y robo de identidad. Tecnologías de biométrica (sobre huellas digitales, ojos, cara, voz, y otros rasgos personales) y codificación de la información atienden los otros dos temas, autenticación y manejo de la información (MIT, 2004).

La oportunidad de desarrollo de la economía colombiana hacia más y mejores servicios puede verse como parte de una transición normal hacia la economía del conocimiento. En forma abstracta, la creación, el análisis, el procesamiento, el almacenamiento, y el intercambio de información es la actividad de mayor volumen económico y la mayor fuente de empleo en las economías desarrolladas. Esto incluye la banca, comunicaciones, entretenimiento, finanzas y medios, entre otras. Igualmente, el manejo de la información es un componente central de otras áreas fundamentales como salud, comercio, transporte y educación.

Los países desarrollados reflejan esta característica de la economía del conocimiento en un componente alto en su sector servicios, entre el 70% y el 80% de su PIB, mientras que los sectores de agricultura e industria corresponden tan solo al restante 20% a 30% del PIB (CIA, 2004). Las tecnologías ETI ofrecen la oportunidad de estimular el crecimiento y la competitividad de la economía colombiana.

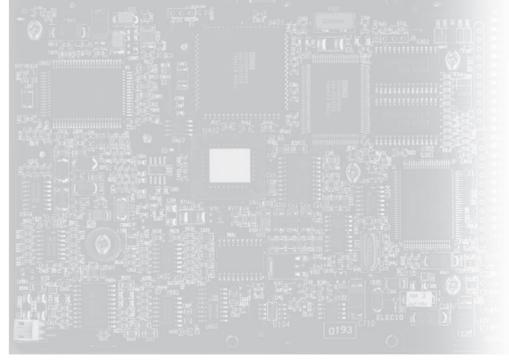
4. Generación de empleo de alto valor agregado

Uno de los objetivos de programas de ciencia y tecnología es preparar al país competitivamente para impulsar su economía y generar empleos de alto valor agregado. En la economía del conocimiento, el valor que cada empleado aporta a la empresa donde trabaja y a la economía en general, es uno de los parámetros claves para la empresa e importante de medirse.

Vemos, entonces, como otra oportunidad significativa de las tecnologías de información y comunicaciones para Colombia, la posibilidad de generar empleos de alto valor agregado, en actividades del conocimiento. Esto incluye obviamente industrias de nuevas tecnologías, pero también empresas en sectores tradicionales como medios de información, finanzas, comercio, servicios, y entretenimiento.

El impacto económico para el país estará directamente relacionado con el capital humano nacional capacitado gerencial y tecnológicamente, en particular el número de personas dedicadas a actividades de TIC por el papel habilitador transversal que estas actualmente desempeñan para trascender otros sectores.

La oportunidad de generación de empleo de alto valor agregado requiere resolver dos de los retos descritos en la sección anterior: Generar recursos humanos calificados, y crear empresas de base tecnológica que capitalicen sobre esos recursos. Si esto se cumple, se tendrá la posibilidad de continuar el desarrollo de la economía colombiana y su inserción en la economía del conocimiento del siglo XXI.



CAPÍTULO V

ACTUALIZACIÓN PLAN ESTRATÉGICO 2004-2010

ACTUALIZACIÓN PLAN ESTRATÉGICO 2004-2010

A. ANTECEDENTES

El Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática fue creado el 1 de octubre de 1991 mediante el Acuerdo 12 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. El Consejo de dicho Programa fue instalado en el despacho del Ministro de Comunicaciones, el 11 de diciembre de 1991; desde entonces y hasta diciembre de 2004 se han realizado 79 reuniones.

Las actividades del Programa ETI, son guiadas por las políticas que su Consejo ha ido definiendo y ajustando a través del tiempo, teniendo en cuenta la evolución tecnológica y los cambios de entorno tanto nacionales como mundiales. En la actualidad el Programa se orienta por el Plan Estratégico ETI definido y divulgado el 28 de mayo de 1997.

La acelerada evolución de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática, su convergencia, el cambio del entorno nacional e internacional y el gran impacto que su aplicación ha tenido en el mundo y en Colombia, nos han llevado a la necesidad de adelantar nuevos estudios en cada una ellas, en sus tendencias desde el punto de vista tecnológico y de mercados, en su evolución analizada desde la convergencia de las mismas, en la nueva situación del país, para sobre esta base reflexionar respecto a nuevos retos y oportunidades para Colombia y lograr reenfocar las actividades del programa hacia adelante.

I. Estructura del Plan

a. Visión

Contar en Colombia con un sector de electrónica, telecomunicaciones e informática, moderno y competitivo, con alto grado de conocimiento, dinámica de innovación y capacidad de adaptación y generación de tecnologías, para brindarle al país respuesta a sus propias necesidades dentro de una nueva sociedad del conocimiento, con una adecuada infraestructura de telecomunicaciones y de información y soporte a su industria frente al desafío que le plantea un mundo globalizado.

b. Misión

Promover, fomentar y apoyar la generación de conocimiento, la innovación y el desarrollo tecnológico a través de la formación permanente del recurso humano, de la transferencia e intercambio de tecnologías, y de una continuada actividad científico-tecnológica en forma conjunta entre la academia y los sectores productivos, con efectiva interacción a escala internacional.

2. Objetivo general

Incrementar la capacidad y la actividad de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en electrónica, telecomunicaciones e informática para

su aplicación al desarrollo productivo y social del país.

3. Objetivos específicos

- Incrementar sustancialmente el número de investigadores, expertos, ingenieros especializados y profesionales de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática en el país, para atender los requerimientos nacionales que exige el continuo y acelerado avance mundial de estas tecnologías.
- Lograr en forma continua la generación de conocimiento en estas tecnologías, apoyando los grupos de investigación, innovación y desarrollo existentes y estimulando el surgimiento de otros nuevos en todas las regiones del país, velando siempre por el más alto nivel de excelencia en todos ellos.
- Contribuir desde la innovación, la investigación y el desarrollo al logro de un amplio acceso a las telecomunicaciones y tecnologías de información por parte de toda la sociedad colombiana y al despliegue de capacidades para generación de contenidos.
- Estimular, desde la investigación, la innovación y el desarrollo, el fortalecimiento y progreso de esta industria en el país y el mejoramiento de todos los sectores productivos y de la industria colombiana en general, haciendo uso de tecnologías de electrónica, telecomunicaciones e informática.
- Apoyar mediante actividades de investigación, innovación y desarrollo en electrónica, telecomunicaciones e informática con grupos interdisciplinarios, el fortalecimiento de sectores estratégicos para el desarrollo del país y de gran impacto en la sociedad, como salud, educación, agropecuario, energético, medio ambiente y la inclusión de discapacitados a actividades sociales y productivas.

B. PLAN DE ACCIÓN 2004-2010

I. Objetivos, metas y actividades

Tomando en consideración los anteriores objetivos, se presentan a continuación las metas y actividades para el lograrlos:

a. Objetivo I: Formación del recurso humano:

Incrementar sustancialmente el número de investigadores, expertos e ingenieros especializados en electrónica, telecomunicaciones e informática en el país, para poder atender los requerimientos nacionales que exige el continuo y acelerado avance mundial de estas tecnologías.

1) Metas

- Lograr en cinco años que el número de becarios de maestrías en estos sectores se cuadruplique y el de becarios de doctorados se duplique.
- Trabajar activamente con las universidades en la creación de nuevos programas de maestría y doctorado.
- Lograr que la mayoría de becas de doctorado tengan una orientación estrechamente relacionada con intereses nacionales.

2) Actividades

- Estimular en los grupos de investigación la mayor participación de investigadores con niveles de maestría y doctorado.
- Trabajar en estrecha relación con la Subdirección de Programas Estratégicos de Colciencias para que se estimule la aprobación de maestrías y doctorados en electrónica, telecomunicaciones e informática.
- Fomentar la participación de jóvenes investigadores en los grupos investigación y desarrollo en electrónica, telecomunicaciones e informática en todo el país.
- Financiar actividades de investigación de manera que se faciliten pasantías de investigadores en empresas productivas y pasantías de profesionales expertos en grupos de investigación.
- Financiar pasantías de investigadores en electrónica, telecomunicaciones e informática a centros internacionales de investigación, y pasantías empresariales a centros tecnológicos internacionales.

- Contemplar recursos financieros para asegurar mínimo el bilingüismo (inglés) en grupos de investigación, innovación y desarrollo.

b. Objetivo 2: Generación de conocimiento en ETI

Lograr en forma continua la generación de conocimiento en electrónica, telecomunicaciones e informática apoyando los grupos de investigación, innovación y desarrollo existentes y estimulando el surgimiento de nuevos grupos en todas las regiones del país, velando siempre por el más alto nivel de excelencia en todos ellos.

1) Metas

- Lograr que se cuente con grupos de investigación, innovación y desarrollo en todas las regiones del país y que estos apoyen las necesidades locales de producción.
- Lograr actividades de investigación, innovación y desarrollo en forma conjunta y en red entre diferentes grupos temáticos.
- Lograr el desarrollo de grupos incipientes con el apoyo de grupos reconocidos.
- Lograr cada vez mayor participación de grupos nacionales en proyectos y programas internacionales, como los de Cyted, Unión Europea, OEA entre otros.
- Lograr al cabo de tres años que por lo menos una quinta parte de los grupos reconocidos estén cofinanciados por la empresa privada.

2) Actividades

- Estimular mediante convocatorias, la consolidación y creación de grupos de investigación, innovación y desarrollo en regiones donde hay muy pocos o son inexistentes.
- Incentivar a través de las convocatorias el trabajo entre grupos consolidados e incipientes para el fortalecimiento de estos últimos en las diferentes regiones del país.

- Dedicar recursos financieros para estimular la participación de grupos nacionales en proyectos y programas internacionales.
- Trabajar a través de los Codecyts para que en cada región del país se logre interesar a los principales sectores productivos en la cofinanciación de por lo menos un grupo de investigación, innovación y desarrollo.

c. Objetivo 3: Disminución de la brecha digital:

Contribuir desde la investigación y el desarrollo al logro de un amplio acceso a las telecomunicaciones y tecnologías de información para toda la sociedad colombiana, y al desarrollo de capacidades para generación de contenidos nacionales.

1) Metas

- Ampliar, con el apoyo de la investigación, la innovación y el desarrollo, el acceso de las comunidades a los servicios de telecomunicaciones.
- Desarrollar capacidades a escala regional y nacional para generar contenidos nacionales que hagan uso de la infraestructura de redes existentes.
- Lograr que los operadores nacionales se fortalezcan mediante la innovación, la investigación y el desarrollo, para dominar las nuevas tecnologías, adecuar sus infraestructuras y asegurar permanentemente la calidad en sus servicios.

2) Actividades

- Abrir por lo menos una convocatoria anual para fortalecer los grupos de innovación, investigación y desarrollo en telecomunicaciones, mediante el financiamiento de proyectos que aseguren la permanente actualización de conocimiento y la capacidad de adecuación de tecnologías al medio colombiano, para la ampliación del alcance de estos servicios a todas las comunidades.
- Estimular y favorecer el desarrollo de por lo menos cinco proyectos cada año, orientados a la generación de contenidos nacionales (contenidos cultu-

rales, recursos naturales, biodiversidad, bibliotecas virtuales, etc.).

- Destinar recursos, preferiblemente conjuntos entre el Ministerio de Comunicaciones y Colciencias, para apoyar al Centro de Investigación de Telecomunicaciones de manera tal que en unión con grupos de investigación de universidades y empresas operadoras, desarrollen proyectos orientados a la optimización de servicios de telecomunicaciones.

d. Objetivo 4: Fortalecimiento y desarrollo de la industria ETI

Estimular, desde la investigación y el desarrollo, el fortalecimiento y progreso de la industria electrónica, de telecomunicaciones e informática en el país y el avance de todos los sectores productivos y de la industria colombiana en general haciendo uso de estas tecnologías.

1) Metas

- Desarrollar el mayor número de empresas productoras de electrónica, telecomunicaciones e informática en el país y el surgimiento de nuevas empresas de base tecnológica en estas materias, todas ellas con capacidad de innovación y alta competitividad internacional.
- Incrementar la capacidad exportadora de empresas de electrónica, telecomunicaciones e informática tanto en productos como en servicios y trabajar en el desarrollo de capacidades administrativas, de gestión y comercialización en dichas empresas.
- Lograr que los centros de desarrollo tecnológico en electrónica, telecomunicaciones e informática se fortalezcan para que puedan prestar los servicios que las empresas de sus respectivos sectores requieren (ruedas de negocios, transferencia de tecnologías, control tecnológico y de mercados, cursos de entrenamiento y actualización tecnológica, pasantías empresariales, seminarios, congresos etc.).
- Realizar convocatorias especiales para incrementar, de una manera importante, la modernización y automatización industrial con tecnologías en electrónica, telecomunicaciones e informática, y el desarrollo de proyectos universidad-empresa a la

medida de las necesidades de nuestra industria y sectores productivos.

2) Actividades

- Destinar recursos específicos para que mediante convocatorias dirigidas se estimule el desarrollo de la industria colombiana en electrónica, telecomunicaciones e informática (desarrollo de software y soluciones con tecnologías ETI independientes y convergentes).
- Trabajar con otras entidades como Proexport, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y el Ministerio de Comunicaciones, con el fin de apalancar recursos destinados a financiar el fortalecimiento de estas empresas para exportación de productos y servicios y para mejorar su capacidad administrativa, de gestión y de negociación de tecnologías de electrónica, telecomunicaciones e informática.
- Conformar un grupo de trabajo en el tema de propiedad intelectual con participación de Colciencias y otras instituciones relacionadas, para apoyar a la industria de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática en el conocimiento de reglamentación y trámite nacional e internacional sobre derechos de autor, patentes, etc.
- Trabajar durante el primer año con el Centro de Apoyo a la Tecnología Informática y con el Centro de Investigación y Desarrollo en Electro, Electrónica e Informática para revisar su planeación estratégica y realizar los correctivos necesarios con el objeto de mejorar su desempeño y, por lo tanto, para que puedan prestar el adecuado servicio que requieren las empresas de sus sectores correspondientes
- Trabajar con las empresas de electrónica, telecomunicaciones e informática para estructurar y cofinanciar por lo menos una vez al año, pasantías empresariales a ferias internacionales y a centros tecnológicos.
- Llevar a cabo durante los dos primeros años, por lo menos dos reuniones semestrales en diferentes regiones del país, ojalá con el apoyo de los respectivos Codecyts, entre empresas de electrónica, telecomunicaciones e informática, sectores pro-

ductivos regionales y grupos de investigación, innovación y desarrollo, para fortalecer su relación y trabajo conjunto de proyectos.

- Trabajar en la realización de un seminario internacional al cabo de tres años, y de un congreso internacional al cabo del quinto año, con expertos internacionales y la participación de investigadores y del sector productivo relacionado con la electrónica, las telecomunicaciones y la informática, para conocer las nuevas tecnologías y tendencias en investigación y socializar las experiencias nacionales.
- Trabajar en la creación de una red nacional de laboratorios de alta calidad y orientación industrial, con la participación de laboratorios de universidades en diferentes regiones con polos de desarrollo, con el fin de que dicha red soporte nuestra industria nacional con labores de pruebas y ensayos que simplifiquen procesos internacionales de homologación a costos razonables.

e. Objetivo 5: Apoyo a grupos interdisciplinarios

Apoyar con grupos interdisciplinarios mediante actividades de investigación y desarrollo en electrónica, telecomunicaciones e informática, el progreso sostenido de sectores estratégicos para el país y de gran impacto en la sociedad, como salud, educación, agropecuario, energético, medio ambiente e inclusión de discapacitados a áreas productivas y sociales.

1) Metas

- Integrar en red los grupos de investigación en salud, que mediante las actividades en cumplimiento del Plan ETI anterior ha logrado desarrollar el Programa ETI, en Cundinamarca, Cauca, Antioquia y Caldas, para que compartan sus conocimientos y experiencias en pro de mejorar los resultados en cada región y de apoyar a nuevos grupos en otras regiones
- Integrar los grupos que han trabajado en discapacidad para fortalecerlos mediante su integración con grupos internacionales fuertes.
- Lograr al cabo de dos años la constitución de por lo menos un grupo interdisciplinario en el área de energía.

- Consolidar al cabo de tres años dos redes nacionales de agroindustria y medio ambiente, con los grupos interdisciplinarios que se han ido creando a través del financiamiento en cumplimiento del anterior Plan ETI.
- Continuar apoyando desde la investigación y el desarrollo la consolidación de redes de grupos interdisciplinarios en educación y gestión del conocimiento.

2) Actividades

- Trabajar en forma conjunta y estrecha con el Programa de Salud para incrementar recursos que aseguren la sostenibilidad de estos grupos interdisciplinarios de electrónica, telecomunicaciones e informática en medicina y salud, continuando su financiación a través de convocatorias exclusivas orientadas a dicha área.
- Apalancar recursos de fuentes internacionales (Cyted, Unión Europea y otros) para fortalecer la actividad de grupos interdisciplinarios dedicados a discapacidad.
- Trabajar en forma conjunta con el Programa de Energía y Minería para estimular una línea de investigación interdisciplinaria.
- Trabajar con los programas de Medio Ambiente y Ciencias Agropecuarias para definir planes conjuntos acordes con sus programas estratégicos, con el objetivo de continuar financiando, mediante convocatorias especiales, los grupos interdisciplinarios.

C. LÍNEAS DE ACCIÓN

Tomando en cuenta todo lo anterior, podemos concretar las siguientes grandes líneas de acción para el Programa ETI en los próximos cinco años:

I. Línea 1: Masa crítica de investigadores e ingenieros ETI

El continuo y acelerado avance de estas tecnologías exige en forma proporcional una actualización permanente de conocimiento e incremento continua-

do de capacidades de innovación, desarrollo e investigación a todo nivel. Para satisfacer los requerimientos de investigación y desarrollo es indispensable contar con un número importante de investigadores a escala nacional.

2. Línea 2: Generación de conocimiento y fortalecimiento de grupos de investigación en innovación y desarrollo en electrónica, telecomunicaciones e informática.

Fortalecer los grupos mediante el financiamiento en forma permanente de proyectos de investigación, innovación y desarrollo, tratando de que la actividad de investigación sea continuada. Debe estimularse la relación de estos grupos con pares internacionales y velar por que su nivel de excelencia sea muy alto.

3. Línea 3: Ampliar el acceso a tecnologías de información y comunicaciones e incrementar capacidades para la generación de contenidos

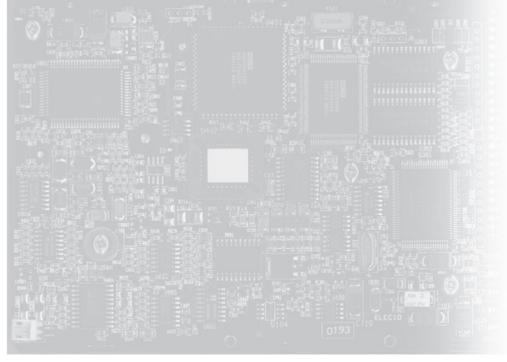
Desde la innovación, la investigación y el desarrollo debe apoyarse el trabajo del Gobierno para adaptar tecnologías a nuestro medio y facilitar la reducción de costos de servicio de manera tal que se logre acceso a tecnologías de información y comunicaciones por parte de toda la población.

4. Línea 4: Apoyo desde la innovación, la investigación y el desarrollo a empresas y sectores productivos e industria en general relacionados con la electrónica, las telecomunicaciones y la informática.

Estas tecnologías mueven cifras muy altas en los mercados mundiales. Hasta ahora nos hemos empeñado en el desarrollo de la industria de software en Colombia y en consecuencia esta ha progresado en forma importante. Sin embargo, la convergencia de las tecnologías es un hecho, por lo tanto, cada vez más las soluciones electrónicas e informáticas son integrales. En consecuencia, paralelamente se debe incentivar el desarrollo convergente de la industria electrónica, de telecomunicaciones e informática. La producción de software nacional debe continuar robusteciéndose, así como los sistemas electrónicos en general y las soluciones en telecomunicaciones.

Línea 5: Actividades de innovación, desarrollo e investigación en electrónica, telecomunicaciones e informática con grupos interdisciplinarios para salud, discapacidad, educación, sector agrario, energético y medio ambiente

La electrónica, las telecomunicaciones y la informática son transversales y generan siempre valor agregado allí donde se les utilice, que es prácticamente en todos los sectores y áreas del conocimiento. El avance logrado en estas áreas estimula la consolidación de estos grupos interdisciplinarios para el fortalecimiento de los correspondientes sectores y sus servicios asociados.



BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS PRINCIPALES

DOCUMENTOS PRINCIPALES

Correa, N. *Electrónica, telecomunicaciones e Informática. Parte 1: Contexto General, Situación Actual y Tendencias a Nivel Mundial de las Tecnologías ETI*. Tarrytown, Nueva York, 2004.

Correa, N. *Electrónica, telecomunicaciones e Informática. Parte 2: Retos y Oportunidades para Colombia en tecnologías ETI a Nivel Convergente*. Tarrytown, Nueva York, 2004

Correa, N. *Electrónica, telecomunicaciones e Informática. Parte 3: Líneas Orientadoras en I+D+I para Tecnologías ETI en Colombia*. Tarrytown, Nueva York, 2004

García, A. *Retos y Oportunidades para Colombia en Electrónica*. Bogotá, 2004

Cardozo, R., Díaz, J., Rueda C. *Tendencias Tecnológicas en Informática y Oportunidades de Investigación para Colombia*. Cali, 2004

Cintel. *Evolución del Entorno ETI a Nivel Nacional, Principales Iniciativas Políticas, Académicas y Privadas Relacionadas con el Sector ETI*. Bogotá, 2004

Cintel. *Retos y Oportunidades para Colombia en Telecomunicaciones, Principales Tendencias en Tecnologías de Telecomunicaciones y Propuesta sobre las Líneas Orientadoras de Investigación, Desarrollo e Innovación en Telecomunicaciones para Colombia*. Bogotá, 2004

Neira, E. *Actualización Plan Estratégico, Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática*. Bogotá, 2004.



2005-2015



PLAN ESTRATÉGICO PROGRAMA NACIONAL DE ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA

Transversal 9A bis N° 132-28
Bogotá D.C. - Colombia
Teléfono: (57-1) 625 8480
Fax: (57-1) 625 1788
contacto@colciencias.gov.co
www.colciencias.gov.co



COLCIENCIAS