

DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN EL ACTO DE
INVESTIDURA DE DOCTOR *HONORIS CAUSA*
DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

D. KARL GÖSER

PRESENTADO POR

D. ALBERTO PRIETO ESPINOSA



UNIVERSIDAD DE GRANADA

MMV

DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN EL ACTO DE
INVESTIDURA DE DOCTOR *HONORIS CAUSA*
DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

D. KARL GOSER

PRESENTADO POR

D. ALBERTO PRIETO ESPINOSA



UNIVERSIDAD DE GRANADA
MMVI

C-62-16(10)

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL GRANADA	
Sala:	C
Estante:	62
Numero:	16(10)

DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN EL ACTO DE
INVESTIDURA DE DOCTOR *HONORIS CAUSA*
DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

D. KARL GOSER

UNIVERSIDAD DE GRANADA
MMVI



DISCURSO DE PRESENTACIÓN PRONUNCIADO POR EL
PROFESOR DON ALBERTO PRIETO ESPINOSA
CON MOTIVO DE LA INVESTIDURA DEL DOCTOR
DON KARL GOSER

© UNIVERSIDAD DE GRANADA
DISCURSOS DEL ACTO DE INVESTIDURA DE DOCTOR
HONORIS CAUSA DE D. KARL GOSER
Depósito Legal: GR. 916-2006
Edita: Secretaría General de la Universidad de Granada y
Editorial Universidad de Granada
Fotocomposición: Taller de Diseño Gráfico y Publicaciones, S. L. (Granada)
Imprime: Imprenta Comercial. Motril. Granada.

EXCELENTÍSIMO SR. RECTOR MAGNÍFICO,
ILUSTRÍSIMOS SRES. VICERRECTORES,
DECANOS Y DIRECTORES,
CLAUSTRO DE DOCTORES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA,
EXCELENTÍSIMAS E ILUSTRÍSIMAS AUTORIDADES,
SEÑORAS Y SEÑORES,

I

Permítaseme iniciar esta *laudatio* manifestando el agradecimiento de mis compañeros del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, y el mío propio, a las Juntas de la Facultad de Ciencias y de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos y de Telecomunicación, y a sus respectivos Decano y Director, y al Consejo de Gobierno y al Claustro de la Universidad, por haber aprobado la propuesta que ha conducido a que el profesor Karl Goser sea investido como Doctor *Honoris Causa* de la Universidad de Granada.

También deseo agradecer la presencia de todos los asistentes a este acto, y muy especialmente a los compañeros y amigos de la Universidad de París (profesora Marie Cottrell), Instituto Politécnico de Grenoble (profesor Jeanny Heralut), Universidad Católica de Lovaina (profesor Michel Verleysen), Politécnico de Turín (profesor Leonardo Reyneri), Universidad Politécnica de Cataluña (profesor Joan Cabestany),

Universidad de Málaga (profesor Francisco Sandoval), Universidad Miguel Hernández (profesor Eduardo Fernández), y Universidad de Alicante (profesor Sergio Cuenca), que se han desplazado hasta aquí para acompañarnos en estos solemnes momentos.

Este acto que aquí nos congrega no puede ser más oportuno, ya que supone el reconocimiento del carácter extraordinario y ejemplar de la labor realizada por el profesor Karl Goser, tanto profesionalmente como de colaboración con nuestra Universidad. A continuación voy a justificar mis palabras.

II

Analícemos, en primer lugar, algunos datos de su bibliografía y de su actividad científica.

Karl F. Goser nació en 1938, y obtuvo en 1962 el grado de Ingeniero en la Universidad Técnica de Stuttgart, donde, posteriormente y hasta 1965, fue contratado como profesor asistente, trabajando dentro del campo de la Resonancia Ferromagnética. En 1965 obtuvo en la institución indicada el título de Doctor Ingeniero, pasando, ese mismo año, a trabajar en el Laboratorio de Investigación de Siemens, en su central de Múnich.

Su labor en Siemens se puede estructurar en dos etapas. En la primera, de 1965 a 1974, investigó en Electrónica Criogénica, obteniendo en 1968 el Premio de la Information Technology Society (ITG)¹, por su contribución al desarrollo de la superconductividad. Su actividad más notable tuvo lugar durante los cinco años siguientes, en la segunda etapa, cuando fue director de departamento, en la División de Circuitos Integrados de Siemens AG, de Múnich. Él fue el máximo responsable de la concepción y diseño de los nuevos circuitos integrados (chips) propios de la empresa, entre los que se incluyen memorias,

microprocesadores, circuitos para telecomunicaciones, para control y para potencia. Tuvo a su cargo 113 investigadores y 127 personas más entre técnicos y administrativos. En esta etapa participó activamente en la obtención de 27 de las 46 patentes de que es coautor.

En 1979 vuelve a integrarse en la universidad, en este caso como catedrático en la Universidad Abierta (FernUniversität) de Hagen, y en 1983 en la Universidad Técnica de Berlín.

Durante 1985, se incorporó a la Universidad de Dortmund, llegando a ser Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica, y de la que, desde 2003, es catedrático emérito.

Como he indicado anteriormente, el profesor Goser es autor de 46 patentes; además ha publicado tres libros y más de 300 trabajos en revistas y en congresos especializados. El más reciente de sus libros (2004) está dedicado a la *Nanoelectrónica y los Nanosistemas*. Actualmente prepara otro sobre la *Sociedad de la Información*.

Goza de un gran prestigio en la comunidad científica, dentro de su campo, habiendo participado en los comités organizadores de gran cantidad de congresos. Por otra parte, ha sido miembro de la Junta de Dirección de la Asociación para Tecnologías de la Información (ITG, Information Technology Society), de la Sociedad Alemana de Microelectrónica y Micromecánica (GME/GMM, German Society of Microelectronics and Micromechanics), y presidente tanto de la sección de Formación Continua del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineering), Región 8, como de la Junta de Gobierno del Instituto de Circuitos y Sistemas Microelectrónicos (IMS, Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme) de Duisburgo.

También, de 1990 a 1997, fue miembro y presidente del Centro para Sistemas Expertos de Dortmund (ZEDO, Zentrum für Expertensysteme Dortmund) y, desde 1991, miembro de la Asociación Görres de la Academia de Ciencias de Bonn, siendo en 2003 presidente de la Sección de Ciencias Naturales y Tecnología.

1. La ITG es una sección de la VDE, Association of Electrical, Electronic and Information Technologies, que agrupa a más de 33.000 miembros.



III

Deseo referirme a continuación a la motivación de las líneas de investigación que hemos mantenido en colaboración con el Profesor Goser, y al fundamento de las mismas, que parten de las siguientes reflexiones:

1. Un ordenador (o un sistema electrónico, en general) es totalmente inservible si no se dispone de un modelo de la tarea a realizar suficientemente preciso como para expresarla en términos de un algoritmo. Así, por ejemplo, no podemos realizar un programa de computador eficiente para realizar funciones tales como percibir, razonar, aprender, adaptarse y actuar en entornos complejos de igual forma, o incluso superior, a como lo hacemos los humanos, por no disponer de modelos precisos de cómo realizar dichas funciones. Como no existe una formalización adecuada sobre cómo los humanos realizamos los procesos cognitivos, los métodos tradicionales de la informática no nos son válidos.

2. El ordenador, y más concretamente el procesador, es quien ejecuta los programas, y en definitiva quien implementa las tareas. El esquema convencional de ordenador se debe a von Neumann (1945), y esencialmente consiste en un sistema muy versátil que realiza unas u otras operaciones según le indique un programa en código máquina almacenado en la memoria del propio ordenador. Como especialistas en arquitectura de computadores no podemos discutir la utilidad de este modelo, probado exhaustivamente, pero, como científicos, nos preguntamos ¿no son posibles otros enfoques o alternativas más eficientes para la construcción de sistemas de procesamiento de la información?

Precisamente en la búsqueda de sistemas de procesamiento alternativos al de von Neumann, y que, por otra parte, no obliguen a

conocer el modelo conceptual del proceso a automatizar, es donde se han centrado algunas de las principales contribuciones del profesor Goser y su colaboración con nuestra universidad.

Más concretamente, existen diversas características y funciones de los seres vivos que los científicos e ingenieros tratamos de plasmar u obtener con el diseño de nuevos sistemas de información. Así, por ejemplo, observamos con admiración el comportamiento del cerebro como un maravilloso sistema de procesamiento de la información que ha sufrido un proceso de optimización paulatino gracias a las leyes de la evolución y la selección natural. Pretendemos trasladar ciertos procesos naturales de los seres vivos a los sistemas artificiales. Esta línea está dentro de una corriente interdisciplinar entre la neurociencia, psicología, física, informática y electrónica que trata de establecer modelos de procesos naturales y construir *Sistemas inteligentes de computación* que tratan de imitar (más o menos fidedignamente) la forma en que el hombre, los animales y otros sistemas biológicos procesan la información, evolucionan y aprenden procedimientos para resolver problemas. Entre las principales metodologías que utilizamos se encuentran:

- La *Neurocomputación*, que ofrece la posibilidad de diseñar redes de neuronas artificiales con las capacidades de aprender, generalizar, autoorganizarse, adaptarse e identificar.
- La *Lógica Difusa*, que incluye el cuerpo de conceptos y técnicas para tratar con la imprecisión, la granularidad de la información, y del razonamiento aproximado.
- La *Computación Evolutiva*, que da la posibilidad de la búsqueda aleatoria sistematizada con la consecución de un rendimiento óptimo mediante algoritmos que emulan algunos aspectos de la evolución genética: cruzamiento, mutación, y supervivencia y reproducción de los organismos mejor adaptados.
- La *Computación Reconfigurable*, que pretende construir sistemas con plasticidad; en los que, por ejemplo, su hardware (interconexionado) pueda adaptarse dinámicamente y en tiempo

real al entorno, o reconfigurarse ante un fallo de alguno de sus elementos con objeto de seguir funcionando, aunque sea con prestaciones menores.

Fundamentalmente dentro de estas líneas se han realizado nuestras colaboraciones. No obstante, como referirá el profesor Goser en su discurso, las últimas se han centrado en el campo de la NBIC (conjunción de la nanotecnología, biología, tecnologías de la información y ciencia cognitiva). Concretamente, en el estudio de nuevos materiales y procesos que permitirán el desarrollo de circuitos con dimensiones moleculares; es decir, del orden de una millonésima de milímetro, y que permitirán utilizar una nueva tecnología en los ordenadores del futuro. Se trata de prever las limitaciones de la tecnología microelectrónica actual en cuanto a su nivel de miniaturización. La miniaturización, además de la reducción del tamaño de los equipos electrónicos, conlleva mayor velocidad de funcionamiento y menores precios. El origen del problema que se trata de abordar radica en que la microelectrónica está llegando a producir circuitos integrados en los que sus componentes, en una decena de años y al ritmo actual, llegarían a ser tan diminutos que los átomos y electrones individuales jugarían un papel preponderante, no sirviendo en estos casos los modelos clásicos utilizados para la construcción de dichos chips. En otras palabras, la ley que en 1965 (hace 40 años) Gordon Moore estableció, según la cual cada año y medio la tecnología puede construir circuitos integrados con el doble densidad de integración, llegará a su límite. En cierta medida, la Ley de Moore es la que ha hecho posible (o tiene la culpa) de que cada año y medio, para estar al día, tengamos que cambiar nuestros ordenadores personales, afortunadamente con un incremento de prestaciones mucho mayor que el incremento de su precio.

Puedo concluir señalando que el pensamiento científico del profesor Goser se ha centrado y centra en los siguientes aspectos:

1. La búsqueda de nuevos procedimientos y circuitos dentro del campo de la microelectrónica
2. El desarrollo de nuevos conceptos, circuitos y sistemas para inteligencia computacional.
3. El estudio y análisis de las limitaciones de la microelectrónica, y del desarrollo de la nanoelectrónica, explorando los horizontes que ofrecen los computadores bioquímicos y basados en la electrónica cuántica.

IV

Pero no sólo ha sido la excelencia del profesor Goser el único motivo que nos ha llevado a proponerle como Doctor *Honoris Causa* de nuestra universidad, sino la fructífera colaboración que ha promovido entre su institución y la nuestra. Sólo quiero aportar unos datos: tres programas bilaterales para intercambio entre profesores (que han supuesto la movilidad de diez personas), la codirección de cuatro tesis doctorales, la realización conjunta de once publicaciones, la participación en dos cursos de verano organizados por el Centro Mediterráneo de la Universidad de Granada (siendo el director de uno de ellos), y su colaboración, como miembro del comité organizador, en tres congresos internacionales organizados en el seno de nuestra institución.

Promovió un acuerdo Erasmus entre ambas universidades, que ha llevado a la Universidad de Dortmund a distintos alumnos de Ingeniería Electrónica; y gracias a su gestión y prestigio se abrieron las puertas de varias empresas alemanas, entre las que cabe destacar a Siemens e Infineon, en las que se han colocado una veintena larga de Ingenieros Electrónicos titulados en nuestra universidad.

Creo sinceramente que, si nosotros somos generosos hoy con el profesor Goser concediéndole la mayor distinción académica de nuestra universidad, él no lo ha sido menos con nosotros.

Del profesor Goser tenemos muy buenos recuerdos, llamando nuestra atención tanto su curiosidad como científico como su ingenio como ingeniero. Prueba de su inquietud es que siempre al llegar a Granada, sin rubor, confiesa que viene buscando nuevas ideas y nuevos conceptos, preguntando y cuestionando sobre distintos aspectos de nuestro trabajo. Su curiosidad, muchas veces ingenua, nos recuerda la de un niño.

También puedo evocar que, en uno de nuestros paseos por la Playa de San Cristóbal en Almuñécar, me espetó: "Nous avons la technologie (...) mais vous avez le soleil"; después de yo protestar amargamente, me reanimó indicándome: "voyons, Alberto, console-toi, il est possible que vous atteignez notre technologie, mais nous ne pourrions jamais avoir votre soleil!".

Creo que sería injusto por mi parte olvidarme de las enormes cualidades humanas del profesor Goser. En este punto deseo apoyarme en dos refranes españoles que aquí se cumplen plenamente.

El primero de ellos sentencia "a mayor grandeza mayor llaneza", y su validez en este caso la podemos corroborar todos los que hemos sido agraciados con el premio de su amistad. Detrás del ingeniero, investigador y profesor está el hombre, a quien reconocemos no sólo su excepcional amabilidad y cortesía, sino también su gallarda noción de la amistad.

El otro proverbio establece: "detrás de todo gran hombre hay una gran mujer" (para evitar suspicacias sexistas he de decir que creo sinceramente que en este refrán se verifica la propiedad conmutativa: "detrás de toda gran mujer hay un gran hombre"). Con este refrán, en su versión original, me estoy refiriendo a la mujer del profesor Goser, Karin, que siempre ha tratado a todos los que hemos ido a Dortmund para realizar nuestras estancias de trábajo con una hospitalidad y afecto entrañables.

Como conclusión, puedo afirmar que la trayectoria profesional del profesor Goser, tanto en la industria como en la universidad,

la repercusión de sus desarrollos e investigaciones, y el apoyo dado a investigadores y a alumnos de nuestra institución, así como sus cualidades personales, le hacen sobradamente acreedor de la distinción que hoy se le otorga. Sinceramente creo que esta distinción no sólo honra y prestigia al profesor Goser, sino también a nuestra tetracentenaria Universidad de Granada, que hoy le acoge en el seno de su Claustro de Doctores.

Muchas gracias.

DISCURSO PRONUNCIADO POR EL DOCTOR
DON KARL GOSER
CON MOTIVO DE SU INVESTIDURA COMO
DOCTOR *HONORIS CAUSA*

NBIC AND THE CONVERGENCE IN SCIENCE

MAGNIFICENCE SIGNOR RECTOR,
HONOURABLE DEANS AND DIRECTORS,
DEAR COLLEAGUES AND FRIENDS,
LADIES AND GENTLEMEN,

It is a pleasure for me to be once more at the University of Granada and it is a great day for me to receive this outstanding distinction. Therefore I like to thank all people from the University of Granada for the distinction I am going to receive today.

The award of the Doctorate *Honoris Causa* has a special significance for me. First, it is obvious that this honor is a sign for the good and successful cooperation between the University of Granada and the University of Dortmund. Therefore the distinction concerns not only me but also all people involved in this cooperation. Second, it stands for our achievements in the fields of nanoelectronics and computational intelligence. And I am delighted that the hardware and its technology have been winning recognition.

The first item concerns the cooperation between the departments of both universities and the convergence in Europe. It occurs on all levels and from both sides on the scientific area mentioned above.

Professors, especially my friend professor Alberto Prieto and I, are involved in doctorate examinations, in writing research concepts and in preparing conferences, assistant professors took part in scientific work, and students went to lectures and prepared their thesis. We should not forget the pleasant part of the studies, the Summer Schools in the Centro Mediterraneo at Almunecar. An important condition for such a successful cooperation is the unconventional recognition of examinations and of the courses. In this case the Erasmus program organized by my colleague Klaus Schumacher at Dortmund and by Francisco Gamiz at Granada was very helpful. Even my secretary Christa learned Spanish to coach the students of Granada. For me it is exciting to participate in the convergence process in Europe, and world wide within globalization. At the beginning of my career I could not dream to participate in such a process. I thank you all for this opportunity.

In the following I will address some aspects of the second item, the scientific aspects of convergence, in past, at present, and in future. I like to embed it into a world wide trend, the vision of NBIC. This vision has been developed in the USA, and it has now reached the EU. The directory of the EU is developing a first draft about this subject. What means the abbreviation NBIC?

NBIC

NBIC stands for Nano + Bio + Info + Cogno, and has the message that the areas of nanotechnology, biology, information technologies and cognitive disciplines are converging to a huge scientific basis. The reason for this convergence is that the nanotechnology opens fundamental chances. The nanotechnology goes down to the level of molecules or atoms and gives us the possibility to construct in hardware what we want to get. The handling of single molecules or atoms is the basis for designing new materials, for realising new information systems or for creating new DNA sequences. Therefore

we may achieve a quantum step at the development of human mankind. That is the challenge of NBIC. In the following I will show you how the groups at the University of Granada and at the University of Dortmund are participating in this new wave successfully.

FROM MICROELECTRONICS TO NANOELECTRONICS

My department at the University of Dortmund is known for microelectronics and nanoelectronics, especially for its own silicon based technology which is an unique equipment for a university laboratory. We can process silicon wafers and produce integrated circuits for our students, our research projects and especially for the University of Granada, too. In this field we cooperate with the well-known company Infineon Technologies at Munich and with ELMOS, a small company at Dortmund. ELMOS is a spin-off of our laboratory. Today it offers about 800 workplaces and a turnover of 1 billion Euros. It is a partial activity to restructure the former steel and coal area of Dortmund. At Siemens and at Infineon respectively I have been working just from the beginning of microelectronics, so my work stood under the Moore's law. I have been in charge of all professional integrated circuits, logic and memories, for Siemens. Both companies are favorite places for Spanish students since they get to know the industrial practise.

Microelectronics and nanotechnology deliver the key elements for information systems. At Dortmund we started into the area of nanoelectronics as early as 1996: We processed MOS-transistors with a geometric gate length down to 30 nm using only conventional optical lithography in combination with a modified deposition and etchback technique for gate definition. At this method the thickness of a nitride layer which stands vertical determines the line width of the later nanostructure and the gate length of the MOS transistor. It masks the channel area during the ion implantation process. By this

way the processing of such nm-transistors needs no sophisticated technology. Peter Gloesekoetter, a scientist from Dortmund also well known at Granada, investigated on such nanoelectronics circuitry. By the way professor Ignacio Rojas was the director of his diploma thesis in 1997 and participated in his doctoral thesis in 2002.

The doctoral candidate from Brazil at Dortmund, GilsonWirth, studied mesoscopic transport phenomena behavior of such MOS transistors. They have shown reproducible unexpected transconductance oscillations in the characteristics of the drain current versus the gate voltage at low temperature. Such oscillations are typical for quantum effects. Even if some questions remain open, a model with quantum chaos and Coulomb blockade may best fit the experimental results. Though they are fairly reproducible, they remain quite complex. Therefore the mainstream will continue on silicon with classical MOS transistors the structures of which will end at about 10 nanometers. The continuing progress in electronics must fulfill the ever demanding needs of the information technology, as for the example computation grids, high speed data nets, and multithreading.

BIO INSPIRED SYSTEMS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

A further application is the area of artificial neural nets, the larger the net the better the performance. At Dortmund we started with a bio-inspired artificial neural net, which works as an associative memory. Such a neural system stores the data distributed over the whole memory matrix, so the storage is full associative and fault tolerant, similar to the memory of our brain. The self-organization of the brain can be modeled by self-organizing maps the basic idea of which comes from my colleague Teuvo Kohonen. We applied them for process control, especially for processes in microelectronics. Another example is a neural net with adaptive Hebbian inputs. We

employed a wheelchair as workhorse that is equipped with tactile, sonar and infrared sensors. Local navigation is a challenging task when a restricted kinetic system is considered. The experiments have shown that after learning the wheelchair is able to steer autonomously through narrow doorways. In another experiment the neural net controls a small vehicle, a Carrera racing car —known as toys— that drives on a slot-racetrack. Such a car could learn the difficulties of the racing track, so it can go with the highest possible speed, which offers a real challenge not only for children. Our setup was even shown in television.

Now we have been moving from sophisticated toys to the real world of racing cars. Carlos Castro-Serrato, electronic engineer and doctoral candidate from the University of Granada, built sophisticated electronic systems for the real world of F1 motor racing in co-operation with Infineon Technologies. In his system the Ferrari car has sensors, special amplifiers and analogue/digital converters, to verify the highest possible speed for such a car at a racing track. Carlos accomplished a thesis on a European level by working in a high-tech industry and in cooperation with a German University. He finished his thesis the day before yesterday.

COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND MICROELECTRONICS

From 1995 till 2005 our activities concentrated on computational intelligence, especially fuzzy systems, neural networks, genetic algorithms, and their interaction with microelectronics. A Fuzzy system implements linguistic rules of the type “If...., then....”, and delivers a conclusion via an inference block. Professor Ignacio Rojas from the University of Granada studied the different stages involved of the fuzzy inference and found new differential operators to perform the fuzzy inference; these operators have been suitable for integrated circuits some of which have been implemented in silicon in our

process line. At his examinations of diploma and doctoral thesis I was involved as a Director.

In a further step our works centred on the development of new software tools for the automatic construction of neuro-fuzzy systems. Their features as the topology, the number of rules, the magnitude of the membership functions, are constructed and adapted in an automatic way with no need for additional prior information. In this way professor Ignacio Rojas reached a synergy between the fuzzy system and other branches of computational intelligence, namely neural networks and genetic algorithms. He developed among others a system for the management of the water collection and distribution at Granada, which is a really sophisticated system installed in the foothills of the Sierra Nevada. At Dortmund we developed a fuzzy charger which allows charging the accumulators always in an efficient way without considering their past. The system was overtaken by industry so you find it in stores if you buy a home worker machine of a well-known company.

Our common research work was founded by a special project of the German Research Foundation (DFG, SFB 531). Within this project we have had the opportunity to invite our Spanish colleagues to Dortmund for participating in the research on Computational Intelligence. For example Alberto Prieto was Director at the examination of Andreas Kanstein who wrote the thesis entitled "Possibilistic Neural Networks for Process Modelling" and professor Ignacio Rojas has spent several months at Dortmund within this project.

The methods of computational intelligence can be applied to design basic integrated circuits. The evolutionary algorithm method considers a group of points instead of a single point, and it starts with a population generated by a design engineer. The critical parameters of such a basic circuit are power dissipation, signal delay and chip area. By applying the population-based evolutionary algorithm approach Jan Dienstuhl, one of my recent doctoral candidates in 2005, produced a set of data families for an integrated circuit. At the procedure only a subset of generated elements is selected for

the next generation, so that the overall fitness of population should increase with every generation leading to an improved circuit performance. Finally there exists a set of solutions that are better than other solutions when considering all objectives. This set is known as optimal solutions of the Pareto set. In this way we obtained an improvement of about 25 % concerning speed and of about 40 % concerning power consumption compared to a classically designed circuit. With self-organizing maps he could find the design data for a high robustness of the circuits, in this example a transmission gate flip-flop. These methods become very important for the circuit design today, and in future for nanoelectronics, too.

PERSPECTIVES OF NANOTECHNOLOGY

Our research work has shown that quantum effects in MOS transistors are quite complex so the technology has to go from the MOS transistors straight forward to switching molecules. One promising way offer carbon nanotubes. Another way offers molecular electronics where Manuela Alba Bueno, electronic engineer and doctoral candidate from the University of Granada, has been working on high density memories in the laboratories of Infineon Technologies; the presentation of her thesis will be tomorrow and it is directed by the professors Ignacio Rojas, Alberto Prieto and myself. Such memories use only one molecule for storing a bit. The molecule is attached between crossing lines and can be switched into two different resistive states. The interface to such a memory can be based on CMOS circuits. She uses a scanning electron microscope for handling and measuring the molecules. The density of such a memory is about 1 bit/100 nm² so that 10¹² bit can be stored on 1 cm². For comparison the human brain has only about 10¹¹ neurons. This example shows that nanoelectronics will offer great chances to our society. A similar research topic has been captured in the thesis of Martinez Alvarez, an electronic engineer of this University, di-

rected by the professors Francisco Pelayo y Leonardo Reyneri. The lecture of this thesis took place yesterday.

Both doctoral thesis's show that we have to look not only at a single device but also at concepts of complete systems with billions of devices. The challenge is to find the right architecture for a nanotechnology. That is a message of NBIC, too. At Dortmund we developed a pioneer course about nanoelectronics and nanosystems which propagates the potential of computational intelligence for nanosystems. The book is now spread all over the world, and it reached an edition of 5000, even 2500 in China. That also is a consequence of globalization.

The fact of NBIC is that natural sciences, engineering and human sciences are melting together and will give an impetus for a new wave in science and economics. Since far distant disciplines are coming together people is speaking about a radical interdisciplinary movement. The increasing convergence between technological and biological sciences will lead to fascinating applications that span from new diagnostic techniques to novel computing systems. While much has been promised and dreamed by speculative minds, the time has come for a sober assessment of the real possibilities and their impact in our society.

As you have seen University of Granada and University of Dortmund are active on nanoelectronics, information technology, and biological inspired concepts and we are on the way of NBIC. In this scenery we are in an excellent starting position with our interesting contributions. Some challenge directly goes to the University of Granada, as an old venerable and famous university, founded in 1523, and to the University of Dortmund, as a reform university founded 1967, to develop new concepts for convergence in science. Only if we can introduce a real interdisciplinary working method into the universities we can be really successful in this area, and we shall participate in preparing a new wave of Kondratieff cycle, a wave of prosperity and wealth.

PAST AND THANKS

The starting event for NBIC at Granada was the IWANN in 1991, organized by professor Alberto Prieto. This contact was the impetus of our cooperation with the University Granada, in which Ignacio Rojas, as well the professors Francisco Pelayo, Julio Ortega, Eduardo Ros and Hector Pomares have been actively participating. In addition we together are involved in European projects with partners from France, Italy, Belgium and Switzerland.

Meanwhile at Granada Alberto Prieto and his coworkers were building up from a small group the department of "Arquitectura y Technologica de Computadores". Since 1998 till now it grew to a respectable size; it is getting an international recommendation, it incorporates an important branch in science for the University, and it finally contributes to the further development of Europe and Spain. Andalusia offers a fine place for future European research activities because this place offers culture, nice landscape, mountains, and the sea, what do you want more! In this context I must emphasize that Alberto Prieto and his group have achieved a tremendous task by building up the department of computer architectures with international relationships and with the support by the authorities of his University.

Co-operation and convergence are fine goals; however, you need personal contacts, ideas with concrete projects and of course some financial background. That's the basis for success. However don't forget that all this work needs a personal basis. So I have to thank Alberto for the good and friendly partnership. This was the main premise of a successful co-operation. For our communication we are mostly using the French language, so I have to say to you Alberto:

Merci pour la bonne coopération et très amicalement...

All of you I wish further success in the research of NBIC, accompanied by peace, and a fruitful living together in the European community. Let me try to finish my talk in Spanish:

Es para mi todo un honor la distinción que me han concedido en el día de hoy, y deseo a la Universidad de Granada grandes éxitos en su labor. Mi agradecimiento a las autoridades universitarias, aquí representadas por el profesor David Aguilar, su Rector, y a todos ustedes les agradezco su atención.

¡Muchas gracias!

NBIC Y LA CONVERGENCIA EN LA CIENCIA

SEÑOR RECTOR MAGNÍFICO,
ILUSTRÍSIMOS DECANOS Y DIRECTORES,
QUERIDOS COLEGAS Y AMIGOS,
SEÑORAS Y SEÑORES

Es un placer estar una vez más en la Universidad de Granada siendo para mí hoy un gran día al recibir esta excelente distinción. Por tanto, me gustaría agradecer a todas las personas de la Universidad de Granada la distinción que voy a recibir.

El galardón de Doctor *Honoris Causa* tiene un significado especial para mí por dos motivos. En primer lugar, es obvio que este honor es una muestra de la buena y fructífera cooperación entre la Universidad de Granada y la Universidad de Dortmund. Por tanto, la distinción no solo me concierne a mí sino también a todas las personas implicadas en esta cooperación. En segundo lugar, simboliza nuestros logros en los campos de la nanoelectrónica y la inteligencia computacional. Además estoy encantado de ver que el "hardware" y su tecnología hayan logrado este reconocimiento.

El primero de los dos motivos anteriores concierne a la cooperación entre los departamentos de ambas universidades y a la convergencia

de éstos en Europa. Esta convergencia ocurre a todos los niveles y desde ambos lados del área científica mencionada anteriormente. Los profesores, especialmente mi amigo el profesor Alberto Prieto y yo, estamos envueltos en tribunales de tesis, escribiendo conceptos de investigación y preparando conferencias. Los profesores asistentes toman parte en el trabajo científico y los estudiantes asisten a las clases y preparan sus tesis. No debemos olvidar la parte placentera de los estudios, la escuela de verano del Centro Mediterráneo en Almuñécar. Una condición importante para una cooperación tan exitosa es el reconocimiento poco convencional de las tesis y de los cursos. En este caso, los programas Erasmus organizados por mi colega Klaus Schumacher, en Dortmund, y por Francisco Gámiz, en Granada, han sido muy productivos. Incluso mi secretaria Christa aprendió español para preparar a los estudiantes de Granada. Para mí es muy emocionante participar en el proceso de convergencia de Europa y del mundo entero dentro de la globalización. Al principio de mi carrera nunca imaginé que podría participar en tal proceso; así que os agradezco a todos esta oportunidad.

A continuación comentaré ciertos aspectos del segundo motivo por el cual este galardón tiene un significado especial para mí: los aspectos científicos de la convergencia en el pasado, el presente y el futuro. Me gustaría enmarcarlos dentro de una tendencia a nivel global, el desarrollo del concepto de NBIC. Este concepto ha sido desarrollado en EE UU, y ahora ha llegado a la UE cuyo directorio está elaborando un borrador sobre este tema. ¿Qué significa la abreviatura NBIC?

NBIC

NBIC representa Nano + Bio + Info + Cogno y nos traslada el mensaje de que las áreas de la nanotecnología, biología, tecnologías de la información y las disciplinas cognitivas están convergiendo hacia una misma gran base científica. La razón de esta convergencia

es que la nanotecnología abre unas oportunidades fundamentales (para las otras disciplinas). La nanotecnología desciende al nivel de moléculas o átomos y nos da la posibilidad de construir en hardware lo que nosotros deseamos. La manipulación de moléculas simples o átomos es la base para el diseño de nuevos materiales, para descubrir nuevos sistemas de información y para crear nuevas secuencias de ADN. Por tanto, gracias a ella, podemos dar un gran paso para el desarrollo de la humanidad. Éste es el reto de NBIC. A continuación mostraré cómo los grupos de la Universidad de Granada y la Universidad de Dortmund están participando con éxito en esta nueva disciplina.

DE LA MICROELECTRÓNICA A LA NANO ELECTRÓNICA

Mi departamento en la Universidad de Dortmund es conocido por la microelectrónica y nanoelectrónica, especialmente por su propia línea de producción tecnológica basada en silicio, que es un equipamiento exclusivo de los laboratorios de esta universidad. Podemos procesar obleas de silicio y producir circuitos integrados propios y producir también circuitos para la Universidad de Granada. En este campo cooperamos con la bien conocida compañía Infineon Technologies en Múnich y con ELMOS, una pequeña compañía en Dortmund. ELMOS es una empresa surgida a partir de nuestro laboratorio. Hoy en día ofrece cerca de unos 800 puestos de trabajo y tiene una facturación de un billón de euros. El reestructurar el antiguo área del acero y el carbón es una actividad parcial. En Siemens y en Infineon respectivamente he estado trabajando desde el comienzo de la microelectrónica, de modo que mi trabajo se mantuvo bajo la Ley de Moore. He estado a cargo de todos los circuitos integrados profesionales, lógicos y memorias para Siemens. Ambas compañías son lugares predilectos para los estudiantes españoles debido a que pueden conocer la práctica industrial.

La microelectrónica y la nanotecnología proporcionan elementos esenciales para los sistemas de información. En Dortmund comenzamos muy temprano en el área de la nanoelectrónica allá por el año de 1996: procesamos transistores MOS con una longitud de puerta geométrica de tan solo 30nm utilizando únicamente litografía óptica convencional en combinación con una deposición modificada y una técnica *etchback* para la definición de la puerta. En este método, el grosor de la capa de nitrito en posición vertical determina el ancho de línea de la posterior nanoestructura y la longitud de puerta del transistor MOS. Enmascara el área del canal durante el proceso de implantación de iones. De este modo, el procesamiento de estos nm-transistores no necesita una tecnología sofisticada. Peter Gloesekoetter, un científico de Dortmund también bien conocido en Granada, investigó sobre este tipo de sistemas de circuitos nanoelectrónicos. Por cierto, el profesor Ignacio Rojas fue el director de su diploma de estudios avanzados en 1997 y participó en su tesis doctoral en 2002.

El estudiante de doctorado en Dortmund proveniente de Brasil, Gilson Wirth, estudió el comportamiento del fenómeno de transporte mesoscópico en dichos transistores MOS. Estos han mostrado inesperadas oscilaciones de transconductancia reproducibles en las condiciones de corriente de drenador frente a las de voltaje de puerta a baja temperatura. Dichas oscilaciones son típicas de los efectos cuánticos. Incluso aunque algunas cuestiones siguen abiertas, un modelo con caos cuántico y bloqueo de Coulomb puede ajustarse perfectamente a los resultados experimentales. Aunque son bastante reproducibles, todavía son muy complejos. Por tanto, el área de investigación principal continuará con el silicio empleando transistores MOS clásicos cuyas estructuras acabarán teniendo unas medidas de unos 10 nanómetros. El continuo progreso en la electrónica debe cumplir las constantes exigencias de las tecnologías de la información, como, por ejemplo, para el caso de computación en *grids*, son necesarias redes de datos de alta velocidad y sistemas multihebra.

SISTEMAS BIOINSPIRADOS Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Una aplicación más lejana es el área de las redes neuronales artificiales, cuanto más grande es la red, mejor es el rendimiento. En Dortmund empezamos con una red neuronal bio-inspirada, que funciona como una memoria asociativa. Estos sistemas neuronales almacenan los datos distribuidos sobre toda la matriz de memoria, de modo que el almacenamiento es totalmente asociativo y tolerante a fallos, de forma similar a como actúa la memoria de nuestro cerebro. La autoorganización del cerebro puede ser modelada mediante mapas autoorganizativos cuya idea básica fue propuesta por mi colega Teuvo Kohonen. Nosotros aplicamos este paradigma en el control de procesos, especialmente para procesos en microelectrónica. Otro ejemplo es una red neuronal con entradas adaptativas Hebianas. Empleamos una silla de ruedas como elemento de trabajo, la cual estaba equipada con sensores de infrarrojos y de sonido. El problema de la navegación local es una tarea desafiante cuando es considerado dentro de un sistema cinético restringido. Los experimentos han mostrado cómo, después del aprendizaje, la silla es capaz de cruzar puertas estrechas de forma autónoma. En otro experimento, la red neuronal controla un pequeño vehículo, un coche de carreras que forma parte de un juguete en el que el coche circula por un circuito ranurado. Este coche podía aprender las dificultades del circuito, para poder circular a la máxima velocidad posible, lo cual ofrece un reto real para los niños a la hora de competir contra este coche. Nuestro montaje incluso fue mostrado por la televisión.

Ahora nos hemos trasladado de los juguetes sofisticados al mundo real de los coches de carreras. Carlos Castro-Serrato, ingeniero electrónico y estudiante de doctorado de la Universidad de Granada, ha construido, en cooperación con Infineon Technologies, sistemas electrónicos muy sofisticados para el mundo real de la competición de motor de la F1. En su sistema, el coche Ferrari tiene sensores, amplificadores especiales y convertidores analógicos/digitales para

verificar la máxima velocidad posible para dicho coche en un circuito de carreras. Carlos completó su tesis a nivel europeo trabajando en la industria de alta tecnología y en cooperación con una universidad alemana y la Universidad de Granada. Él leyó su tesis ayer.

INTELIGENCIA COMPUTACIONAL Y MICROELECTRÓNICA

Desde el año 1995 hasta el 2005, nuestras actividades se centraron en la inteligencia computacional, especialmente en los sistemas difusos, redes neuronales, algoritmos genéticos y en su interacción con la microelectrónica. Un sistema difuso implementa unas reglas lingüísticas del tipo “Si ..., entonces ...”, y proporciona una conclusión a través de un bloque de inferencia. El profesor Ignacio Rojas, de la Universidad de Granada, estudió las distintas fases implicadas en la inferencia difusa y encontró nuevos operadores diferenciales para realizar la inferencia difusa; estos operadores han sido desarrollados en circuitos integrados algunos de los cuales han sido implementados en silicio en nuestra línea de proceso. Participé en la dirección de su tesis y diploma de estudios avanzados.

En un paso adelante, nuestros trabajos se centraron en el desarrollo de nuevas herramientas de software para la construcción automática de sistemas neuro-difusos. Tanto la topología como el número y la magnitud de las reglas y las funciones de pertenencia son determinados y adaptados de forma automática sin necesidad de información adicional previa. En esta línea, el profesor Ignacio Rojas alcanzó una sinergia entre los sistemas difusos y otras ramas de la inteligencia computacional, particularmente redes neuronales y algoritmos genéticos. El desarrolló entre otros un sistema para la gestión de recogida y distribución de agua para Granada, éste es realmente sofisticado y está instalado en las laderas de Sierra Nevada. En Dortmund hemos desarrollado un cargador difuso para acumuladores que permite cargarlos de un modo eficiente sin considerar su

estado anterior. El sistema esta siendo utilizado a nivel industrial por una empresa de prestigio, y en efecto puede comprarse en tiendas de electrodomésticos.

Nuestro trabajo de investigación estaba subvencionado por un proyecto especial de la Fundación Alemana de Investigación (DFG,SFB 531). Dentro de este proyecto tuvimos la oportunidad de invitar a nuestros colegas españoles a Dortmund para participar en la investigación en Inteligencia Computacional. Por ejemplo, Alberto Prieto formó parte del tribunal de la tesis escrita por Andreas Kanstein titulada “Redes neuronales posibilísticas para el modelado de procesos”. Otro ejemplo de esta movilidad es la estancia durante varios meses del profesor Ignacio Rojas en Dortmund.

Los métodos de la inteligencia computacional pueden ser aplicados para el diseño de circuitos integrados. La técnica de los algoritmos evolutivos considera un grupo de puntos en lugar de sólo uno, y comienza con una población inicial. Algunos de los parámetros críticos en el diseño de circuitos integrados son la disipación de energía, el retraso en la señal y el área del chip. Mediante la aplicación de la estrategia de un algoritmo evolutivo basado en una población, Jan Dienstuhl, uno de mis estudiantes de doctorado en el 2005, produjo un conjunto de soluciones para el diseño de un circuito integrado. En el proceso sólo un subconjunto de los elementos generados es seleccionado para la siguiente generación, de modo que la aptitud total de la población debería incrementarse con cada generación permitiendo obtener un mejor rendimiento de los circuitos integrados. Finalmente existe un conjunto de soluciones que son mejores que otras soluciones teniendo en cuenta todos los objetivos. Este conjunto es conocido como las soluciones óptimas del Pareto. Gracias a esta metodología y comparando con los circuitos diseñados clásicamente, obtuvimos una mejora del 25 por ciento en la velocidad del circuito y sobre un 40 por ciento en el consumo de energía. Con mapas autoorganizativos este estudiante pudo encontrar los datos de diseño que proporcionaban una alta robustez en los circuitos, que para este ejemplo concreto se trataba de una puerta de transmisión *flip-flop*.

Estas técnicas son muy importantes para el diseño de circuitos hoy en día, y en un futuro también para la nanoelectrónica.

PERSPECTIVAS DE LA NANOTECNOLOGÍA

Nuestro trabajo de investigación ha mostrado que los efectos cuánticos en los transistores MOS son bastante complejos; esto nos indica que la tecnología debe ir directamente de los transistores MOS a las moléculas conmutadoras. Un camino muy prometedor lo brindan los nanotubos de carbón. Otro camino muy importante es la electrónica molecular, en la que Manuela Alba Bueno, ingeniera electrónica y estudiante de doctorado de la Universidad de Granada, ha estado trabajando sobre memorias de alta densidad en los laboratorios de Infineon Technologies; la presentación de su tesis será mañana y ha estado dirigida por Ignacio Rojas, Alberto Prieto y yo mismo. Dichas memorias usan solamente una molécula para almacenar un bit. La molécula está fijada entre dos líneas que se cruzan y puede conmutar entre dos estados distintos. La interfaz para este tipo de memorias puede estar basada en circuitos CMOS. Durante su investigación utilizó un microscopio de escaneo de electrones para manejar y medir las moléculas. La densidad de estas memorias es de 1 bit/100 100 nm² de modo que 10¹² bits pueden ser almacenados en 1 cm². Como comparación, el cerebro humano tiene 10¹¹ neuronas. Este ejemplo muestra que la nanoelectrónica ofrecerá grandes oportunidades para nuestra sociedad. Una investigación similar se ha desarrollado en la tesis de Martínez Álvarez, un ingeniero electrónico de esta universidad, dirigida por los profesores Francisco Pelayo y Leonardo Reyneri. La defensa de esta tesis tuvo lugar ayer.

Ambas tesis doctorales muestran que no tenemos que pensar únicamente en un único dispositivo sino también en sistemas completos con billones de dispositivos. El reto es encontrar la arquitectura apropiada para la nanotecnología. Esto también es parte del mensaje de NBIC. En Dortmund hemos desarrollado un

curso pionero sobre nanoelectrónica y nanosistemas que propagan el potencial de la inteligencia computacional para nanosistemas. El libro se ha difundido por todo el mundo, y se han llegado a editar 5.000 ejemplares, e incluso 2.500 en China. Esto también es una consecuencia de la globalización.

El reto de NBIC es que las ciencias naturales, ingenierías y ciencias humanas están fundiéndose juntas y darán un impulso para una nueva tendencia en la ciencia y en la economía. Debido a que estas disciplinas tan distantes están uniéndose, la gente habla sobre un movimiento radical interdisciplinario. La creciente convergencia entre las ciencias de la tecnología y la biología conducirá a aplicaciones fascinantes que van desde nuevas técnicas de diagnóstico hasta novedosos sistemas computacionales. Mientras se prometía y soñaba por mentes especulativas, el tiempo ha dado una sobria valoración de las posibilidades reales y de su impacto en nuestra sociedad.

Como han visto, la Universidad de Granada y la Universidad de Dortmund trabajan de forma activa en la nanoelectrónica, tecnologías de la información y conceptos bio-inspirados y estamos en el camino del reto de NBIC. En este escenario estamos en un excelente punto de partida con nuestras interesantes contribuciones. Algunos retos van directamente a la Universidad de Granada, como una venerable y famosa universidad, fundada en 1531, y a la Universidad de Dortmund, como una universidad de reforma fundada en 1967, para desarrollar nuevos conceptos para la convergencia de la ciencia. Solo si podemos introducir una metodología real de trabajo interdisciplinario en las universidades, podremos tener éxito en esta área, y nosotros participaremos en la preparación de una nueva onda del ciclo de Kondratieff, una ola de prosperidad y abundancia.

PASADO Y AGRADECIMIENTO

El evento de partida para el NBIC en Granada fue el IWANN en 1991, organizado por el profesor Alberto Prieto. Este contacto fue

el impulso para nuestra cooperación con la Universidad de Granada, en la cual Ignacio Rojas, además de los profesores Francisco Pelayo, Julio Ortega, Eduardo Ros y Héctor Pomares, ha participado activamente. Además, juntos estamos envueltos en proyectos europeos con compañeros de Francia, Italia, Bélgica y Suiza.

Mientras tanto, en Granada, Alberto Prieto y sus colaboradores estaban construyendo a partir del pequeño grupo, el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Desde 1998 hasta ahora ha crecido hasta un tamaño respetable; está obteniendo reconocimiento internacional, incorpora una nueva rama de la ciencia en la universidad, y finalmente contribuye al posterior desarrollo de Europa y España. Andalucía ofrece un buen lugar para futuras actividades de investigación europeas porque este lugar ofrece cultura, paisajes bonitos, montañas y el mar, ¡que más se puede pedir! En este contexto debo enfatizar que Alberto Prieto y su grupo han logrado una tarea tremenda al formar el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, creando relaciones internacionales y con el apoyo de las autoridades de su universidad.

Cooperación y convergencia son objetivos delicados; sin embargo, se necesitan contactos personales, ideas con proyectos concretos y por supuesto financiación. Ésta es la base para el éxito. Sin embargo, no olvidemos que todo esto necesita una base personal. Así que tengo que agradecer a Alberto la buena y amigable cooperación. Ésta fue la premisa principal de una exitosa cooperación. Para nuestra comunicación hemos usado mayormente el francés, así que debo decirte:

Merci pour la bonne coopération et très amicalement...

Os deseo a todos vosotros más éxitos en la investigación de NBIC, acompañados por la paz y por una fructuosa vida juntos en la Comunidad Europea. Permitanme terminar mi discurso en español:

Es para mí todo un honor la distinción que me han concedido en el día de hoy, y deseo a la Universidad de Granada grandes éxitos en su labor. Mi agradecimiento a las autoridades universitarias, aquí representados por el profesor David Aguilar, su Rector, y a todos ustedes les agradezco su atención.

¡Muchas gracias!