

Inteligencia Ambiental y Nanotecnología: El Paso del Bit al Átomo

Verónica M. Venturini*

veronica.venturini@gmail.com

Resumen

El avance de internet a la web 2.0 ha dejado abierto el camino para dar lugar a la web 3.0 o “el internet de las cosas”, ahora denominada Inteligencia Ambiental. Hablamos de un escenario con sensores inmersos por todo el entorno. Cada uno de estos dispositivos requiere de la mayor miniaturización posible, pero con un alto rendimiento en cuanto a procesamiento y almacenamiento de datos. En vista a la construcción de dichos dispositivos, se estudia la nanotecnología, la cual está dando lugar a la transición del bit al átomo.

Palabras claves: inteligencia ambiental, fibras inteligentes, nanotecnología, nanociencia, nanomemoria.

1. Introducción

En el pasado, la producción de PCs en masa, la infraestructura de Internet y la telefonía celular, impulsaron el crecimiento de la industria de los semiconductores. Hoy en día, estamos entrando a un mundo, en el cual los objetos a nuestro alrededor se convierten en microsistemas inteligentes que interactúan, a través de sensores y actuadores

* La autora es Ingeniera en Informática por la Universidad Católica de Salta y Máster en Ciencia y Tecnología Informática por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), en el área de Inteligencia Artificial. Pertenece al grupo de Investigación GIAA (Grupo de Inteligencia Artificial Aplicada) de la UC3M, donde se encuentra desarrollando su tesis doctoral relacionada a Sistemas Multi-Agentes para entornos de Inteligencia Ambiental. Además es profesora de Ingeniería Informática en la Universidad Católica de Salta.

inalámbricos, con otros dispositivos y con la gente. Estamos inmersos dentro de un entorno inteligente.

Cuando hacemos referencia a ambientes inteligentes, debemos aclarar un concepto relevante, el de la Inteligencia Ambiental (Aml). La Aml (Peters 2004) representa un entorno natural con tecnología oculta, a diferencia de las cajas electrónicas a las que los consumidores están acostumbrados. Ahora bien, para ello, con el afán de llegar a todos los escenarios posibles, la interfaz hombre/máquina tiene que ser muy simple y la tecnología debe estar disponible en todo momento. Un claro ejemplo, y bastante familiar, es el airbag de los automóviles.

Por su parte, tanto en el área de la medicina como en el de los cuidados de la salud, se espera un gran cambio para las generaciones venideras, lo que trae aparejado la necesidad de cambios en las capacidades de computación y de redes disponibles hoy en día. La *nanotecnología*, en cuanto a salud se refiere, es quien juega un rol fundamental en todo ello. Es la ciencia del futuro que nos lleva a la miniaturización, con alto grado de procesamiento de información. Peters (2004) afirma que la *nanotecnología* cobra relevante importancia tanto en la administración de medicinas como en la realización de diagnósticos. Todo lo que se aplica en este ámbito de la medicina, es llevado a cualquier otro dominio. Las aplicaciones en el hogar, la oficina o el automóvil, requieren de plataformas con mayor precisión en el procesamiento de la información.

Ahora bien, según Peters, para alcanzar esta tecnología, es necesario combinar diferentes áreas y trabajar con distintos especialistas, como por ejemplo, gente de la medicina, diseñadores de sistemas, desarrolladores de software, ingenieros electrónicos, diseñadores de chip, entre otros. De esta manera es posible asegurar la construcción de sistemas complejos y chip digitales que puedan funcionar de acuerdo a las necesidades de aplicación.

Los recientes desarrollos en micro y nano tecnología, el poder de cómputo actual y la comunicación inalámbrica proveen la plataforma ideal para las medidas biomédicas, el monitoreo de la salud y en general, la asistencia a los humanos. Es así como surge la *Nanociencia* (Fanet 2005), definida como la ciencia que estudia las propiedades físicas, químicas y biológicas de los nano-objetos, además de analizar cómo producirlos, y cómo pueden ser ensamblados por la autoorganización. Y dentro de esta ciencia revolucionaria, surge la *Nanotecnología* (Fanet 2005), la cual cubre todos los métodos que

pueden ser usados para trabajar a una escala molecular para reorganizar los componentes de los objetos y materiales, incluso progresando a la escala macroscópica.

En este trabajo se analizará el actual desarrollo y la integración de micro y nano tecnologías que permiten la visión de futuro de la inteligencia ambiental. Los Sistemas de Inteligencia Ambiental están totalmente abiertos a nuevas posibilidades para futuras aplicaciones y a mercados resultantes. Estos sistemas crean entornos inteligentes que se adaptan continuamente a las necesidades del individuo en la vida cotidiana. Además, aprenden y evolucionan para anticipar las necesidades del usuario. En el presente trabajo, hablaremos de las investigaciones en curso en las áreas de sensores, la comunicación, el embalaje y la infraestructura de hardware necesarios para el desarrollo de ambientes con aplicaciones inteligentes.

2. Inteligencia Ambiental

“Inteligencia Ambiental” es una frase utilizada para describir un mundo en el cual lo “inteligente” se encuentra embebido prácticamente en todo lo que nos rodea (van Houten 2005). En este nuevo mundo del software inteligente las computadoras monitorean nuestras actividades, rutinas y comportamientos para predecir lo que nos gustaría realizar en un instante de tiempo con el objetivo de facilitarnos las tareas cotidianas. Es decir, son entornos digitales que son sensibles y que reaccionan a la presencia de personas (van Houten 2005). No se trata de una visión puramente técnica, sino de una visión orientada a los humanos. La dimensión emocional es crucial. En este sentido, puede ser visto como un espejo del mundo de la computación discreta presentada por Mark Weiser en 1993, y de la visión sociológica de la interacción humano-medio de Nass y Reeves (1998). ¿Qué se necesita para que un entorno sea verdaderamente un "ambiente inteligente"? Un requerimiento clave es que muchos dispositivos invisibles o discretos deberían distribuirse en todo el entorno, para poder conocer el estado actual de la persona. Estas unidades deberían ser personalizadas, de manera tal que sus funciones se adapten a las necesidades específicas del usuario. Además, deben ser adaptativas, es decir permitir el aprendizaje y el reconocimiento de personas. Y, en última instancia, deben ser anticipadas, es decir, conocer los deseos del usuario previamente, sin necesidad de que haya ingresado datos para dicho fin.

En relación a las comunicaciones y las interfaces de convergencia y adaptación del usuario, la Aml promete una mayor facilidad de uso en un entorno capaz de reconocer y responder a la presencia de diferentes individuos de una manera fluida, discreta y, a menudo, invisible. Si bien la mayoría de los participantes hablan de "la Aml en colores", también hay un lado oscuro de la Aml (Wright et al. 2008), pues no se sabe hasta donde se podrá llegar con la creación de hardware de alto rendimiento para su implementación.

Se espera que en un futuro cercano, todos los productos manufacturados – nuestras ropas, dinero, aparatos, las pinturas de nuestras paredes, las alfombras del piso, nuestros automóviles – lleguen a nosotros embebidos de inteligencia, de redes de sensores y actuadores diminutos, que algunos han denominado "partículas inteligentes" o el "Internet de las Cosas". El mundo de la Aml no es tan lejano. El mercado cuenta al momento de sistemas de vigilancia, biometría, comunicadores personales, aprendizaje automático y más.

En pocas palabras, el ambiente inteligente (Wright et al. 2008) nos proveerá de servicios personalizados – que sabrán más sobre nosotros - en una escala diminuta hasta ahora no disponible.

3. Aplicaciones de la Inteligencia Ambiental

En este apartado, vamos a focalizarnos en escenarios claves de Inteligencia Ambiental, para posteriormente analizar cuales son los requerimientos de hardware de este nuevo paradigma, y como la tecnología micro-nano, puede ayudar en su avance.

En (ISTAG 2001) se describen distintos escenarios de cara al manejo de la información en el futuro dentro del ambiente de la Aml. A continuación se presentan, y posteriormente se narran otros escenarios planteados para el cuidado de la salud.

3.1. María y su P-Com

María arriba al aeropuerto de un país. Ella sabe que ahora puede viajar más ligera que una década atrás, pues al menos, la información personal es totalmente digital, ya no le hace falta cargar con su pasaporte, papeles del visado, ni tampoco con esa cantidad de aparatos electrónicos (portátiles, teléfono móvil, agendas electrónicas, etc). Su sistema de computación para este viaje se reduce tan solo a

una unidad de comunicación altamente personalizada, su P-Com, que lleva en su muñeca.

María ha alquilado un vehículo. Con sólo pulsar un botón de su P-Com, el coche se abre a medida que ella se acerca. Ya no es necesaria una llave. Ella tiene una reserva en el estacionamiento del hotel. Esto normalmente tiene un costo adicional, pero su agente software inteligente personal, se encarga de negociar con el agente de la agencia de alquiler y con la cadena hotelera.

Una vez que baja del vehículo estacionado, un conserje la recibe y la acompaña a su habitación. Cuando ingresa, las condiciones del lugar se personalizan de acuerdo a cual es la temperatura habitual, las luces, la música que prefiere, y hasta puede elegir algún video para reproducir en la pantalla. Pero decide llamar a su hija, para lo cual utiliza el control remoto e inicia una video conferencia a través de dicha pantalla.

3.2. Dimitrios y el Digital-Me

Son las cinco de la tarde. Dimitrios, un empleado de 32 años de antigüedad del mejor restaurante multinacional, se encuentra en la cafetería con su jefe y algunos colegas. No quiere excederse en esa pausa, por lo tanto se encuentra recibiendo todo el tiempo llamadas y mails.

El se siente 'orgullosa' de estar en comunicación con 'la humanidad', al igual que muchos de sus amigos. Dimitrios se está agotando; un conjunto de sensores, embebidos en la ropa (o en su propio cuerpo) se percata de ello, y una voz activa su avatar digital, familiarmente conocido como 'D-Me' o 'Digital Me'. Un D-Me es un dispositivo de aprendizaje, aprendizaje acerca de Dimitrios y su interacción con el medio ambiente. A la vez este es un dispositivo que actúa ofreciendo otras funcionalidades, como ser comunicación, procesamiento y la toma de decisiones. Dimitrios ha tenido que configurar o programar algunos detalles, pero sólo al principio. Sabe que hoy en día puede actualizar esos datos iniciales periódicamente, pero no lo hace, pues confía plenamente en que su D-Me lo ha hecho por él. Dimitrios se basa en las reacciones inteligentes de este dispositivo.

En un momento el D-Me de Dimitrios recibe una llamada de su esposa, y le responde explicando el porqué de su retraso. Mientras, también llega un mensaje del D-Me de una persona anciana que se encuentra en la estación de metro y ha olvidado en casa su medicina, y

desea saber cuál es el camino más corto para encontrar una farmacia que disponga de la misma. Como el D-Me de Dimitrios sabe que es la misma medicina que utiliza su jefe, se contacta con el D-Me de este hombre para aconsejarle.

3.3. Tecnología para Toilets Inteligentes

En el marco de trabajo del proyecto *Friendly Rest Room* (FRR), financiado por la Unión Europea, se han desarrollado y evaluado distintos prototipos de toilets adaptados a las necesidades de ancianos y discapacitados (Edelmayer et al. 2005).

Estos prototipos de toilets inteligentes y amigables para el usuario, son capaces de ajustarse automáticamente a las necesidades individuales del usuario, en particular a las personas con discapacidades o a los ancianos, gracias a la aplicación de las tecnologías de sensores integrados. Un alto porcentaje de la población mundial se encuentra en estas condiciones, lo que las obliga a permanecer en casa, en vez de poder hacer una vida normal. Por ello, este proyecto se enfoca a la creación de toilets inteligentes en sectores públicos (museos, aeropuertos, geriátricos, etc).

En cuanto a hardware, los sensores utilizados en el prototipo son: *Sensores de posición*, para medir la altura y la inclinación del asiento; *Sensores de fuerza*, llevan la distribución de la fuerza de acuerdo a la actividad de la persona, por ejemplo al sentarse, acomodarse o pararse; *Sensores de seguridad*: para reconocer fallas y disparar una alarma en caso de emergencia; el *Sistema RFID*: se utiliza la tecnología de etiquetas RFID para recolectar las preferencias del usuario (ej. Altura predefinida, inclinación, etc.). El módulo de lectura trabaja a 125 kHz con una antena simple usada para detectar las etiquetas RFID de los usuarios del sistema. Cuando el usuario entra al toilette, es detectado por el sistema y sus configuraciones de preferencias pueden ser evocadas.

RFID (siglas de *Radio Frequency IDentification*, en español: Identificación por radiofrecuencia) es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, transpondedores o tags RFID. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Una etiqueta RFID es un dispositivo pequeño, similar a una pegatina, que puede ser adherida o incorporada a un producto, animal o persona. Cada etiqueta contiene

una antena que permite recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Las etiquetas pasivas no necesitan alimentación eléctrica interna, mientras que las activas sí lo requieren. Una de las ventajas del uso de radiofrecuencia (en lugar, por ejemplo, de infrarrojos) es que no se requiere visión directa entre emisor y receptor.

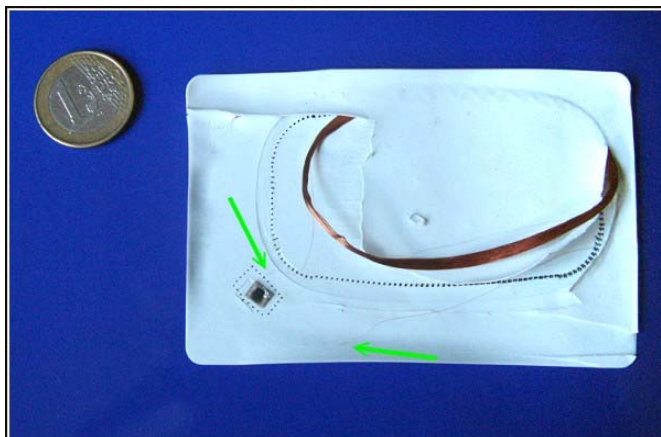


Figura 1: Comparación de un chip RFID con una moneda de un euro.

Actualmente el sistema es evaluado en un centro de cuidados de pacientes con esclerosis múltiple y los resultados muestran que logra mejorar la calidad de vida del paciente.

3.4. Sensores textiles en cubrecamas

Los ancianos en cama tienen tendencia al decúbito, incontinencia, pérdida de consciencia, sudoración, ritmo cardíaco alto y condiciones similares. Las personas con demencia tienden a escaparse de la cama (Richter y Möbius 2005). Una vigilancia regular, hace posible conocer el estado actual del paciente y si es necesario activar una respuesta. La medición rápida de ciertos parámetros (temperatura, presión, humedad, etc.) sirve como base para las decisiones requeridas.

El sistema desarrollado para asistir al cuidado de este tipo de personas, consiste en un cubrecama con sensores, un dispositivo electrónico para el procesamiento de señales y una Pc para almacenar y procesar los datos. Los sensores del cubrecama deben ser muy pequeños, o directamente, venir incluidos desde su fabricación textil como se explica a continuación en el análisis de la *ropa inteligente*.

Un grupo de científicos estadounidenses ha desarrollado nuevas fibras, similares a un cepillo (Figura 2), capaces de generar energía eléctrica con el movimiento. Al tejer estas fibras se podría permitir a los diseñadores crear ropa "inteligente" que con el movimiento del cuerpo, generaría energía para poder hacer funcionar aparatos electrónicos portátiles. La circulación del aire, las vibraciones, entre otras, son energía mecánica que puede ser utilizada para suministrar carga a varios dispositivos.

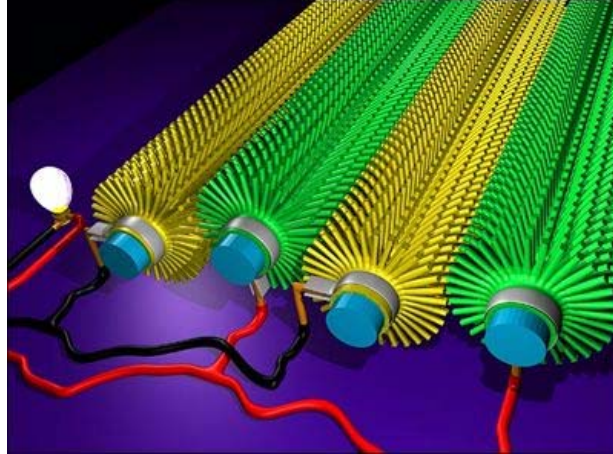


Figura 2: Nanofibra.

Cada microfibra consiste en un tallo de fibra de Kevlar y en una serie de cerdas de nano alambre de óxido de zinc. En cada par de fibras, una está recubierta de oro (amarillo), que al friccionarse con las fibras sin recubrimiento (verdes) produce electricidad (News Soliclima 2008).

3.5. Ropa Inteligente y Dispositivos Asociados para el Seguimiento Biomédico Ambulatorio

En el apartado anterior hemos presentando un nuevo concepto que revolucionará la industria textil: las fibras inteligentes. En el siguiente caso de estudio, mostramos la aplicación de dichas telas en la construcción de la vestimenta cotidiana.

Los cambios en la sociedad actual están relacionados con los cambios en el estilo de vida (Dittmar y Lymberis 2005), la necesidad de bajar los costos en el cuidado de la salud, la mejora y el monitoreo de la calidad de la misma, y enfoques relacionados a su prevención.

Además, los pacientes y consumidores de la salud están a la espera de métodos sin dolor, que no sean traumáticos ni invasivos, para el diagnóstico y tratamiento, cuidado en el hogar, métodos ambulatorios, estadías cortas en el hospital, uso de la telemedicina, rehabilitación, información y tratamientos.

La ropa inteligente que está en contacto con todas las fuentes de información, nos da la posibilidad de ubicar los sensores de manera no invasiva, para intentar dar solución al sector de la salud. Estos sensores tienen que ser delgados, flexibles y compatibles con lo textil, o contruidos usando tecnología textil, nuevas fibras con propiedades específicas: mecánicas, eléctricas, ópticas, entre otras cuestiones.

Las investigaciones van en 2 directrices, por un lado, proveer de mayor relevancia a cada sensor y por otro, incrementar la cantidad de sensores para tener mayor control global y robustez en la información.

La ropa inteligente biomédica, actúa como una interfaz humana para incrementar el conocimiento sobre la salud y trasladar ese conocimiento en una retroalimentación personalizada al usuario, en cualquier situación: en materia de salud, para ciudadanos en riesgo y en actividades profesionales, deportivas y militares.

3.6. Nuevas fibras, nuevas funciones

En este desarrollo, la industria textil juega un rol importante. El 90% del cuerpo se encuentra en contacto con un trozo de tela. Por lo tanto, sensores, micro sensores y micro sistemas, pueden ser incluidos fácilmente en las telas debido a pequeños tamaños y flexibilidad que ofrecen, como comentamos en la sección anterior. Ahora bien, hay dos tipos de ropa inteligente:

1. Ropa inteligente con sensores cerca de la piel, de uso biomédico. Los sensores se incluyen en la capa de tejido o en su superficie o es el tejido mismo que se utiliza como sensor. Los sensores están ubicados en el lugar correcto, están protegidos, no son visibles, por lo tanto discretos, se adaptan al monitoreo.
2. Ropa inteligente con dispositivos de bolsillo (los sensores vienen incorporados en los bolsillos de las prendas desde fábrica): Muchas nuevas funciones pueden agregarse a la ropa usando micro-tecnología, radio, computadoras, pantallas flexibles de TV, teléfonos celulares, pero también células solares y sistemas

recuperadores de energía y teclados flexibles. Algunos de estos dispositivos usados para monitoreo, pueden ubicarse en bolsillos especiales de la ropa (GPS, detectores de caída, registradores de datos, acelerómetros, detectores de actividad).

Los datos que suministran ambos tipos de vestimentas, proporcionan datos sobre posición del cuerpo, saturación del oxígeno en la sangre, respiración abdominal, electrocardiogramas y diagnósticos de sueño entre otros.

4. La necesidad de la nanotecnología en la Inteligencia Ambiental

4.1. Nuevas interfaces, nuevas tecnologías

Las actuales interfaces hombre-máquina son pobremente adaptables a las unidades móviles del futuro. Las pantallas consumen mucha energía y los teclados no son cómodos. Las nuevas interfaces deben ser concebidas, incorporando imágenes de retina, reconocimiento de voz y enlaces directos a la actividad neuronal. Las nanotecnologías ofrecen ventajas obvias en dichos campos, y especialmente en la biología. Estas interfaces precisan nuevas arquitecturas y mayor sinergia entre el software y el hardware. Es bueno saber que cuando el consumo de energía de un sistema tiene que ser reducido, el ahorro más importante de energía se consigue al llevar el procesamiento al nivel del sistema, es decir, reduciendo el intercambio de datos y el ajuste dinámico de parámetros funcionales. Estos estudios son actualmente llevados adelante por el LETI (Electronics and Information Technology Laboratory) y el LIST (Systems and Technology Integration Laboratory), ambos de la CEA (Comisión de Energía Atómica de Francia).

4.2. Tecnología necesaria para la Aml

En los principios de la industrialización, los sensores de datos empezaron a comunicarse usando el concepto de neumáticos (Delsing y Lindgren 2005). Seguidamente surgió el paradigma de la señal eléctrica para la comunicación de los sensores. Después de esto, con la introducción de las computadoras y la electrónica digital, los sensores empezaron también a ser digitales. Los altos requerimientos de la Aml necesitan de avances tecnológicos a gran escala.

A continuación se destacan algunos puntos indispensables a tener en cuenta para el desarrollo de la Inteligencia Ambiental:

- El principal requisito es lograr un tiempo de vida mayor a 5 años.
- El tiempo de respuesta en la red depende de los tiempos de respuesta de los sensores físicos, del sistema de sensores y de la latencia de la red. En este sentido cobra relevancia el protocolo de comunicación, el cual debe manejar apropiadamente el procesamiento de la señal y el empaquetado de datos.
- Otro punto está en la miniaturización de los sensores distribuidos: el problema general es analizar cuán pequeño se puede hacer un dispositivo EIS (Embedded Internet System) y qué funcionalidades requiere.
- Es necesaria una red ad hoc: la idea se centra en que cada dispositivo podría tener una dirección IP, pero en el nivel más bajo del modelo OSI surgen algunas cuestiones a resolver como ser: de qué manera establecer la conexión de red, cómo distribuir los números de IP y cómo asegurar el direccionamiento en IPv4. Para llevar a cabo esta idea, se considera necesario que el servidor de DNS sea capaz de reconocer los números IP del EIS y a la vez, que estén disponibles a través de Internet. Quizá sea una aproximación demasiado ambiciosa, pero no imposible.

La demanda en cuanto a velocidad de conexión y continuidad de información a manejar en los años venideros, requiere de grandes esfuerzos y alto rendimiento en el diseño de hardware. La convergencia entre la computación, las telecomunicaciones y la multimedia se encuentra actualmente bajo el camino de nuevos escenarios, como ya hemos mencionado, los escenarios de la Inteligencia Ambiental (Fanet 2005).

El futuro de los sistemas de comunicación se analiza desde el punto de vista de la integración de los humanos en la www. Con lo cual en este tipo de sistemas complejos debe involucrarse tres conceptos principales (Fanet 2005): el nodo fijo, el nodo móvil y los dispositivos de comunicación.

El nodo fijo (denominado también watt node): es una estación de procesamiento de datos combinada con más capacidad de almacenamiento que permite procesar volúmenes de datos de entrada enviados sobre INTERNET y redireccionados a todo tipo de objetos de

comunicación. Su poder computacional debe ser superior a los 100 Gops/watt², lo que es 3 veces mayor magnitud de los microprocesadores de las PCs actuales, y almacenamiento mayor a los terabytes (Tb), lo que corresponde a la grabación de datos durante todo el tiempo de vida del usuario. Un nodo de este tipo puede ser un dispositivo de hardware de una casa inteligente o un integrado de un vehículo inteligente.

El nodo móvil: cómo se maneja el almacenamiento de datos en la nanotecnología. El nodo móvil, también denominado milliwatt node, es un sistema móvil de alto rendimiento que permite interactuar con otros nodos y procesar el almacenamiento y la transmisión de datos localmente. El poder computacional de difusión es entre 10 y 100 Gops/w. Pero aún falta integrar una memoria no volátil de bajo costo para tomar datos del entorno local, como backup para los transistores ultra pequeños (Nanotransistores). Toda persona llevaría un Asistente Universal Personal (UPA), a batería o a pilas. Este proveería de una conexión inalámbrica multimodo adaptativa y banda ancha a la web, para el espacio personal, y para la Red de Area Corporal (BAN). Nótese que un UPA tiene que lograr un conjunto de tareas dinámicas concurrentes en tiempo real que se adapte a los deseos del usuario, y a los servicios provistos por el entorno.

La unidad de comunicación embebida: Arrancando desde los tag RFID hasta los sensores del entorno, los dispositivos de comunicación embebidos son hardware de muy bajo costo (1 euro por unidad), abastecidos de una fuente de energía autónoma que dura todo su tiempo de vida. Se trata de encontrar una novedosa combinación de tecnologías alrededor de la CMOS, para el diseño de sensores para Aml que sean de ultra-baja-potencia, ultra-simples y de ultra-bajo-costos.

5. Nanociencia

5.1. Nanotecnología

En las secciones anteriores hemos mencionado el concepto de nanotecnología, derivado de la nanociencia (Zhang 2008). En esta sección introducimos algunos conceptos teóricos en dicha área.

² 1 Gops = 1 billón de operaciones por segundo

La *nanociencia* está unida en gran medida desde la década de los 80 con Drexler y sus aportaciones a la "nanotecnología molecular", esto es, la construcción de *nanomáquinas* hechas de átomos y que son capaces de construir ellas mismas otros componentes moleculares. Se considera al premio Nobel de física en 1959 Richard Feynman como padre de la nanociencia. Feynman propuso fabricar productos en base a un reordenamiento de átomos y moléculas. Ese año escribió un artículo que analizaba cómo los ordenadores trabajando con átomos individuales podrían consumir poquísima energía y conseguir velocidades asombrosas.

A partir del concepto de nanociencia, nace el de *nanotecnología*. La *nanotecnología* es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a *nanoescala*, y la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a *nanoescala*, es decir de átomos y moléculas. En las investigaciones actuales se hace referencia a la nanotecnología en forma de motores moleculares, computación cuántica, etc.

Cuando se manipula la materia a una escala tan minúscula de átomos y moléculas, se obtienen fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Por lo tanto, los científicos utilizan la *nanotecnología* para crear materiales, aparatos y sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas y muy útiles.

Para comprender el potencial de esta tecnología es clave saber que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala nanométrica, debido a efectos cuánticos. La conductividad eléctrica, el calor, la resistencia, la elasticidad, la reactividad, entre otras propiedades, se comportan de manera diferente que en los mismos elementos a mayor escala.

Estas nuevas estructuras con precisión atómica, tales como *nanotubos* de carbón, o pequeños instrumentos para el interior del cuerpo humano, pueden introducirnos en una nueva era, tal como señala Charles Vest (ex-presidente del MIT). Los avances *nanotecnológicos* protagonizarían de esta forma la sociedad del conocimiento con multitud de desarrollos y gran repercusión en su instrumentación empresarial y social.

Un concepto que nos aclara un poco las dimensiones a las que nos estamos refiriendo, es el de las *nanopartículas*. Las *nanopartículas*

(Fanet 2005) son tan pequeñas como los glóbulos rojos; 1 *nanómetro* es equivalente a 10^{-9} metros. Esta es la unidad maestra de la *nanociencia* y la *nanotecnología*, donde se usará el prefijo *nano*.

Existe un gran consenso de que la *nanotecnología* nos llevará a una segunda revolución industrial en el siglo XXI tal como anunció hace unos años, Charles Vest. Supondrá numerosos avances para muchas industrias y nuevos materiales con propiedades extraordinarias (desarrollar materiales más fuertes que el acero pero con solamente el diez por ciento de su peso), nuevas aplicaciones informáticas con componentes increíblemente más rápidos o sensores moleculares capaces de detectar y destruir células cancerígenas en las partes más delicadas del cuerpo humano como el cerebro, entre otras muchas aplicaciones.

5.2 Nanotubos

A modo informativo, introduciéndonos un poco más en la química, definimos a los **nanotubos** (Wikipedia: Nanotubo, 2008) como aquellas estructuras tubulares cuyo diámetro es del orden del nanómetro. Existen nanotubos de muchos materiales, tales como silicio o nitruro de boro pero, generalmente, el término se aplica a los nanotubos de carbono (Figura 3).

Los **nanotubos de carbono** son una forma alotrópica del carbono, como el diamante, el grafito o los fullerenos. Su estructura puede considerarse procedente de una lámina de grafito enrolladas sobre sí misma. Dependiendo del grado de enrollamiento, y la manera como se conforma la lámina original, el resultado puede llevar a nanotubos de distinto diámetro y geometría interna: *nanotubos monocapa* y *nanotubos multicapa*. Se conocen derivados en los que el tubo está cerrado por media esfera de fullereno, y otros que no están cerrados.

Los nanotubos suelen presentar una elevada relación longitud/radio, ya que el radio suele ser inferior a un par de nanómetros y, sin embargo, la longitud puede llegar a ser incluso de 10^5 nm. Debido a esta característica se pueden considerar como unidimensionales. A continuación se detallan las propiedades de los nanotubos extraídas de Wikipedia (Wikipedia: Nanotubo, 2008), sólo para poder comprender mejor su gran potencial:

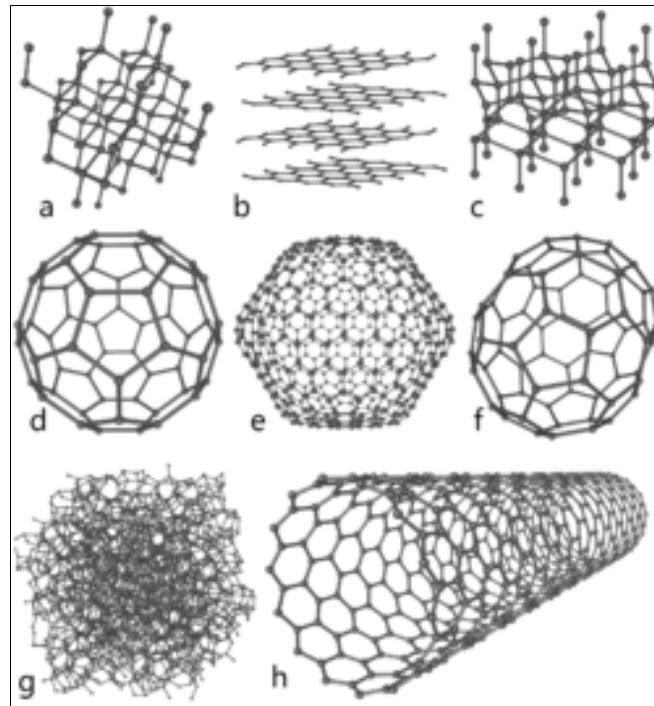


Figura 3: Nanotubos de carbono

- **Propiedades eléctricas:** Los nanotubos se caracterizan por presentar una gran complejidad electrónica, si tenemos en cuenta las reglas cuánticas que rigen la conductividad eléctrica con el tamaño y la geometría de estos. Estas estructuras pueden comportarse, desde un punto de vista eléctrico en un amplio margen de comportamiento. Comenzando por el comportamiento *semiconductor* hasta presentar, en algunos casos, *superconductividad*. Este amplio margen de conductividades viene dado por relaciones fundamentalmente geométricas, es decir, en función de su diámetro, torsión (quiralidad) y el número de capas de su composición. Hay que destacar que los nanotubos superconductores se podrían utilizar para el estudio efectos cuánticos fundamentales en una dimensión, así como para la búsqueda de aplicaciones prácticas en la informática cuántica molecular. Esto es debido a que pueden actuar como “conductores cuánticos”. En cuanto a la capacidad para transportar corriente, se

sabe que puede llegar a cantidades de, aproximadamente, mil millones de amperios por centímetro cuadrado, mientras que los alambres de cobre convencionales se funden al llegar a densidades de corriente del orden del millón de amperios por centímetro cuadrado. También hay que decir que todas estas propiedades no dependen del largo del tubo, a diferencia de lo que ocurre en los cables de uso cotidiano.

- **Propiedades mecánicas:** La estabilidad y robustez de los enlaces, entre los átomos de carbono, les proporciona la capacidad de ser unas de las fibras más resistentes que se pueden fabricar hoy en día. Por otro lado, frente a esfuerzos de deformación muy intensos son capaces de deformarse notablemente y de mantenerse en un régimen elástico. En otras palabras, los nanotubos pueden funcionar como resortes extremadamente firmes ante pequeños esfuerzos y, frente a cargas mayores, pueden deformarse drásticamente y volver, posteriormente, a su forma original.

5.3. Aplicaciones

Entre las innumerables aplicaciones de los nanotubos, tales como biomedicina, automóviles, packaging, deportes, vamos a hacer hincapié en la electrónica y la informática, que son de mayor aporte para este trabajo:

- **Electrónica:** los nanotubos de carbono pueden desempeñar el mismo papel que el silicio en los dispositivos electrónicos pero a escala molecular, donde los semiconductores dejan de funcionar. Además, debido a que los avances en la industria electrónica se basan en la miniaturización de los dispositivos, que conlleva un aumento en el rendimiento de la velocidad de proceso y la densidad de los circuitos, será necesario utilizar nanotubos de carbono en su fabricación.
- **Informática:** Otros dispositivos que podrían experimentar grandes avances con la introducción de nanotubos de carbono en su construcción es, sin duda, la memoria de acceso aleatorio (RAM), que se describe en la sección siguiente. Teniendo en cuenta que las características de una memoria ideal de este tipo serían una gran capacidad de almacenamiento, un acceso a los datos rápido y aleatorio, un escaso consumo energético, un precio bajo por bit almacenado, una fácil integración en la tecnología de circuitos integrados y, a ser posible, la no volatilidad de los datos después de

apagar el ordenador, se han intentado diseñar memorias en cuyo funcionamiento juegan un papel esencial los nanotubos de carbono. Cabe destacar que los nanotubos de carbono se pueden utilizar para mejorar otros dispositivos como los circuitos integrados.

5.4. Miniaturización: La Nanomemoria

Para reducir el costo por unidad de superficie de memorias, se piensa en soluciones para combinar los nanocables y los nanotubos con las funciones de la CMOS convencional, permitiendo alcanzar 1 terabyte por cm^2 a un costo razonable (Fanet 2005). Con esta tecnología, las memorias moleculares pueden alcanzar incluso las más altas densidades pero todavía falta inventar como acceder a un punto de memoria.

La escala a *nanonivel* (De Man 2005) aumenta la variabilidad en el umbral de tensión, en la unidad y fuga de corriente, a medida que pasan a depender de la distribución estadística de átomos, moléculas y fotones.

En un laboratorio de IBM en Zurich, se trabaja en la miniaturización a nivel nanómetro del registro de datos. El sistema de almacenamiento se basa en un conjunto de 1024 agujas de AFM (Atomic Force Microscope), en una matriz cuadrada (Figura 4) que pueden escribir bits de información de no más de 50 nanómetros de diámetro. El mismo conjunto es capaz luego de leer la información e incluso reescribirla.

La capacidad de guardar información a esa escala es una noticia excitante para el mercado, pues multiplica inmensamente la cantidad de información que se puede almacenar en un área determinada. El mejor sistema actual de registro, basado en la memoria magnética, puede guardar alrededor de dos gigabits por centímetro cuadrado; los físicos creen que el límite físico de la capacidad este sistema —no alcanzado aún— es de alrededor de 25 gigabits por centímetro cuadrado (64 gigabytes/ in^2). El sistema de matriz de agujas descrito más arriba, bautizado “Millipede” (Miriápodo, por tener mil patas), ofrece 35 gigabits por centímetro cuadrado (y hasta 80 gigabits si se utiliza una aguja única) y es capaz de hacerlo a la velocidad de los artefactos magnéticos actuales. Con unidades de almacenamiento provistas de matrices gigantescas, con millones de agujas, se puede lograr un

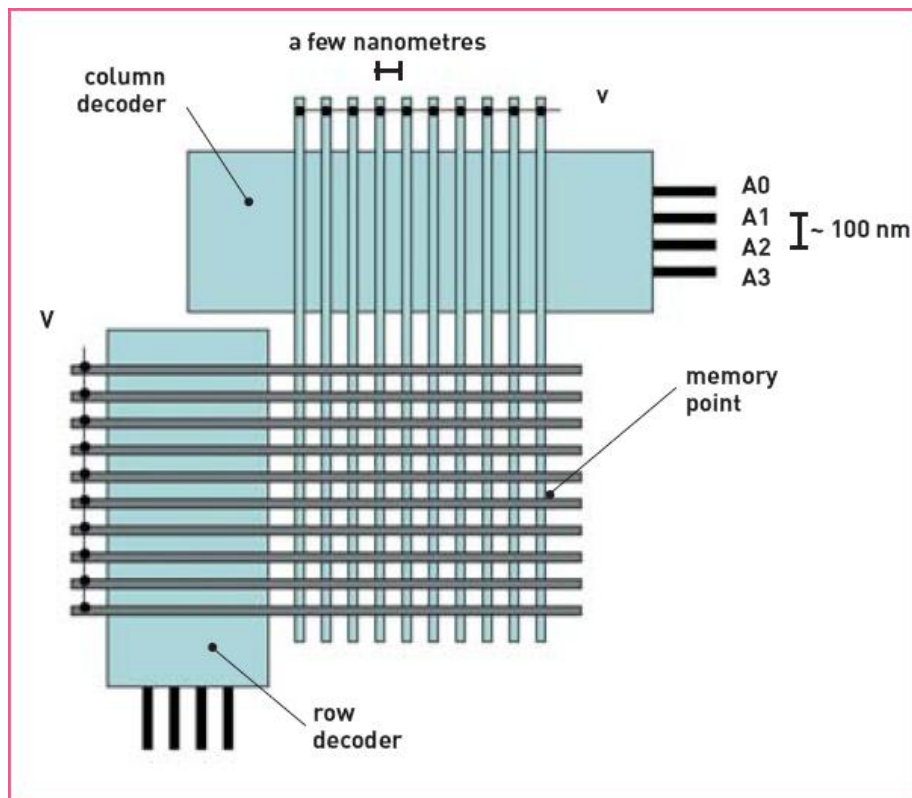


Figura 4: Esquema de una nanomemoria

almacenamiento en el orden de los terabytes, algo así como 40 veces lo que está disponible hoy comercialmente.

Dado el avance tecnológico en términos de almacenamiento, es necesario también el progreso de los dispositivos de almacenamiento portables, como el DVD, a la nanotecnología. Para reemplazarlos, se ha creado el "holographic data storage", capaz de almacenar un máximo de 10Tbit/cm^3 .

6. La Nanotecnología y la Aml prosperan

Es necesaria la combinación de algunas capacidades claves de la nanotecnología y la inteligencia ambiental de cara al futuro. Estas capacidades se refieren al diseño, al uso de materiales sintéticos, el

desarrollo de nuevos conectores como ser realizados con *nanotubos*, y las alternativas de interconexión y empaquetado 3-D.

Las *nanoestructuras* y los *nanodispositivos*, las cuales suelen realizar algunas funciones electrónicas típicas, son quizás el subconjunto mas crítico de la nanotecnología, que supone esencialmente la manipulación de materiales a un nivel atómico como se muestra en la Figura 5.

Los científicos llevan al límite sus investigaciones, tratando de extender el rendimiento en calidad de creación de nuevos materiales, arquitecturas y diseños. La tecnología de silicio sometida a presión originalmente esperaba 32 nm por nodo, y ahora Intel ha llegado a usar 90 nm por nodo.

Hoy por hoy, el mercado empuja hacia una industria de lo pequeño, rápido y menos costoso. Muchos chips son desarrollados ahora para el consumidor desde el inicio, por eso la interfaz hombre/máquina es un requerimiento más sencillo que lo que fue en el pasado. Por ejemplo, los sistemas GPS se desarrollaban originalmente para aplicaciones militares, y luego fueron refinados para la navegación del automóvil.

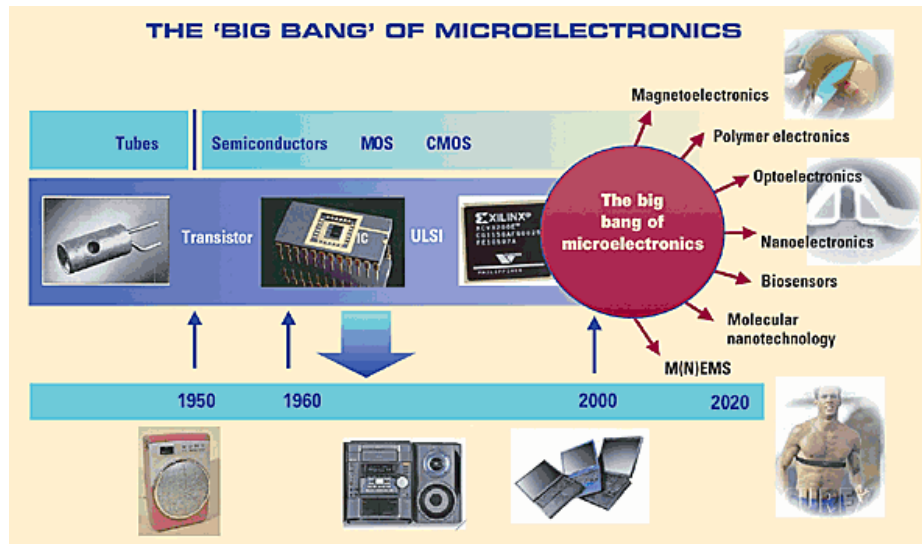


Figura 5: La gran explosión en la industria de los dispositivos a través de las décadas (Peters, 2004).

7. Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado el concepto de “nanotecnología” y las distintas aplicaciones de la Inteligencia Ambiental con el objeto de demostrar la necesidad de esta nueva ciencia en este nuevo paradigma de computación.

La siguiente ola de la Tecnología de la Información es claramente la Inteligencia Ambiental, para mejorar la calidad de vida humana. Esto implica una industria orientada al consumidor, manejada en el nivel más alto por el software y en el más bajo nivel o nivel atómico, por la nanotecnología.

Los científicos se preparan para la gran revolución en horizonte al 2029, aunque en vista a un futuro algo lejano, pues hay aun muchos detalles entre medio para implementar las nuevas ideas que darán lugar a dispositivos muy pequeños, potentes en cuanto a procesamiento y autónomos en cuanto a su capacidad energética.

Bibliografía

- De Man, H. Ambient intelligence: gigascale dreams and nanoscale realities. En *Solid-State Circuits Conference (ISSCC) 2005*. IEEE International, vol. 1, 29-35, Leuven, Bélgica, 2005.
- Delsing, J. y Lindgren, P. Sensor Communication Technology Towards Ambient Intelligence. *Measurement Science and Technology*, 16(4), R37-R46(1), 2005.
- Dittmar, A. y Lymberis, A. Smarth Clothes and Associated Wearable Devices for Biomedical Ambulatory Monitoring. En *The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS '05)*, vol. 1, 221-227, 2005.
- Edelmayer, G., Panek, P., Meyer, P. and Zagle, W. L. Technologies for Smart Toilets. Ambient assisted living. *International newsletter on micro-nano integration*, 5/05, 2005.
- Fanet, H. Telecommunications: “ambient intelligence” needs nanotechnologies. *CLEFS CEA*, 52, 2005.

- ISTAG. *Scenarios for Ambient Intelligence in 2010*. Ducatel, K., Bogdanowicz, M., Scapolo, F., Leijten, J. y Burgelman, J-C. (eds), IPS-ISTAG, Luxemburgo, 2001.
- News Soliclima. Una nueva fibra podría usarse para crear ropa inteligente capaz de generar energía eléctrica, 18-2-2008. <http://news.soliclima.com/?seccio=noticies&accio=veure&id=2322>.
- Peters, L. Time Travel to 2029: Nanotechnology Thrives. *Semiconductor International*, 1 enero 2004. Disponible en www.semiconductor.net
- Richter, K. y Möbius, M. Sensoric Textile Bed Cover. *MST News: International Newsletter on Micro-Nano Integration*, 5/05, 2005.
- van Houten, H. 2005. The physical layer of ambient intelligence. En *2005 IEEE VLSI-Tsa International Symposium on VLSI Technology (VLSI-Tsa-Tech): Proceedings of Technical Papers*, pp. 9-12, Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2005.
- Wikipedia. Nanotubo. *Wikipedia, La enciclopedia libre*, 2009 [consulta: 1-09-09]. Disponible en es.wikipedia.org/wiki/Nanotubo
- Wright, D., Gutwirth, S., Friedewald, M., Vildjiounaite, E. and Punie, Y. (eds). *Safeguards in a World of Ambient Intelligence*, cap. 1. Springer, Berlín, 2008.
- Zhang, P. *Nanotechnology: Preguntas sin respuesta fácil*. <http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia.htm>, 2008