

# Comunicación inalámbrica con Bluetooth

Esta tecnología de comunicación se está imponiendo como estándar para la transmisión inalámbrica de datos a corta y media distancia

FRANCISCO JOSÉ BELLIDO OUTEIRIÑO, JOSÉ LUIS DE LA CRUZ FERNÁNDEZ, MANUEL TORRES ROLDÁN Y JOSÉ ANTONIO GISTAS PEYRONA

## Introducción

En 1994, Ericsson Mobile Telecommunications comenzó un estudio para investigar la viabilidad de un interfaz de radio de baja potencia y bajo coste entre teléfonos móviles y sus accesorios. El estudio era parte de un proyecto más amplio que investigaba cómo diferentes dispositivos de comunicaciones se podrían conectar a la red celular a través del teléfono móvil. A medida que progresaba el proyecto se hizo evidente que las aplicaciones de un enlace de radio de corto alcance eran ilimitadas. El trabajo de Ericsson en este área atrajo la atención de compañías como IBM, Intel, Nokia y Toshiba que formaron el SIG Bluetooth en 1998 y desarrollaron el primer estándar de dicha tecnología.

Dicha norma recoge requerimientos *hardware*, *software* y de interoperabilidad, definiendo un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la

transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia.

Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

La tecnología inalámbrica Bluetooth utiliza la banda de radio ISM (*industrial, scientific, medical* o industrial, científica, médica), mundialmente disponible, de 2,4 GHz. Las bandas ISM incluyen los rangos de frecuencia entre 902-928 MHz y 2,4-2.484 GHz que no requieren una licencia de operador otorgada por las autoridades reguladoras de telecomunicaciones. El uso de una banda común de fre-

cuencias significa que se pueden emplear dispositivos que utilicen la especificación Bluetooth en cualquier parte del mundo, y serán capaces de enlazar con otros dispositivos similares, independientemente del país en que se encuentren.

## Orientación al trabajo en red. Topologías de conexión

La conexión entre dispositivos Bluetooth sigue un esquema maestro-esclavo, soportando hasta ocho dispositivos conectados simultáneamente en lo que es la estructura básica de comunicación, denominada piconet o picorred. También es posible que un mismo dispositivo participe de más de una piconet aunque no puede estar activo en más de una simultáneamente; se denomina red dispersa o *scatternet*. Si un equipo se encuentra dentro del radio de cobertura de otro, éstos pueden establecer conexión entre ellos. En principio sólo son necesarias un par de unidades con las mismas



características de *hardware* para establecer un enlace. Dos o más unidades Bluetooth que comparten un mismo canal forman una piconet. Para regular el tráfico en el canal, una de las unidades participantes se convertirá en maestra, y todas las demás serán esclavos.

El número máximo de unidades que pueden participar activamente en una simple piconet es de ocho, un maestro y siete esclavos, por lo que la dirección que se utiliza para distinguir a cada unidad dentro de la piconet se limita a tres *bits*. Las unidades que se encuentran en el mismo radio de cobertura pueden establecer potencialmente comunicaciones entre ellas. Sin embargo, sólo aquellas unidades que realmente quieran intercambiar información comparten un mismo canal creando la piconet. Este hecho permite que se creen varias piconets en áreas de cobertura superpuestas. A un grupo de piconets se le llama *scatternet*. El rendimiento, en conjunto e

individualmente de los usuarios de una *scatternet*, es mayor que el que tiene cada usuario cuando participa en un mismo canal de 1 MHz. Además, estadísticamente se obtienen ganancias por multiplexión y rechazo de canales salto. Debido a que individualmente cada piconet tiene un salto de frecuencia distinta, diferentes piconets pueden usar simultáneamente diferentes canales de salto.

#### Otras características de la tecnología Bluetooth

##### Tipos de enlaces

En la especificación Bluetooth se han definido dos tipos de enlaces para soportar aplicaciones de voz y datos: un enlace asíncrono sin conexión (ACL, *asynchronous connection less*) y un enlace síncrono orientado a conexión (SCO, *synchronous connection oriented*). Los enlaces ACL soportan tráfico de datos sin

garantía de entrega; la información transmitida puede ser datos de usuario o datos de control. Los enlaces SCO soportan voz en tiempo real y tráfico multimedia, utilizando un ancho de banda reservado. Tanto la voz como los datos se transmiten en forma de paquetes y la especificación Bluetooth permite implementar enlaces ACL y SCO al mismo tiempo. El canal asíncrono soporta comunicación simétrica y asimétrica. En la comunicación asimétrica pueden ser enviados 723,3 Kb/s desde el servidor y 57,6 Kb/s hacia el servidor, mientras que en la comunicación simétrica pueden ser enviados 433 Kb/s en ambas direcciones.

##### Inmunidad frente a interferencias

El enlace vía radio es en sí mismo muy robusto. La expansión de espectro es una técnica de codificación digital en la que la señal se distribuye o expande (se aumenta el número de *bits* transmitidos).

## RESUMEN

La comunicación inalámbrica supuso un gran salto tanto cuantitativo como cualitativo en la gestión de la información, permitiendo el acceso e intercambio de la misma de forma remota, sin necesidad de una conexión física vía cable. Tradicionalmente, la comunicación inalámbrica se realizaba vía radio operando en diversas bandas de frecuencias o bien a través de dispositivos de comunicación basados en infrarrojos. La transmisión inalámbrica de voz y datos ha permanecido en constante evolución, surgiendo nuevos estándares entre los que destacan Bluetooth o el desarrollado en la norma IEEE 802.11b.

Bluetooth es una tecnología orientada a sistemas de comunicación a corta/media distancia y optimizados para un bajo coste y menor consumo, posicionándose como la tecnología del futuro para pequeñas redes o sistemas de captación de información.

Además de su alcance limitado y la utilización de saltos de frecuencia, que hace que la interceptación de la señal sea muy difícil, la especificación Bluetooth emplea funciones a nivel de enlace, como la autenticación y el cifrado que cubren la funcionalidad y la aplicación de los dispositivos.

### Procedimiento de calificación Bluetooth

La calificación Bluetooth es el proceso mediante el cual un fabricante demuestra conformidad con la especificación Bluetooth y es un requerimiento necesario para que un producto o dispositivo pueda incluir la denominación Bluetooth. El propósito de esta calificación del producto es la de minimizar o eliminar problemas de interoperatividad; para ello, el *Bluetooth Qualification Program* (BQP) ha definido un grupo específico de procedimientos.

### La especificación Bluetooth

La especificación Bluetooth es el resultado del trabajo realizado por un consorcio de fabricantes del sector agrupados en el *Bluetooth Special Interest Group* o SIG. La especificación define el comportamiento inalámbrico para asegurar la compatibilidad de dispositivos Bluetooth independientemente de su fabricante. En ella se define el sistema completo, desde el nivel de radio hasta el nivel de aplicación, incluyendo la pila *software*.

Se divide en dos volúmenes. El primero es la especificación del núcleo o *Core Specification* y describe la pila de protocolos y temas relacionados como las pruebas de funcionamiento y compatibilidad o el proceso de calificación Bluetooth. La pila de protocolos se define como una serie de capas, de forma análoga al estándar OSI para pilas de protocolos de comunicación. Cada capa de la pila de protocolos representa a un protocolo distinto, siendo cada uno de ellos descrito en la especificación de núcleo.

Los perfiles Bluetooth son descritos en el segundo volumen, *Profiles Specification*. Los perfiles esencialmente son modelos de uso, describen cómo las aplicaciones deben hacer uso de la pila de protocolos para implementar una solución estándar para un determinado modelo de uso. Los perfiles Bluetooth son la base para el proceso de calificación Bluetooth y cualquier perfil nuevo que desee registrarse debe superar este procedimiento.

La capa de comunicación más baja es



Figura 1. Posibles escenarios de uso de la tecnología Bluetooth.

El resultado es una señal más robusta, que es menos susceptible de deterioro por causa de ruidos electromagnéticos y otras fuentes de interferencias. También hace más seguras las comunicaciones de voz y datos. Con el añadido de los saltos de frecuencia (hacer que las señales salten de una frecuencia a otra siguiendo un patrón pseudoaleatorio) las transmi-

siones inalámbricas se hacen aún más seguras contra escuchas. El receptor, utilizando el mismo código de expansión que el transmisor, correlaciona y contrae la señal expandida a su forma original.

### Seguridad en Bluetooth

La especificación Bluetooth incluye numerosas características de seguridad.

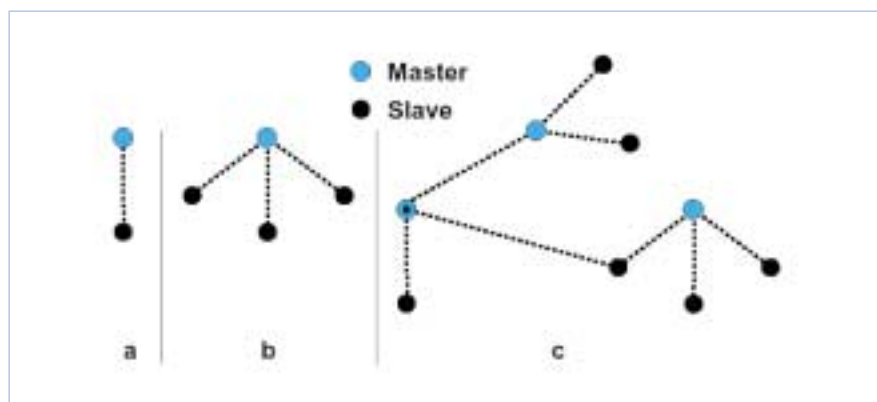


Figura 2. (a) Piconet con un único esclavo, (b) con varios esclavos, (c) configuración en *scatternet* o red dispersa.

CARACTERÍSTICAS/FUNCIÓN	FUNCIONAMIENTO
Tipo de conexión	Expansión de espectro (saltos de frecuencia)
Espectro	Banda ISM de 2,4 GHz.
Potencia de transmisión	1 milivatio (mw)
Velocidad de datos total	1 Mbps utilizando saltos de frecuencia
Alcance	Hasta 100 m
Estaciones soportadas	Hasta ocho dispositivos por picorred
Canales de voz	Hasta tres
Seguridad de datos	Para autenticación, una clave dde 128 bis; para cifrado, el tamaño de la clave es configurable de 8 a 128 bits
Direccionamiento	Cada dispositivo tiene una dirección (MAC) de 48 bits que se utiliza para establecer una conexión con otro dispositivo

Tabla 1. Cuadro resumen de características de Bluetooth.

llamada banda base. Esta capa implementa el canal físico real. Emplea una secuencia aleatoria de saltos a través de 79 frecuencias<sup>1</sup> de radio diferentes. Los paquetes son enviados sobre el canal físico, donde cada uno es mandado a una frecuencia de salto diferente. También controla la sincronización de las unidades Bluetooth y es la responsable de la información para el control del enlace a bajo nivel.

#### Protocolos fundamentales de Bluetooth

El *link manager protocol* (LMP) o protocolo de gestión de enlace es el responsable de la autenticación, encripta-

ción, control y configuración del enlace. El LMP también se encarga del manejo de los modos y consumo de potencia, además soporta los procedimientos necesarios para establecer un enlace SCO.

El *host controller interface* (HCI) o interfaz del controlador de enlace brinda un método de interfaz uniforme para acceder a los recursos de *hardware* de Bluetooth. Éste contiene una interfaz de comandos para el controlador de banda base y la gestión de enlace así como para acceder al *hardware*.

El *logical link control and adaptation protocol* (L2CAP) o protocolo de control

y adaptación de enlace lógico, corresponde a la capa de enlace de datos. Ésta brinda servicios de datos orientados y no orientados a la conexión a capas superiores. L2CAP multiplexa los protocolos de capas superiores con el fin de enviar varios protocolos sobre un canal banda base. La conexión L2CAP permite el intercambio de información referente a la calidad de la conexión, además también maneja grupos, de tal manera que varios dispositivos pueden comunicarse entre sí.

El *service discovery protocol* (SDP) o protocolo de descubrimiento de servicio define cómo actúa una aplicación de un cliente Bluetooth para descubrir servicios disponibles en servidores Bluetooth.

El protocolo RFCOMM ofrece emulación del puerto serie sobre el protocolo L2CAP. RFCOMM emula señales de control y datos RS-232 sobre la banda base Bluetooth.

Además de los protocolos fundamentales expuestos, la especificación incluye otros adicionales como son el protocolo de control de telefonía, el protocolo punto a punto (PPP), protocolos UDP/TCP – IP, *wireless application protocol* (WAP) o el protocolo OBEX para el intercambio de objetos.

#### Perfiles Bluetooth

El estándar Bluetooth fue creado para ser usado por un gran número de fabricantes e implementado en áreas ilimitadas. Para

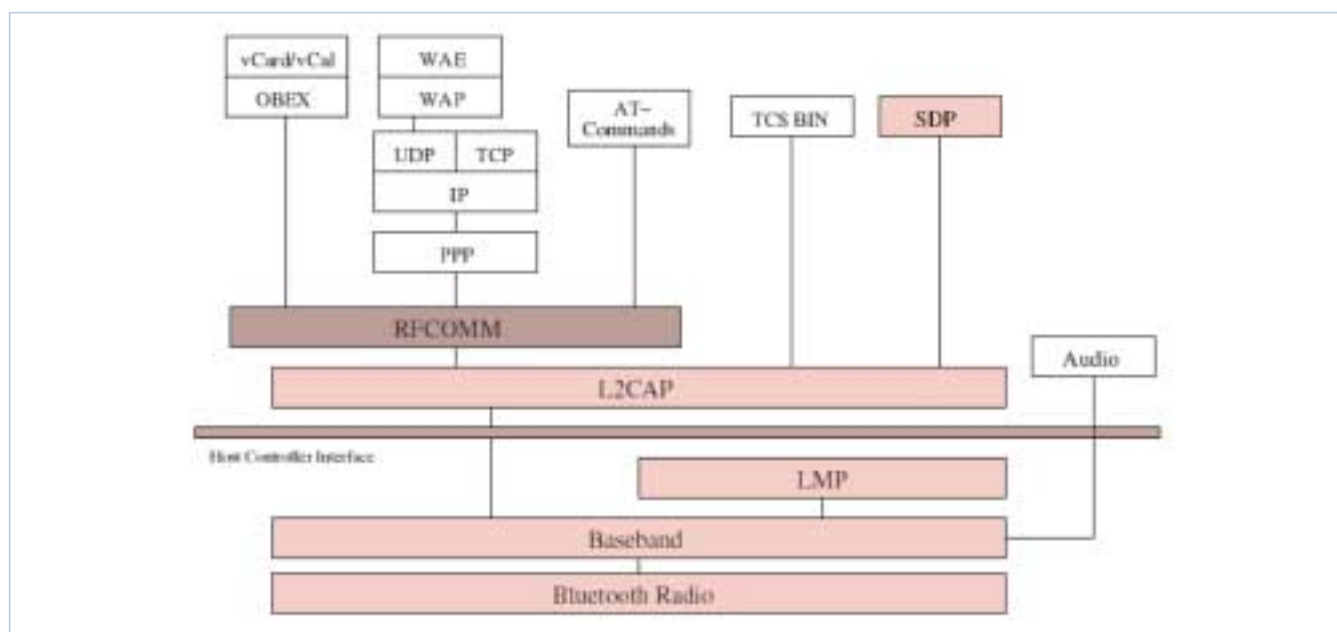


Figura 3. Pila de protocolos Bluetooth.

<sup>1</sup> En España, Francia y Japón la secuencia se realiza sobre 23 canales, debido a la legislación sobre la banda ISM.



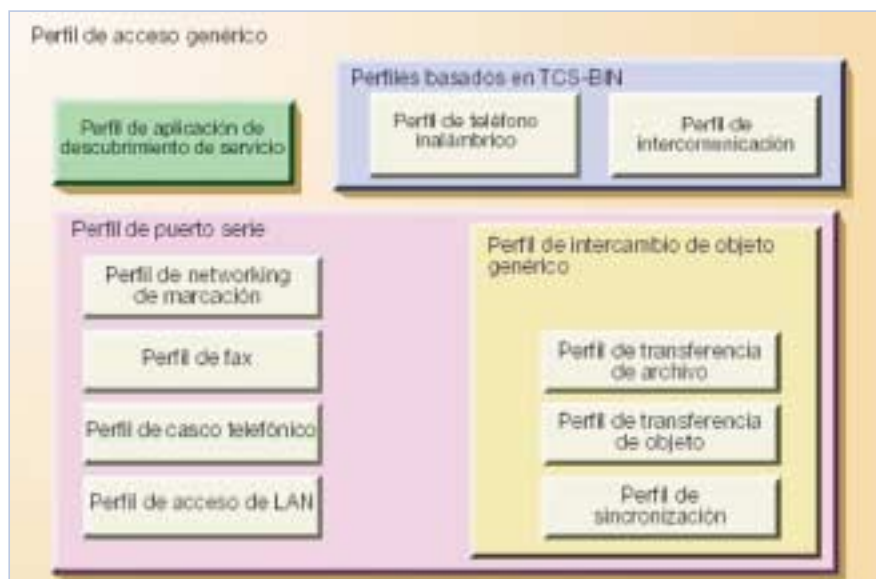


Figura 4. Los perfiles Bluetooth.

asegurar que todos los dispositivos que usen Bluetooth sean compatibles entre sí son necesarios esquemas estándar de comunicación. Para ellos se han definido modelos de usuario y perfiles de protocolo.

Un perfil define una selección de mensajes y procedimientos de las especificaciones Bluetooth y ofrece una descripción clara de la interfaz aérea para servicios específicos. Un perfil puede ser descrito como una sección completa de la pila de protocolos.

Existen cuatro perfiles generales definidos, en los cuales están basados directamente algunos de los modelos de uso más importantes y sus perfiles.

Estos cuatro modelos son perfil genérico de acceso (GAP), perfil de puerto serie (SPP), perfil de aplicación de descubrimiento de servicios (SDAP) y perfil genérico de intercambio de objetos (GOEP).

El perfil genérico de acceso (GAP) define los procedimientos generales para el descubrimiento y establecimiento de conexión entre dispositivos Bluetooth. El GAP maneja el descubrimiento y establecimiento entre unidades que no están conectadas y asegura que cualquier par de unidades Bluetooth, sin importar su fabricante o aplicación, puedan intercambiar información a través de Blue-

tooth para descubrir qué tipo de aplicaciones soportan las unidades. En él también se definen procedimientos relacionados con el uso de los diferentes niveles de seguridad.

El perfil de puerto serie (SPP) define los requerimientos para dispositivos Bluetooth, necesarios para establecer una conexión de cable serie emulada usando el protocolo RFCOMM entre dos dispositivos similares. Este perfil solamente requiere soporte para paquetes de un *slot*. Esto significa que pueden ser usadas tasas de datos de hasta 128 kbps. El soporte para tasas más altas es opcional. RFCOMM es usado para transportar los datos de usuario, señales de control de módem y comandos de configuración.

El perfil de puerto serie es dependiente del GAP, por tanto todos los requerimientos obligatorios por la especificación para dicho perfil deben ser cumplidos por el perfil SPP, así como todos aquellos requerimientos opcionales definidos para el perfil GAP los son para el SPP.

El perfil de aplicación de descubrimiento de servicios (SDAP) define los protocolos y procedimientos para una aplicación en un dispositivo Bluetooth donde se desea descubrir y recuperar información relacionada con servicios

localizados en otros dispositivos. El SDAP es dependiente del GAP.

La pila de protocolos Bluetooth contiene el protocolo de descubrimiento de servicios (SDP), que se emplea para localizar servicios disponibles por dispositivos que se encuentran dentro del entorno o rango de acción de otro. Una vez que haya localizado los servicios disponibles en uno o varios dispositivos vecinos, el usuario puede elegir cuál o cuáles seleccionar para su uso. La selección, acceso y uso de un servicio es el objetivo de este perfil. Aunque el protocolo SDP no está directamente involucrado en el procedimiento de acceso a un servicio, la información obtenida a través de él sí facilita el acceso a dicho servicio.

El perfil genérico de intercambio de objetos (GOEP) define protocolos y procedimientos usados por aplicaciones para ofrecer características de intercambio de objetos. Los usos pueden ser, por ejemplo, sincronización, transferencia de archivos o modelo *object push*. Los dispositivos más comunes que usan este modelo son agendas electrónicas, PDAs y teléfonos móviles. El GOEP es dependiente del perfil de puerto serie.

En cuanto a los perfiles Bluetooth para modelos de uso nos limitaremos a enumerarlos, pudiendo encontrar una descripción en profundidad de los mismos en la especificación (tabla 2).

## Bluetooth frente a otras tecnologías inalámbricas

### Bluetooth e infrarrojos

Otra tecnología inalámbrica muy extendida es la infrarroja, que permite la comunicación de dispositivos a través de conexiones ópticas. Este tipo de conexiones utiliza la luz infrarroja de 850 nanómetros tanto para voz como para datos, pero este tipo de señal exige una trayectoria clara y directa entre un dispositivo y otro, ya que la conexión sólo funciona a distancias muy cortas de un metro o menos y bajo un ángulo menor de 30°. Sin embargo, la tecnología Bluetooth se diseñó desde un primer momento para soportar datos y múltiples canales de voz con un alcance que va desde los diez hasta cien metros aproximadamente, sin requerir una línea de visión directa entre los dispositivos.

Aunque ambas tecnologías permiten prácticamente las mismas aplicaciones,

• Perfil de transferencia de archivos	• Perfil de telefonía inalámbrica
• Perfil de manos libres	• Perfil de intercomunicador
• Perfil de sincronización	• Perfil object push
• Perfil de fax	• Perfil de acceso LAN.

Tabla 2. Perfiles Bluetooth.

los mismos escenarios en los que los infrarrojos no son tan eficientes son aquellos en los que Bluetooth obtiene un mayor rendimiento y viceversa.

Existen multitud de situaciones de intercambio de datos en los que la tecnología Bluetooth puede ser preferible, debido a la capacidad de ésta para penetrar objetos sólidos y para comunicarse con otros dispositivos en una picorred permitiendo operaciones que serían imposibles con los infrarrojos. Por ejemplo, utilizando la tecnología inalámbrica Bluetooth podría sincronizar el teléfono móvil con su ordenador portátil sin sacar el teléfono del bolsillo.

**"LA TECNOLOGÍA  
BLUETOOTH PENETRA  
OBJETOS SÓLIDOS Y  
PUEDE COMUNICARSE  
CON OTROS  
DISPOSITIVOS"**

Una de las características más importantes que comparten las tecnologías Bluetooth e infrarroja es la capacidad de establecer conexiones inalámbricas entre dispositivos portátiles y una red de cable (por ejemplo un LAN). Como para los dispositivos Bluetooth no hay ningún requerimiento de encontrarse en la línea de visión, se adaptan mejor a este tipo de aplicaciones.

#### Otras tecnologías inalámbricas

Otra opción de conectividad inalámbrica es la red de área local descrita en el estándar 802'11 establecido por el IEEE. Pero las redes inalámbricas que utilizan el estándar 802'11 se han pensado para aplicaciones completamente diferentes de las redes basadas en la especificación Bluetooth.

Los dispositivos Bluetooth requieren poca potencia y tienen como finalidad transmitir pequeñas cantidades de datos a casi 1Mbps en cortas distancias, mientras que las conexiones con el estándar 802'11 pueden oscilar desde 1 a 2 Mbps hasta 11 Mbps en distancias de más de 100 m, haciéndolas adecuadas para oficinas y para recintos universitarios, por ejemplo.

Otra tecnología inalámbrica que comparte la banda ISM de 2'4 GHz con Bluetooth es la llamada radiofrecuencia doméstica (*Home Radio Frequency* o HomeRF). HomeRF proporciona una base para una especificación abierta para las

comunicaciones inalámbricas entre ordenadores y dispositivos electrónicos de consumo que se hallen en cualquier lugar de la casa. Al igual que la especificación Bluetooth, HomeRF utiliza la expansión de espectro de saltos de frecuencia por su fiabilidad y seguridad. La especificación HomeRF se basa en el protocolo SWAP (*shared wireless access protocol*), que define un interfaz común que soporta la transmisión de voz y de datos a través de una red inalámbrica en el hogar. Para un futuro próximo es razonable pensar en un desarrollo de un sistema dual que permita a un dispositivo conmutar de forma dinámica entre HomeRF y Bluetooth para tener un sistema de comunicación completa de cara al usuario.

#### Conclusiones

Los diferentes estándares que han ido surgiendo en el campo de la comunicación inalámbrica han intentado desarrollar soluciones económicas, fiables y fáciles de usar e integrar en dispositivos ya existentes, todo ello, sujeto por supuesto a los cada vez más exigentes requerimientos de velocidad de transmisión y distancia de enlace.

La tecnología Bluetooth es una especificación tecnológica global para dispositivos de comunicaciones y redes inalámbricas de bajo coste y pequeño formato entre ordenadores, teléfonos móviles y otros dispositivos portátiles.

Los dispositivos Bluetooth están diseñados para reemplazar las conexiones de cable entre ordenadores, periféricos y otros dispositivos electrónicos.

Con la tecnología Bluetooth integrada se pueden conectar dispositivos simplemente poniéndolos en marcha, sin necesidad de cables especiales o un adaptador inalámbrico con antena incorporada.

De las muchas soluciones inalámbricas que han nacido y que intentan responder a estas necesidades, sólo la tecnología Bluetooth ha sido lo suficientemente prometedora como para obtener el apoyo de una amplia base de fabricantes que representan todos los segmentos de los mercados de ordenadores y comunicaciones.

Así pues nos encontramos ante un panorama en el que ya existen diversas tecnologías o estándares inalámbricos implantados.

Ninguno de ellos es netamente mejor o peor que Bluetooth, simplemente son distintos, en tanto en cuanto están diseñados para un cierto tipo de aplicación o ámbito de uso: velocidad de transmisión,

distancia de comunicación, seguridad en la transmisión, consumo, coste; lo cual no impide que en los campos de aplicación comunes, Bluetooth se sitúe un paso por delante del resto de tecnologías inalámbricas.

#### Bibliografía

- G. Held. *Data Over Wireless Networks. Bluetooth, WAP and Wireless LANs*, McGraw-Hill, 2001.
- W. H. Tranter, et al, *Wireless Personal Communications. Bluetooth Tutorial and Other Technologies*, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- J. Bray, C. F. Sturman. *Bluetooth 1.1 Connect Without Cables*, Ed. Prentice Hall, 2ª edición, 2001.
- D. Kammer. *Bluetooth Application Developer's Guide: The Short Range Interconnect Solution*, Syngress Publishing Inc., 2002.
- C. B. Kumar. *Bluetooth Application Programming with the JAVA APIs*, Elsevier Science & Technology Books, 2003.
- R. Morrow. *Bluetooth operation and use*, McGraw Hill, 2002.
- N. J. Muller. *Tecnología Bluetooth*, McGraw-Hill, 2002.
- Bluetooth SIG, *Bluetooth Specifications Profiles v1.1*, 2001. [www.bluetooth.org](http://www.bluetooth.org)
- Bluetooth SIG, *Bluetooth Specifications Core v1.1*, 2001. [www.bluetooth.org](http://www.bluetooth.org)
- J. Haartsen. *The universal radio interface for hoc, wireless connectivity*, Ericsson Review 1998, No.3, pp. 110-117. [www.ericsson.com](http://www.ericsson.com)

## AUTORES

**Francisco José Bellido Outeirinho**  
[el1beouf@uco.es](mailto:el1beouf@uco.es)

Ingeniero técnico industrial e ingeniero en Automática y Electrónica Industrial. Trabaja como profesor asociado del Departamento de Electrotecnia y Electrónica de la Universidad de Córdoba desde 2001. En la actualidad se encuentra desarrollando su labor investigadora en el campo de los sistemas de comunicación inalámbrica.

**José Luis de la Cruz Fernández**  
[fa1crfej@uco.es](mailto:fa1crfej@uco.es)

Doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba. profesor titular de Universidad (1996). Desarrolla su actividad docente e investigadora en el Departamento de Física Aplicada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Agrónomos y de Montes de Córdoba

**Manuel Torres Roldán**  
[fa1torom@uco.es](mailto:fa1torom@uco.es)

Ingeniero técnico industrial. Actualmente es profesor asociado del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Córdoba, compatibilizando su labor en la universidad con su trabajo en la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba S.A. (Emproacsa).

**José Antonio Gistas Peyrona**  
[fa1gipej@uco.es](mailto:fa1gipej@uco.es)

Doctor ingeniero industrial por la Universidad de Barcelona. Catedrático de física y mecánica desde 1982. Responsable del grupo de investigación "Nuevas tecnologías aplicadas a agricultura y medio ambiente" (TEP-178). Desarrolla su actividad profesional en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Agrónomos y de Montes de Córdoba.