

Trabajo Fin de Grado

Estudio de las aplicaciones de la tecnología RFID y su grado de implantación.

Autor: Claudia Espejo Repiso

Tutor: María Rodríguez Palero

**Dep. de Organización Industrial y Gestión de
Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Estudio de las aplicaciones de la tecnología RFID y su grado de implantación.

Autor:

Claudia Espejo Repiso

Tutor:

María Rodríguez Palero

Profesor sustituto interino

Dep. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado Estudio de las aplicaciones de la tecnología RFID y su grado de implantación.

Autor: Claudia Espejo Repiso

Tutor: María Rodríguez Paler

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

A mis profesores

Resumen

RFID son las siglas en inglés de Radio Frequency IDentification, que en castellano significa identificación por radiofrecuencia. El término incluye toda la tecnología capaz de utilizar ondas de radio para identificar de forma automática tanto objetos como personas o animales. Típicamente se habla de tres componentes: etiqueta, lector y middleware. Sin necesidad de visión directa y de manera inalámbrica, la tecnología RFID puede verse como un método de almacenamiento de datos, pero es la posibilidad de identificar cada objeto de forma unívoca lo que la convierte en novedosa.

Su multitud de aplicaciones la hacen extensible a distintos sectores, ostentando mayor popularidad en la logística, donde cobra un papel fundamental por implicar un gran aumento de la eficacia y la eficiencia allí donde se implanta. La tecnología RFID recibe cada vez más importancia también en el ámbito de la salud, donde puede suponer importantes mejoras y facilidades en la gestión de un aspecto básico y necesario para el ser humano. Igualmente, su auge ha sido muy útil para gestionar los controles de acceso de personas.

Además de estas y otras muchas aplicaciones, la versatilidad y adaptación de la tecnología RFID a distintas necesidades, hacen de ella una herramienta perfecta para combinarla con otros aspectos de actualidad dando lugar a un importante motor de cambio.

En el presente documento se analizan las diversas aplicaciones de la tecnología RFID en múltiples sectores, a la misma vez que se estudia su grado de implantación en España y Andalucía.

Abstract

RFID stands for Radio-Frequency IDentification. The acronym includes all technology able to use radio waves to automatically identify objects, people or animals. Typically, three are the components known: the tag, the reader and the middleware. Without the need to have a direct view and wirelessly, the RFID technology can be seen as a simple data storage method, but it is the possibility of the unique identification of each object what makes it so innovative.

Its many applications makes it useful to many other sectors, however, logistics is the field where it has more popularity, due to its fundamental role to increase effectiveness and efficiency wherever it is introduced. RFID technology is becoming increasingly important in the health field, where it can give outstanding improvements and advantages in the management of a basic and necessary aspect of the human being. Likewise, its rise has been very useful int managing the people access control.

In addition to these and many other applications, the versatility and adaptation of the RFID technology to many different needs, makes it the perfect tool to be combined with others topical issues, generating substantive changes and development.

In this document, it is analyzed the different applications of RFID technology in multiple sectors. Simultaneously, it is studied the degree of implementation in Spain and Andalusia.

Índice

Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Objetivos	1
2 Introducción	3
2.1 <i>Identificación automática</i>	3
2.2 <i>Comparativa entre la tecnología RFID y el código de barras</i>	5
2.3 <i>Códigos de productos</i>	6
2.4 <i>Arquitectura del RFID</i>	7
2.5 <i>Tipología de etiquetas</i>	8
2.6 <i>Historia y orígenes de la tecnología RFID</i>	8
2.7 <i>Desafíos</i>	9
3 Aplicaciones de la tecnología RFID	11
3.1 <i>Cadena de suministro</i>	11
3.1.1 <i>Ventajas</i>	12
3.1.2 <i>Otros aspectos</i>	12
3.1.3 <i>Aplicaciones de éxito en España</i>	13
3.2 <i>Transporte urbano</i>	15
3.2.1 <i>Precisión de tiempos de llegada</i>	15
3.2.2 <i>Medio de pago</i>	15
3.2.3 <i>Aplicaciones de éxito en España</i>	16
3.3 <i>Cobro de peajes</i>	16
3.3.1 <i>Aplicación en España</i>	17
3.4 <i>Aeropuertos</i>	17
3.5 <i>Bibliotecas</i>	17
3.5.1 <i>Aplicaciones en España</i>	18
3.6 <i>Animales</i>	18
3.6.1 <i>Ganado</i>	18
3.6.2 <i>Macotas</i>	19
3.6.3 <i>Aplicaciones en España</i>	19
3.7 <i>Residuos Sólidos Urbanos (RSU)</i>	20
3.7.1 <i>Aplicaciones en España</i>	20

3.8	<i>Sanidad</i>	20
3.8.1	Etiquetar	20
3.8.2	Localizar	21
3.8.3	Aplicaciones en España	22
3.9	<i>Supermercados</i>	22
3.10	<i>Lavandería</i>	23
3.10.1	Aplicaciones en España	23
3.11	<i>Agricultura</i>	24
3.11.1	Producto recolectado	24
3.11.2	Plantaciones	24
3.11.3	Aplicaciones en España	24
3.12	<i>Control de acceso de personas</i>	25
3.12.1	Ticketing	25
3.12.2	Hostelería	25
3.12.3	Aplicaciones en España	26
3.13	<i>Otras aplicaciones RFID en personas</i>	27
3.13.1	Localización y seguimiento de individuos	27
3.13.2	Pago	27
3.13.3	Documentación	28
3.13.4	Aplicaciones en España	28
3.14	<i>NFC (Near Field Communications)</i>	29
3.14.1	Campañas de Marketing con NFC en España	29
3.15	<i>Gráficos de interés</i>	30
4	Implantación de la tecnología RFID en España y Andalucía	32
4.1	<i>Grado de implantación en España</i>	32
4.1.1	Nivel global	32
4.1.2	Nivel europeo	33
4.1.3	Situación nacional	37
4.2	<i>Grado de implantación en Andalucía</i>	37
4.2.1	Innovación	37
4.2.2	TIC	39
4.2.3	Sector TIC	41
5	Seguridad y Privacidad de la tecnología RFID	43
5.1	<i>Ataques de seguridad</i>	43
5.1.1	Amenazas físicas	43
5.1.2	Amenazas de canal	44
5.1.3	Amenazas del sistema	44
5.2	<i>Medidas de seguridad</i>	45
5.2.1	Soluciones físicas	45
5.2.2	Autenticación	46
5.2.3	Criptografía	46
5.3	<i>Aspectos de privacidad y protección de datos</i>	47
5.4	<i>Privacidad y Seguridad de RFID en España</i>	48
5.4.1	Cumplimiento normativo	49
5.4.2	Recomendaciones	49
5.4.3	Buenas prácticas	50
6	Análisis de la inversión en tecnología RFID	52
6.1	<i>Datos actuales de beneficio de la tecnología RFID</i>	52
6.1.1	Telectrónica	52
6.1.2	Zara	53
6.1.3	Zebra 2017 Retail Vision Study	54
6.2	<i>Planteamiento del retorno de la inversión en tecnología RFID</i>	54
6.2.1	Cuantificar la inversión	54

6.2.2	Cuantificar los ingresos	55
6.2.3	Cálculo del ROI	55
6.2.4	Ejemplo numérico del ROI para un inversión en RFID	55
6.3	<i>RFID como solución a los problemas de inventario</i>	57
6.3.1	Marco de estudio	58
6.3.2	Expresión general de la función de costes	59
6.3.3	Análisis en el caso de errores aditivos	61
6.3.4	RFID como solución al problema de inexactitud de inventario	62
7	RFID como herramienta de innovación empresarial	65
7.1	<i>RFID y el internet de las cosas</i>	65
7.1.1	Posibles aplicaciones del Internet de las cosas	66
7.1.2	Papel que juega la tecnología RFID en el Internet de las cosas	66
7.1.3	IoT en España	67
7.2	<i>RFID y Big Data</i>	68
7.3	<i>RFID y Lean Manufacturing</i>	70
8	Conclusiones	72
	Apéndice I: Problema del vendedor de periódicos	74
	Referencias	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2–1. Identificadores GS1 (Fuente: elaboración propia)	6
Tabla 2–2. Clasificación atendiendo a la frecuencia (Fuente: elaboración propia)	8
Tabla 4–1. Enterprises using RFID instrument (Fuente: http://ec.europa.eu/eurostat)	36
Tabla 6–1. Cálculo ROI (Fuente: elaboración propia)	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Sistemas de identificación automática (Fuente: Khattab <i>et al.</i> , 2017)	4
Figura 2-2. Lector RFID (Fuente: www.inteligensa.com)	7
Figura 2-3. Etiqueta RFID (Fuente: www.pandaaid.com)	7
Figura 3-1. RFID en las tiendas (Fuente: www.rfidinformacion.es)	14
Figura 3-2. Cobro electrónico de peajes (Fuente: www.imasdetres.com)	16
Figura 3-3. RFID en bibliotecas (Fuente: www.kimaldi.com)	18
Figura 3-4. Identificación de pacientes (Fuente: UPNA)	21
Figura 3-5. Ticketea RFID (Fuente: www.ticketea.com)	26
Figura 3-6. Principales aplicaciones de la tecnología RFID (Fuente: Portillo García <i>et al.</i> , 2008)	30
Figura 3-7. Principales usos de la tecnología RFID (Fuente: Portillo García <i>et al.</i> , 2008)	30
Figura 4-1. Global Innovation Index 20017	33
Figura 4-2. DESI 2017 ranking	34
Figura 4-3. DESI 2017 rendimiento relativo de España	34
Figura 4-4. DESI integración de la tecnología digital en España	35
Figura 4-5. DESI integración de la tecnología digital en España detallada	35
Figura 4-6. Empresas que usan tecnología RFID (Fuente: http://ec.europa.eu/eurostat)	36
Figura 4-7. Empresas que usan tecnología RFID en España (Fuente: INE)	37
Figura 4-8. Empresas innovadoras por Comunidades Autónomas (Fuente: INE)	38
Figura 4-9. Empresas con innovaciones tecnológicas por Comunidades Autónomas	39
Figura 4-10. Uso tecnología RFID según tamaño de la empresa (Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía)	39
Figura 4-11. Uso tecnología RFID según tamaño de la empresa y el sector (Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía)	40
Figura 4-12. Uso tecnología RFID en microempresas (Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía)	41
Figura 4-13. Uso tecnología RFID en empresas por Comunidades Autónomas (Fuente: INE)	41
Figura 4-14. Sector TIC por Comunidades Autónomas (Fuente: ONTSI)	42
Figura 5-1. Etiqueta de bloqueo (Fuente: Khattab <i>et al.</i> , 2017)	45
Figura 5-2. Criptografía simétrica (Fuente: Khattab <i>et al.</i> , 2017)	47

Figura 5-3. Criptografía asimétrica (Fuente: Khattab <i>et al.</i> , 2017)	47
Figura 5-4. Impacto en la privacidad de RFID frente a otras tecnologías (Fuente: Capgemini)	48
Figura 6-1. Beneficios de RFID para activos retornables (Fuente: www.telectronica.com)	53
Figura 6-2. Beneficios de RFID para activos retornables (Fuente: www.telectronica.com)	53
Figura 6-3. Cadena de suministro minorista (Fuente: Rekik, 2011)	58
Figura 6-4. Cadena de suministro mayorista (Fuente: Rekik, 2011)	58
Figura 6-5. Modelos frente al problema de inventario (Fuente: Rekik, 2011)	59
Figura 6-6. Evolución del coste crítico con σ_{PH} (Fuente: Rekik, 2011)	64
Figura 6-7. Evolución del coste crítico con w (Fuente: Rekik, 2011)	64
Figura 7-1. Evolución temporal de RFID y IoT (Fuente: www.fqingenieria.com)	67
Figura 7-2. Ejemplos datos manejados en el mundo actual (Fuente: www.pinterest.es)	69
Figura 7-3. Interés a lo largo del tiempo del Big Data y del Learning Machine (Fuente: Google Trends)	70

1 OBJETIVOS

Un objetivo, una meta, un blanco, sirven para determinar la acción de hoy y obtener el resultado de mañana.

- Peter Drucker -

Uno de los motivos principales de la elección de la tecnología RFID para realizar este estudio es la visualización de la misma como la forma más moderna que tienen los objetos de comunicarse. Resulta un tema muy llamativo por su actualidad y cada vez más su dilatada expansión a distintos campos y sectores.

El primer objetivo que se plantea es, por tanto, conocer aspectos fundamentales de esta tecnología como pueden ser su funcionamiento y estructura, su tipología o su origen. De esta forma se pretende formar una idea clara de qué es la tecnología RFID y de cómo funciona para así estar en disposición de entender los distintos usos de dicha tecnología. A continuación, se intenta abordar cada una de las aplicaciones, es decir, la puesta en uso de la identificación por radiofrecuencia para distintos fines. Invadiendo multitud de aplicaciones, no todas ya que su enumeración sería prácticamente infinita, se intenta dar muestra de la expansión de la tecnología RFID a muy distintos sectores. A pesar de haber sido implementadas ya todas las utilidades mencionadas, se profundiza en aquellas de más éxito o en las que la tecnología RFID suponga más ventajas o facilidades para ese campo de aplicación.

En realidad, la finalidad última que movió la realización de este estudio fue conocer su implantación en España y Andalucía, es decir, saber qué papel juega la tecnología RFID en nuestro país y más concretamente en nuestra comunidad autónoma en comparación con el resto del mundo. Es por este motivo, que desde las aplicaciones, se procede a introducir este aspecto mencionando algunos casos de éxitos en España asociados a los usos expuestos de la identificación por radiofrecuencia. Se persigue obtener resultados fiables, basados en estudios y encuestas, del nivel de implantación y aceptación de la incipiente tecnología RFID en distintos escenarios dados por el tipo o tamaño de las empresas. Para ello se intentará aportar un gran número de gráficos y rankings. Es un aspecto importante pues extrapolando, podría obtenerse como resultado un índice de cómo España y Andalucía hacen frente a cualquier nueva tecnología. Además, incluyendo esta aportación más concreta, se quiere distinguir este estudio de los muchos artículos y proyectos en castellano que recogen simplemente la descripción, el funcionamiento, y las utilidades de la tecnología RFID.

Un aspecto que resulta fundamental al abordar este tema es, conocer los desafíos a los que la tecnología RFID se enfrenta. Se procura revisar lo que podría considerarse como las barreras para el desarrollo y expansión de la identificación por radiofrecuencia. Después de una visión general y no pormenorizada del complejo tema de la estandarización, se centrará toda la atención en los dos retos más importantes: la seguridad y el coste del sistema. El objetivo es analizarlos, examinar si realmente suponen un problema y en su caso, estudiar las posibles soluciones. Para la seguridad y privacidad, y haciendo alusión al objetivo anterior, se aborda también, de manera breve, la resolución de esta problemática en nuestras fronteras. En el segundo caso, el coste de la

implantación del sistema, y más concretamente el precio de las etiquetas, nos permitirán realizar un planteamiento mucho más concreto con el que se culminarán los objetivos principales del estudio. Se trata de valorar e intentar cuantificar los beneficios de la inversión en tecnología RFID con el fin de obtener un valor concreto a partir del cual rente a una empresa implantar la mencionada tecnología.

Para finalizar, e intentado dar una visión algo más futurista, se relaciona la tecnología RFID con aspectos de gran actualidad en nuestros días con el fin de que juntando todos ellos se puedan desarrollar nuevas ideas de negocio y mejoras para las empresas. También pueden suponer una herramienta para satisfacer necesidades de los usuarios que por ahora podrían incluso desconocerse.

2 INTRODUCCIÓN

El gran motor del cambio, la tecnología.

-Alvin Toffler-

En primer lugar, con el fin de entender mejor el tema abordado, se comenzará por describir lo que según la RAE es la tecnología.

Se conoce a la tecnología como el conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. En decir, la tecnología es la que hace posible diseñar y crear bienes y servicios para cubrir las necesidades y deseos de la humanidad.

Con la palabra tecnología seguida de las siglas en inglés RFID se accede al mundo de la identificación por radiofrecuencia, haciendo referencia a los sistemas de identificación de objetos mediante ondas de radio, y utilizando la palabra objeto en su sentido más amplio (producto, animal, persona, etc).

2.1 Identificación automática

La tecnología RFID, según (Khattab *et al.*, 2017) es un sistema de identificación automática (Auto-ID), es decir, una tecnología capaz de identificar y localizar objetos automáticamente mediante intercambios de información electrónicos sin interacción humana y evitando el ingreso de datos manualmente. Es debido a este último aspecto que la finalidad de usar esta tecnología es aumentar la eficiencia y disminuir el capital humano requerido, disminuyendo a su vez los errores potenciales del ser humano.

En la actualidad, existe una gran variedad de sistemas de identificación automática. Cada uno de ellos, con sus ventajas e inconvenientes, será elegido en función de los requerimientos de cada aplicación. Se expondrán a continuación los sistemas de identificación automática más conocidos y usuales:

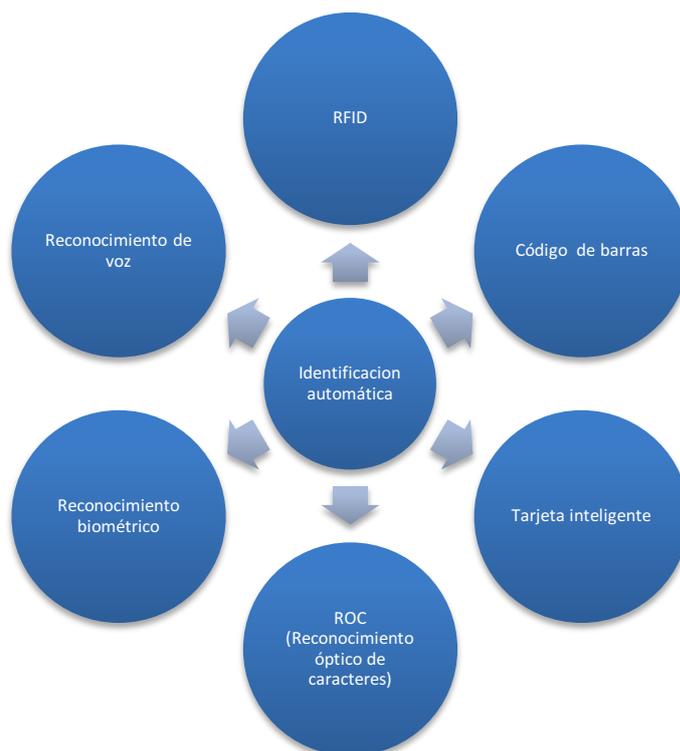


Figura 2-1. Sistemas de identificación automática (Fuente: Khattab *et al.*, 2017)

- Reconocimiento óptico de caracteres: cualquier imagen con un texto escrito a mano o impreso, se convierte en un texto digital. Maneja una alta densidad de información pero el costo de los lectores es muy alto debido a su complejidad.
- Reconocimiento biométrico: identificación de personas mediante atributos físicos individuales como el ADN, la huella digital, la imagen de la palma de la mano o la imagen facial. Se requiere siempre conexión directa.
- Reconocimiento de voz: identificación de personas mediante la voz, la cual se convierte en datos digitales. Posibilidad de falsificación mediante el uso de voz grabada. Sólo funciona para personas y se puede considerar una subcategoría de la biometría.
- Tarjeta inteligente: útil para proporcionar identificación, autenticación, almacenamiento y procesamiento de datos. La lectura se realiza a través de su área de contacto cuando la tarjeta se inserta en el lector. Evitan la lectura no autorizada pero son vulnerables a entornos hostiles.
- Código de barras: una imagen impresa de barras y espacios indica un código binario que identifica a un artículo. Necesitan contacto directo con el láser para ser leídas (velocidad de lectura baja) y su legibilidad puede desaparecer en entornos sucio o húmedos, sin embargo, son la solución más común por su bajo costo.
- RFID: la identificación se realiza usando señales de radio, por tanto, no se necesita contacto físico directo y se podrán identificar una gran cantidad de elementos en poco tiempo y con una alta fiabilidad. Las etiquetas RFID se pueden leer en una amplia variedad de circunstancias, sin embargo, esta tecnología es más costosa que las dos anteriores.

Se incluirá una comparativa más extensa entre los dos últimos sistemas mencionados más adelante.

Las características concretas que hacen a la tecnología RFID diferenciarse del resto de sistemas de identificación automática son las siguientes:

- ✓ Tamaño de datos: 16-64Kbyte
- ✓ Densidad de datos: Muy alta

- ✓ Legibilidad por una máquina: Buena
- ✓ Legibilidad por una persona: Imposible
- ✓ Influencia de la suciedad y humedad: Ninguna
- ✓ Influencia de distracciones visuales: Ninguna
- ✓ Copia no autorizada: Imposible
- ✓ Velocidad de lectura: Rápida

2.2 Comparativa entre la tecnología RFID y el código de barras

El código de barras ha sido la solución más común usada en la industria, principalmente por su bajo coste. Por ellos, se van a analizar las características principales de la tecnología RFID al compararla con el conocido y usual código de barras (www.telectronica.com).

Mientras que el código de barras requiere que las etiquetas sean vistas por el lector (“apuntar y disparar”), la identificación por radiofrecuencia no necesita de una alineación visual, lo cual supondrá un gran ahorro de tiempo.

Otra diferencia que podría ser confundida a priori con la anterior, es el escaneado deliberado o automático. Es decir, en el código de barras una persona debe deliberadamente leer la etiqueta con el scanner y en contraposición, una etiqueta RFID se anuncia a sí misma ante la presencia de un lector cercano por medio de la señal de radio.

En tercer lugar, la información que aparece en un código de barras es fija y no puede modificarse (sólo lectura), sin embargo, algunas etiquetas RFID poseen memoria electrónica pudiendo ser dinámicamente actualizadas (lectura y escritura).

Por último, y no por ello menos importante, los códigos de barras básicos solamente identifican a un producto y mediante la tecnología RFID, sin embargo, se transmite el EPC (Código Electrónico de Producto), es decir, con la tecnología RFID se puede identificar unívocamente cada artículo, diferenciándolo de otro ítem similar.

De manera genérica y sin entrar en detalle aún del campo concreto al que esta tecnología se aplique, expondremos, sintetizando la información anterior, algunas ventajas que supone la tecnología RFID frente al código de barras:

- No requiere ninguna línea visual con el producto.
- La etiqueta puede soportar un entorno hostil.
- Rango de lectura extenso.
- Mayor rapidez de lectura.
- Lectura de varias etiquetas al mismo tiempo.
- Entrada dinámica de datos.
- Etiqueta RFID asimilable a una base de datos portátil.
- Seguimiento de artículos en tiempo real.
- Identificación unívoca de cada ítem.

Congruentemente, la implantación de etiquetas RFID supondrá un coste más elevado que la instalación de códigos de barras.

2.3 Códigos de productos

El código EPC (Código Electrónico de Producto) es como se ha mencionado anteriormente, un número único de identificación para cada producto. La identificación unívoca de cada ítem es lo que diferencia al código EPC del código de barras. La tecnología EPC fue desarrollada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y es el pilar fundamental de la identificación por radio frecuencia. El EPC permite la identificación automática y el seguimiento de un artículo en toda la cadena de suministro.

Tanto para el EPC como para el código de barras, son importantes los estándares GS1. GS1 supone un lenguaje común a nivel global que permite identificar información con códigos estructurados y únicos, capturar la información y compartir los datos. En definitiva, los estándares GS1 se utilizan como portadores de información a nivel global, consiguiendo un lenguaje común. La organización que los gestiona, representada en España por AECOC (Asociación de Fabricantes y Distribuidores) permite identificar la información mediante códigos estructurales de forma no ambigua.

GS1 dispone de diferentes identificadores GS1 (www.gs1es.org) en función del elemento que se desea identificar y éstos son codificados a través de un código de barras o de una etiqueta EPC/RFID.

Tabla 2–1. Identificadores GS1 (Fuente: elaboración propia)

Siglas	Nombre	Uso	Ejemplos
GTIN	Global Trade Item Number	Productos y servicios	Botella de agua o álbum de música
GLN	Global Location Number	Localizaciones	Empresas, almacenes, fábricas o tiendas
SSCC	Serial Shipping Container Code	Unidades logísticas	Palés o paquetes
GRAI	Global Returnable Asset Identifier	Activos retornables	Cajas o palés
GIAI	Global Individual Asset Identifier	Activos	Equipos de transporte o equipamiento médico
GSRN	Global Service Relation Number	Prestatarios y receptores de servicios	Médico o bibliotecario
GDTI	Global Document Type Identifier	Documentos	Sistemas de envío o licencias de conducción
GINC	Global Identification Number for Consignment	Consignas	Unidades logísticas transportadas en un contenedor marítimo
GSIN	Global Shipment Identification Number	Envíos	Unidades logísticas entregadas a un cliente conjunto
GCN	Global Coupon Number	Cupones	Cupones digitales
CPID	Component/Part Identifier	Partes y componentes	Partes de un automóvil

2.4 Arquitectura del RFID

Con el fin de entender mejor cómo funciona la tecnología RFID, se van a definir sus componentes apuntados por (Khattab *et al.*, 2017). La arquitectura de un sistema RFID consiste en:

- Lector (transceptor): dispositivo que mediante sus antenas se comunica por medio de señales de radiofrecuencia para poder obtener la información almacenada en las etiquetas que detecte dentro de su rango de lectura. El lector envía periódicamente señales hasta que detecta la señal de una etiqueta, extrae la información y se la transmite a la base de datos. Pueden ser manuales o fijos y con distintas formas según la aplicación concreta.



Figura 2-2. Lector RFID (Fuente: www.inteligensa.com)

- Etiqueta o tag (transpondedor): compuesta por una antena que permite transmitir la información de identificación del chip cuando detecta el campo creado por el lector, un transductor radio que transforma un tipo de manifestación de energía a la entrada en otra distinta a la salida y un chip o material encapsulado que almacena el código único identificativo.

El chip posee una memoria interna, según la cual se puede distinguir:

-Solo lectura: el código de identificación es único y personalizado durante la fabricación de la etiqueta.

-De lectura y escritura: permiten que la información de identificación sea modificada.

La etiqueta va adherida al objeto para identificarlo unívocamente y almacenar toda su información.

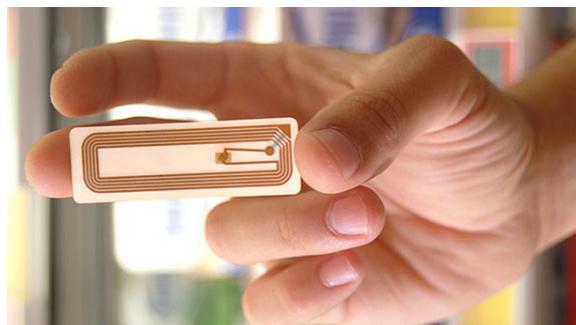


Figura 2-3. Etiqueta RFID (Fuente: www.pandaaid.com)

- Se pueden distinguir un tercer elemento que recibe, procesa los datos y almacena la información de los lectores. Este es el middleware RFID que gestiona el intercambio de información con el sistema de gestión de la empresa, el cual tomará las decisiones.

2.5 Tipología de etiquetas

De los componentes mencionados anteriormente, las etiquetas tienen las limitaciones más rigurosas en cuanto a la implementación. Generalmente podemos distinguir según (Khattab *et al.*, 2017) tres tipos de etiquetas: activa, pasiva o semi-pasiva.

La diferencia fundamental estriba en la incorporación de su propia batería tanto en la etiqueta activa como en la semi-pasiva. Entre ellas se diferencian porque la semi-pasiva carece de transmisor activo, es decir, no pueden iniciar la comunicación. La etiqueta pasiva, sin embargo, no necesita ninguna fuente de alimentación interna, activándose con la propia energía del lector cuando este se encuentre suficientemente cerca. Por este motivo, estas últimas son más baratas de fabricar e incluso más pequeñas. Tienen además una vida útil más larga. Las etiquetas activas presentan también algunas ventajas, por ejemplo, su mayor fiabilidad y su efectividad a distancias mayores. Una gran cantidad de etiquetas RFID en el mercado son pasivas, por ello se centrará gran parte del interés en ellas.

Podemos realizar también una clasificación de las etiquetas atendiendo a la frecuencia con la que funcionan. Sintetizaremos la información en una tabla:

Tabla 2–2. Clasificación atendiendo a la frecuencia (Fuente: elaboración propia)

Tipo	Low	High	Ultra-High	Microwave
Frecuencia	30-500 kHz	10-15 MHz	850-950 MHz	2.4-5.8 GHz
Distancia de lectura	<0.5m	<1m	3-6m	>6m
Transmisión de datos	Más lento	←—————→		Más rápido
Ejemplo de aplicación	Control de animales	Pagos	Trazabilidad de productos	Peajes automáticos

La tecnología UHF(Ultra-High Frequency) es en la que se basan actualmente la mayoría de proyectos y la que más crece por su amplia variedad de aplicaciones.

2.6 Historia y orígenes de la tecnología RFID

Para entender mejor todos los aspectos de esta tecnología, aparentemente reciente, qué mejor que indagar en sus orígenes según (Ustundag, 2013).

Para ello se remonta al 1939, Segunda Guerra Mundial, los británicos con el fin de distinguir sus propias aeronaves que volvían y las del enemigo, colocaron en las suyas propias transpondedores que respondían a las señales de las estaciones base. Este sistema, conocido como identificador amigo-enemigo (IFF) se considera el primer uso de la identificación por radiofrecuencia. Sin embargo, hubo que esperar hasta la década de 1960 para que tuviera lugar el primer uso comercial de la tecnología RFID, que no fue otro que el desarrollo de los sistemas de protección electrónica de artículos (EAS: electronic article surveillance) para evitar el robo de mercancías. Sin embargo, este tipo de sistema no identificaba automáticamente un ítem en particular si no que sólo detectaba su presencia.

Más pronto que tarde, en 1970; inventores, compañías, instituciones académicas e incluso laboratorios gubernamentales comenzaron a trabajar activamente en la tecnología RFID logrando avances notables. En 1990 tuvo lugar una aplicación revolucionaria en la historia de la tecnología RFID cuando en Estados Unidos se instaló la recaudación electrónica de peajes disminuyendo drásticamente la congestión en dichas áreas. Supuso también un gran impulso para esta incipiente tecnología el anuncio del departamento de defensa de los Estados Unidos en el que dotaba a las RFID del potencial de revolucionar en palabras exactas: “In-Transit-Visibility” y “Total Asset Visibility”, refiriéndose a la cadena de suministro. De la misma manera, en 2003, lo que se conoce como “El mandato Walmart” fue uno de los factores de mayor empuje para la tecnología cuando la cadena de supermercados anunció que a partir de 2005 sus proveedores debían entregar sus productos con un tag adosado para poder ser leído por radio frecuencia. De esta manera se alentó a muchos proveedores de la tecnología RFID al suministro comercial. En los últimos años el sistema basado en RFID se ha proclamado como una gran innovación comercial, y son cada vez más las empresas que promueven esta tecnología en sus centros, especialmente en los procesos de logística y cadena de suministro, ya que supone una gran ventaja competitiva. Algunos usuarios multinacionales de este sistema pueden ser Toyota, Boeing, Philips, Sony, Gillete, DHL y otros muchos de una lista en constante crecimiento.

2.7 Desafíos

La tecnología RFID se enfrenta a 3 retos de gran envergadura, apunta (Khattab *et al.*, 2017). El primer desafío que surge es la falta de estandarización global. Debido al gran número de aplicaciones posibles, existe un estándar diseñado para adaptarse a cada caso específico lo que supone un problema a la hora de integrar los sistemas RFID entre sí.

Así pues algunos de los estándares y regulaciones establecidos para la RFID hasta la fecha son:

- ISO 14223 – estándar que especifica la estructura del código de radiofrecuencia para transpondedores usados en animales.
- ISO 14443 – estándar basado en la frecuencia de 13,56 MHz (HF). Contiene cuatro partes.
- ISO 15693 – estándar basado también en la frecuencia de 13,56 MHz (HF)
- ISO 180000 – estándar que describe las diferentes tecnologías y/o frecuencias para la gestión a nivel de ítem. Las diferentes partes de este estándar (siete) describen las distintas frecuencias para establecer los distintos comportamientos físicos.
- ISO 18092 – estándar que describe el intercambio de información sin contacto entre sistemas, conocido también como NFC (Near Field Communication interface y protocolo: NFCIP-1).
- ISO 18185 – estándar que define el protocolo de comunicación de los sellos electrónicos para los contenedores de transporte de mercancías.
- ISO 21481 – sistemas de intercambio de información y telecomunicaciones entre sistemas (Near Field Communications interface y protocolo 2: NFCIP-2).
- ISO 28560-2 – especifica el estándar de grabación y el patrón de datos para las aplicaciones RFID en bibliotecas.
- EPC UHF class1 Gen2 – estandariza en los chips RFID pasivos su EPC en la identificación de los ítems en la cadena de suministro a nivel mundial.

Para finalizar, cabe señalar las regulaciones que cada país o región establece, en este caso, corresponde a las normativas europeas ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Otro gran desafío al que la tecnología RFID se enfrenta es la seguridad ya que los recursos para proporcionar privacidad y seguridad en las etiquetas RFID son limitados. La tecnología RFID se considera vulnerable a

ataques de seguridad por parte de un lector no autorizado que pudiera tanto extraer como modificar información. Las amenazas de seguridad se pueden configurar tanto en ataques de violación de seguridad (falsificación para realizar efectos no deseados) como en ataques de violación de privacidad (obtención de información almacenada en los objetos por un adversario). Una vez expuestas las aplicaciones más notables de la tecnología RFID, y por tanto comprendido mejor el mencionado inconveniente, se procederá a retomarlo más detalladamente.

El tercer reto de la identificación por radio frecuencia, con el cual podría eliminarse el inhibidor más potente para la extensión de la tecnología RFID, es reducir el coste total del sistema. A pesar de que se ha producido un importante abaratamiento del precio de las etiquetas desde sus comienzos, es cierto que implantar esta tecnología en la mayoría de casos supone un enorme gasto en adquisición y despliegue. Asumiendo que el coste de esta tecnología debería analizarse más detalladamente atendiendo a la relación entre inversión y beneficios. Se ahondará también en este tema más adelante.

Por último, se podría añadir lo que para la tecnología RFID supone un cuarto reto. Se ha mencionado en alguna ocasión la posibilidad del sistema de leer la información de varias etiquetas al mismo tiempo, lo cual supone una gran ventaja, pero para ello deben usarse técnicas o protocolos de anticolidión. Las colisiones se pueden presentar de dos formas: en el primer caso, cuando se utiliza más de un lector, puede ocurrir que “interroguen” de forma simultánea a una etiqueta y que por tanto ésta no sea capaz de decodificar la solitud enviada. Para el segundo caso, es posible que más de un Tag envíe su identificación al mismo tiempo, la colisión originada evitará su identificación por parte del lector. Ambos tipos de colisión producen sobrecarga y retardos en la identificación de las etiquetas, restándole utilidad a la solución RFID. Por tal motivo se requiere el uso de protocolos de anticolidión.

3 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA RFID

El verdadero progreso es el que pone la tecnología al alcance de todos.

- Henry Ford -

Realmente la tecnología RFID no es tan especializada como la mayoría de consumidores podrían pensar, de hecho el número de usos que se le han encontrado hasta la fecha es inmenso. A continuación se detallan algunos de los más importantes.

Antes de nada, se asumirán como principales funcionalidades de RFID: la identificación, la localización y el seguimiento. En muchas ocasiones vienen unidas pues una persona/objeto identificado, puede ser localizado por proximidad a través de un lector, y seguido o monitorizado a través de varios.

3.1 Cadena de suministro

Este es probablemente el campo de aplicación en el que la tecnología RFID aporta mayor valor. La cadena de suministro de un producto según apunta (Alfalla Luque, 2017) implica a todas las empresas y organizaciones que trabajan en la misma, desde la producción de materia prima hasta la entrega al cliente final. Cada uno de los eslabones debe aportar valor al producto y contribuir para satisfacer las necesidades del cliente. La gestión de la cadena de suministro implica por tanto la planificación, la ejecución y el control a lo largo de la misma tanto del flujo de materiales (directo o inverso) como del flujo de información asociado.

La logística, afirmado por el Centre for Logistics and Supply Chain Management, es la parte de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el almacenamiento y flujo eficiente y efectivo de bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen al punto de consumo con el objetivo de cubrir las necesidades de los clientes.

Concretando, el término cadena de suministro es mucho más amplio e incluye las actividades involucradas en la búsqueda, obtención y transformación de los productos además de regular las operaciones de fabricación, distribución, marketing, ventas, diseño de producto, finanzas y tecnología. La logística sin embargo se centrará en controlar la eficiencia del transporte, el almacenamiento y las operaciones de preparación de pedidos. Salvando las diferencias entre los conceptos de cadena de suministro y logística y sabiendo que la última de ellas es una parte fundamental de la primera, este caso se centrará mayoritariamente en la ventaja competitiva que supone la tecnología RFID en la logística.

3.1.1 Ventajas

La aplicación de la tecnología RFID en la logística permite que todos los agentes que participan en ella puedan tener un producto localizado y controlado (un concepto bautizado como supply chain visibility, es decir, hacer visible lo que pasa a lo largo de la cadena de suministro del producto). Esto aporta numerosas ventajas según (ORSI, 2007):

- Aumento de la eficiencia de la cadena de distribución, al admitirse lecturas más rápidas y más precisas. En definitiva, aumento de la velocidad de manipulación del material. Y por tanto, reducción del coste. En esta ventaja podemos incluir tanto la identificación de mercancía en la recepción como un correcto picking y su respectivo acorte en el tiempo de preparación de pedidos.
- Conocimiento real e inmediato sobre las tendencias de venta de un producto. Es decir, mejora en el pronóstico y la planificación comercial.
- Identificación de ubicación de artículos específicos. Por ejemplo, se habilita la localización, para su retirada del mercado, de productos concretos. El sistema permite cambiar ubicaciones sin importar quién lo haga o cuándo lo haga.
- Volúmenes menores en el inventario sin que la disponibilidad de los productos se vea afectada, debido al aumento de la exactitud de la información sobre el inventario.
- Reducción de errores en la información acerca de los productos.
- Reducción de roturas de stock. El personal conocerá cuándo se deben reponer las estanterías o cuándo un artículo se ha colocado en el lugar equivocado.
- Conocimiento de la rotación interna de productos. Se pueden evitar obsolescencias con una adecuada gestión de alertas en inventario.
- Eliminar el trabajo improductivo de registro de datos e información por parte del operario que no aportan valor al producto.
- Mayor control sobre la calidad de los productos.
- Mejora del reciclaje de productos.
- Reducción y control de hurtos.
- POS (Point of Sale) automáticos. Facturación de ítems sin necesidad de identificarlos individual y visualmente.

Por todas estas razones, el uso de tecnología RFID en la cadena de suministro es muy ventajoso para minoristas líderes y sus proveedores a la hora de conseguir ahorros en los costes de manipulación e incrementar la eficiencia en los procesos de distribución y en los sistemas de gestión del stock.

3.1.2 Otros aspectos

Además de las ventajas comentadas anteriormente gracias a la identificación de cada producto de manera unívoca, podemos encontrar algunas otras ventajas al aplicar la tecnología RFID a otros elementos del sistema logístico que no sea el propio producto. Por ejemplo:

Activos retornables

RTI(Reusable Transport Items) son todo tipo de contenedores, cubetas, containers y elementos que sirven para transportar productos y artículos con o sin retorno. Centrándonos en los retornables (www.telectronica.com), cada vez son más las compañías que los eligen para realizar el movimiento de sus materiales ya que reducen costes y contribuyen al cuidado del medio ambiente. Sin embargo, el control y seguimiento es cada vez más complejo. Con la tecnología RFID se procede de la siguiente manera: se identifica cada contenedor con un RFID; se instalan portales fijos en los puntos de ingreso y salida que se desean controlar; al ser atravesados, éstos transmiten la información de cada contenedor a la aplicación de gestión que actualiza la información y puede generar alarmas programadas si correspondiera. De esta manera se consigue una perfecta trazabilidad, logrando una disminución en muchos casos de más del 50% de pérdidas en activos retornables.

Transporte

Asignando la tecnología RFID a los propios vehículos que transportan la mercancía podemos identificar numerosas ventajas (www.novatrans.es):

- Registro automático de salida y entrada de vehículos para registrar de manera exhaustiva cuando sale y entra cada mercancía.
- Información en tiempo real sobre los productos que transportan los vehículos.
- Identificación y rastreo de la flota en ruta. Útil cuando en la trayectoria de uno de los vehículos se produzca un incidente que afecte a la cadena de suministro.
- Control del estado de los neumáticos colocando tecnología RFID en ellos.
- Asignación automatizada de ubicaciones de aparcamiento en las propias dársenas de los almacenes.
- Permiso de entrada de vehículos (apertura de la barrera) al leer los tags de los camiones con licencia de entrada al almacén.

Identificación de piezas

En entornos productivos, es común que algunos fabricantes identifiquen con tecnología RFID piezas con elevado coste con el objetivo principal de evitar extravíos. Esta práctica es habitual en la industria automovilística donde debido a la larga y compleja cadena de producción es necesaria para un correcto seguimiento de los vehículos. Es en este mismo sector donde además está empezando a desarrollarse una nueva cultura que obliga a los fabricantes a identificar los neumáticos para cambiarlos más eficazmente y que aún no ha llegado a España, al menos como ley.

3.1.3 Aplicaciones de éxito en España

A continuación se detallan una serie de casos en los que la tecnología RFID ha sido implantada con éxito en empresas españolas.

Zara

Apunta (El Economista, 2016) que fue a lo largo del ejercicio del año 2016 el objetivo que el grupo Inditex se puso para instalar la tecnología RFID en casi el 100% de las tiendas Zara repartidas por todo el mapa mundial, es decir, aproximadamente 2000 tiendas.

El presidente del grupo aseguró que la inversión supondría más un ahorro de tiempo de trabajo que un ahorro de costes pero que la ventaja más relevante sería entre muchas otras, la facilidad para la reposición en las tiendas y las entregas (nueva mercancía a las tiendas dos veces por semana), es decir, la agilización del proceso logístico. Además, los vendedores podrán conocer la disponibilidad (en tienda u on-line) y en su caso la localización de la prenda que el cliente quiere. Los dependientes no tendrán que pisar el almacén y pueden estar continuamente atendiendo al cliente mientras las encargadas de almacén, se dedicarán a buscar las

prendas que con seguridad están, a través de una pistola que alcanza hasta los 3 metros de distancia. Esto supone una gran ventaja competitiva al aumentar en gran medida la calidad de servicio al cliente. El proceso arranca con la identificación de cada prenda a su llegada al centro logístico donde la alarma que les ha colocado el proveedor se codifica para introducirle información como el modelo, la talla o el color.

La idea, desarrollada por Inditex, ha supuesto un hito novedoso en la tecnología RFID al lograrse un sistema "reciclable". Así, mientras otros distribuidores incluyen la información en las etiquetas (exteriores o interiores) que llevan las prendas, Inditex ha optado por implantar el chip en la alarma de la prenda. Cuando el producto pasa por caja para el pago, la alarma perderá todos los datos de manera que podrá reutilizarse más de cien veces. En definitiva, una manera inteligente de ahorrar costes.

Asimismo, esta tecnología permite controlar detalladamente lo que en distribución se conoce como "pérdida desconocida", la cual no se sabe si procede de robos, fraude de proveedores o errores internos. Se calcula que esta pérdida puede suponer hasta un 0,8% de las ventas totales de una empresa, lo que en Inditex podría corresponder a más de 100 millones de euros.

Desde el grupo Inditex aseguran, en base a los buenos resultados en Zara, que en 2018 estará implantada la tecnología RFID en Pull&Bear, Massimo Dutti y Uterqüe y que todas las tiendas del grupo contarán con RFID en 2020.

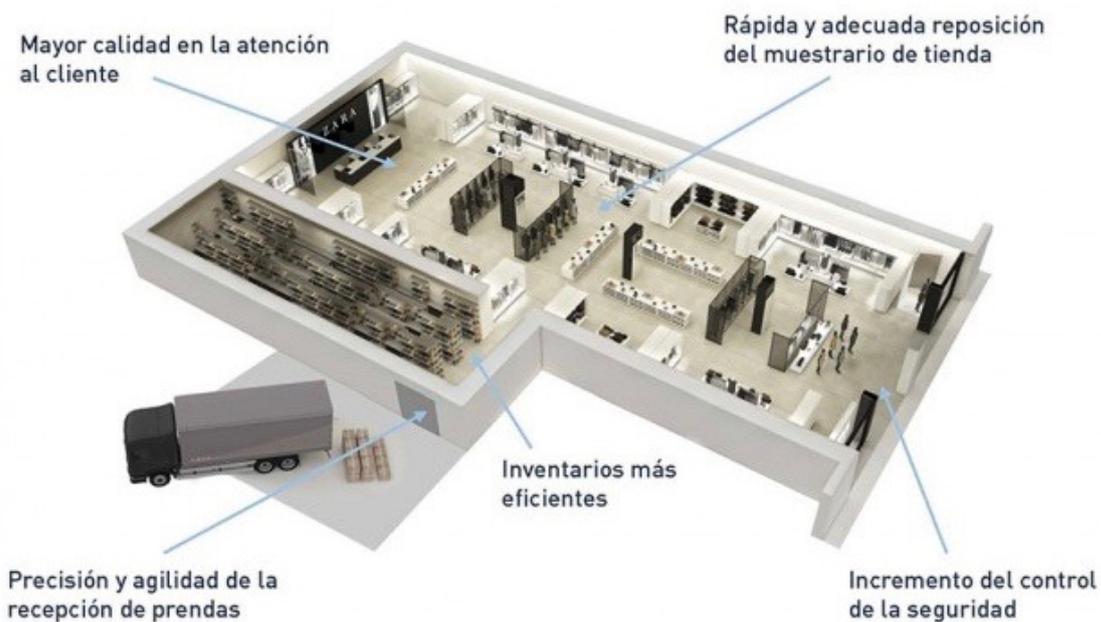


Figura 3-1. RFID en las tiendas (Fuente: www.rfidinformacion.es)

El Corte Inglés

De distinta manera, el Corte Inglés también ha sido una empresa española pionera en el uso de la identificación por radiofrecuencia al ser la primera en Europa en implantarla para la carga de sus camiones en Valdemoro, donde se encuentra su principal plataforma logística. Ya para el año 2010, el modus operandi era el siguiente (www.lrmconsultoria.com): los palets que salen diariamente de las naves del almacén central del Corte Inglés integran un chip cuya información es leída por un arco situado en cada muelle cuando se carga el camión. Un mensaje de voz anuncia "correcto" y una luz verde indica que la carga del camión es la correspondiente.

El sistema es tan sencillo que los tiempos de formación y adaptación del personal fueron mínimos. Sin embargo, la compañía ha conseguido reducir las incidencias de errores humanos y además ha disminuido el

tiempo de carga de cada camión. Todo esto supone una reducción de costes logísticos para el Corte Inglés.

De cara al futuro y a la vista de los resultados, el planteamiento es extender este sistema al resto de muelles de expedición de los centros de distribución, ya que tanto la fiabilidad como las mejoras operativas son altamente rentables.

3.2 Transporte urbano

Podemos distinguir dos aspectos muy distintos donde la tecnología RFID mejora la calidad de servicio a los usuarios del transporte urbano. Se distinguirán a continuación, exponiendo también algún ejemplo.

3.2.1 Precisión de tiempos de llegada

Aumentar la precisión en los tiempos de espera que se muestran a los viajeros bien en los paneles informativos de las paradas o bien en las aplicaciones móviles parece basarse, según propone (ORSI, 2007), en un funcionamiento bastante sencillo. Cada vehículo de transporte urbano (nos referimos principalmente a autobuses urbanos) llevará una etiqueta RFID que lo identifica unívocamente y en cada parada se instalará una antena capaz de detectar la información de esos tags. De esta manera, se consigue tener la información en tiempo real de en qué parada se encuentra un autobús concreto, y combinando esta información con un sistema GPS, se podrán precisar los tiempos de espera.

En última instancia, este sistema también podría resultar útil para explotar los datos con el objetivo de auditar y optimizar la gestión de rutas.

3.2.2 Medio de pago

En este caso se trata de una tarjeta inteligente capaz de transportar datos electrónicos y que al funcionar con la tecnología RFID, las máquinas pueden leerla sin necesidad de introducirla, sino simplemente acercándola lo suficiente.

Los usuarios de esta tecnología se benefician de algunas ventajas como pueden ser:

- Rapidez: permiten el acceso al medio de transporte de forma muy rápida, reduciendo por tanto el tiempo del trayecto.
- Pago e identificación juntos: no es necesario llevar un dorsal identificativo pues los datos constan en la propia tarjeta.
- Comodidad: el usuario podrá hacer mayores recargas y pasar menos por los puntos de venta.
- Difícil de romper: tarjeta sólida de plástico difícil de estropear.
- Posibilidad de distintas tarifas según el uso.

Además, la tarjeta funciona en entornos hostiles con suciedad, polvo, humedad o poca visibilidad y el medio ambiente agradece el hecho de que sea reutilizable.

3.2.3 Aplicaciones de éxito en España

Tussam

Tussam es la empresa encargada de gestionar el servicio de autobuses y tranvías urbanos en la ciudad de Sevilla. Los usuarios del transporte público en Sevilla, aseguran desde el Consorcio de transportes de Andalucía, hace años que pueden beneficiarse de las ventajas comentadas en el apartado anterior gracias al conocido Bonobús que incorpora tecnología RFID. Es fácil de ver en la capital hispalense a los usuarios de Tussam subiendo al autobús y “picando” sin ni siquiera sacar la tarjeta de la cartera. Además, en cuanto a las formas de tarificación, es posible tener en cuenta el transbordo, descontándose un alto porcentaje del importe del segundo trayecto. Además, existe la posibilidad de adquirir tarjetas identificativas para algunos colectivos, ya sea la tarjeta universitaria o la tarjeta de la tercera edad.

3.3 Cobro de peajes

Este sistema de peaje utiliza la tecnología por radio frecuencia para identificar automáticamente un vehículo y autorizar su circulación sin necesidad de detenerse. La utilización de RFID en peajes ofrece manifiestas ventajas como la mejora del flujo de vehículos, la reducción de gastos de operación a las autoridades de cobro de peajes y la mayor satisfacción por parte de los usuarios.

El lector en la estación de peaje detecta un vehículo gracias al Tag ya registrado en la base de datos central y procede a realizar la transacción debitando de la cuenta de prepago el valor de paso del peaje para inmediatamente autorizar el cruce por este.

La información registrada puede ser de utilidad para obtener reportes por horas, días, semanas o meses de la cantidad de vehículos que pasan y así establecer por ejemplo las horas pico de mayor circulación.



Figura 3-2. Cobro electrónico de peajes (Fuente: www.imasdetres.com)

Esta práctica pensada en su origen para los peajes de autopistas y carreteras se está imponiendo en algunas ciudades europeas con el objetivo de reducir el volumen de tráfico en el centro y promover el transporte público o la bicicleta. Por ejemplo en Estocolmo, se usa la tecnología RFID en el control de acceso de vehículos al centro, permitiendo a la ciudad aplicar tarifas que varían en función de la hora del día de manera instantánea. Por ahora, no se ha aplicado esta técnica en ninguna ciudad española.

3.3.1 Aplicación en España

Servicio VIA T

En España existe un sistema de peaje canalizado con barrera que acepta como medios de pago efectivo, tarjeta de crédito o telepeaje (www.autopistas.com). A este último nos referiremos.

Para poder usarlo es necesario instalar el dispositivo de telepeaje que colocado en el vehículo emite la señal de radio que acciona el telepeaje. De esta forma, se permite abonar el peaje sin necesidad de detener el vehículo pasando por los puestos de peaje señalizados como "VIA T". El sistema se puede utilizar en todos los peajes del territorio español y portugués y en algunos tramos del sur de Francia.

Se puede conseguir en la mayoría de las entidades bancarias y sociedades de servicios relacionadas con el sector del transporte.

3.4 Aeropuertos

Uno de los problemas más graves a los que deben enfrentarse las aerolíneas es la pérdida de equipaje. Además del coste que supone tanto por el rastreo como por la bonificación a los clientes, el problema principal es la repercusión en la imagen de la empresa. Una posible solución es la aplicación de la tecnología RFID para realizar la trazabilidad de equipajes en los aeropuertos. El principio de funcionamiento consiste en colocar un chip RFID con datos cifrados en la etiqueta del equipaje del pasajero. De esta forma, los sensores instalados en el aeropuerto permitirán a las compañías aéreas localizar con exactitud el equipaje en tiempo real, mejorando significativamente la gestión del servicio y la información ofrecida a los pasajeros, además de la seguridad.

El sistema descrito es absolutamente compatible con una aplicación móvil que sirva para rastrear el equipaje en todo momento enviando alertas y notificaciones, lo cual resulta muy atractivo para los clientes de las compañías aéreas.

El grado de implantación de esta aplicación es muy bajo tanto en España como en el resto del mundo. Algunas compañías están experimentando con el sistema desde hace algunos años, pero hasta ahora Delta es la única compañía que lo ha implantado a nivel mundial y que espera se rastree cada pieza de equipaje de principio a fin para este año 2018.

3.5 Bibliotecas

Además de mejorar las operaciones de préstamo y devolución, favorecer el archivo correcto de los libros y aliviar la carga de trabajo de los bibliotecarios (sobre todo en los procesos de inventario pues no será necesario sacar los libros de las estanterías), los sistemas RFID proporcionan un mejor control frente al robo, así como de los libros no devueltos. Podría ser esta una de las aplicaciones más flexibles de la identificación por radio frecuencia debido a los distintos modelos de funcionamiento que podrían desarrollarse. Se expone el más genérico según (Gómez Gómez *et al.*, 2007):

- Etiquetas: en todos los productos de la biblioteca (libros, cds, dvds, revistas, etc.) La tarjeta del usuario también puede contener un tag RFID para identificarlo.
- Estaciones de préstamo: dispone de dos lectores, uno para identificar al usuario mediante su tarjeta (si aún no dispusiera de etiqueta RFID sería simplemente un lector de código de barras) y otro sobre el que se sitúan todos los productos que queramos simultáneamente para autorizar el auto-préstamo y para desactivar la función antirrobo.
- Estaciones de devolución: ídem a la estación de préstamo. En este caso con la autorización de la auto-

devolución, se activará la función antirrobo de nuevo.

Las estaciones de préstamo y devolución pueden implementarse juntas o por separado.

- Puertas de seguridad: sistema antirrobo compuesto por dos antenas que forman un pasillo por el que deben pasar todos los clientes para entrar y salir.
- Lectores portátiles: para llevar a cabo el inventario y comprobar la ubicación.



Figura 3-3. RFID en bibliotecas (Fuente: www.kimaldi.com)

3.5.1 Aplicaciones en España

Este sistema está muy implantado en España, por eso es habitual encontrar, aunque no completo, el modelo descrito anteriormente en muchas bibliotecas del país. Solo en referencia a Nedap, empresa especializada en el desarrollo de aplicaciones inteligentes sobretodo en bibliotecas, se registran 39 bibliotecas españolas con tecnología RFID ya implantada.

Además, en nuestro país esta solución empezó a aplicarse hace ya algunos años. Poaiblemente la primera fuese la biblioteca del Centro de Humanidades y Ciencias Sociales de Madrid cuando ya en 2006 el Ministerio de Educación y Ciencia anunció la apertura del concurso para implantar un sistema RFID.

3.6 Animales

Existen dos campos fundamentales en los que usualmente se aplica la identificación por radio frecuencia en animales.

3.6.1 Ganado

Habitualmente se monitoriza al ganado a través de la tecnología RFID instalando un chip en las orejas del animal (en las patas si se trata de aves de corral) o en el estómago (por ingestión).

Ambos métodos permiten identificar al animal y garantizar su trazabilidad. El sistema ofrece una serie de ventajas entre las que se pueden destacar las siguientes (www.rfidcontrols.com):

- Control alimentario: los tags de los animales son detectados por un sistema de antenas colocado estratégicamente en los comederos en unión con un peso electrónico. Esta práctica permite conocer las veces y la cantidad de alimento que el animal ingiere a lo largo del día.
- Medir datos vitales: existen transpondedores capaces, por ejemplo, de medir la temperatura corporal del animal.
- Notificaciones o alarmas en caso de anomalías. Los responsables del ganado pueden tomar medidas inmediatas y evitar la propagación de enfermedades infecciosas, impidiendo que la carne, por ejemplo, de animales enfermos llegue a los consumidores.
- En cuanto a las casas de subastas de animales o a las instituciones gubernamentales, se les facilitará algunos aspectos como por ejemplo a la hora de demostrar la propiedad o evitar el fraude.

3.6.2 Macotas

Para ofrecer una identificación permanente de los animales domésticos, los transpondedores RFID son implantados, por veterinarios, bajo la piel del animal. El chip subcutáneo mejora las probabilidades de que las mascotas perdidas sean regresadas a sus verdaderos dueños pero también fomentan la tenencia responsable. Igualmente, el dispositivo puede usarse convenientemente para facilitar los registros médicos a los profesionales veterinarios.

En su mayoría en perros y gatos, la tecnología de aplicación es sencilla y rápida, además de duradera y fiable, siendo su implantación inocua para el animal.

Por todo lo mencionado anteriormente, los gobiernos y organizaciones de salud animal en todo el mundo han promulgado leyes para hacer obligatorio el uso de identificación electrónica en mascotas.

3.6.3 Aplicaciones en España

Junta de Andalucía

En Andalucía (www.juntadeandalucia.es) es obligatorio la identificación individual de animales de compañía con un sistema electrónico normalizado desde que se publicó la Ley 11/2003, de Protección de los Animales. El sistema es regulado por el Decreto 92/2005 por el que se establece que todos los perros, gatos y hurones existentes en Andalucía deben ser identificados con un microchip implantado bajo la piel en el lado izquierdo del cuello del animal en los siguientes plazos máximos: tres meses desde el nacimiento del animal o un mes desde la adquisición del animal. El microchip, de obligada implantación en Andalucía desde 2005, permite el control de los registros municipales y central de perros, gatos y hurones con el que se podrá disponer de censos fiables para actuar ante plagas, enfermedades, actuaciones ilegales, tratamientos o vacunaciones, abusos de animales y pérdidas.

3.7 Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Se puede desarrollar un sistema que implemente la tecnología RFID con el objetivo principal de controlar la calidad de servicio de la gestión de residuos. En decir, la identificación por radiofrecuencia permite distintas opciones de gestión, entre ellas, examinar la recogida, lavado y mantenimiento de contenedores de residuos sólidos urbanos. Las etiquetas implantadas en los cubos de basura son leídas por los lectores de los camiones para transmitir los datos. De igual manera, se podría controlar con el sistema, el transporte de residuos con el fin de optimizar el trazado de la ruta.

Otra aplicación para este mismo sector, es el uso de etiquetas adhesivas en las propias bolsas de basura para conocer los hábitos de los ciudadanos en cuanto a deposición y separación de residuos. El objetivo final es mejorar las tasas de reciclaje. No es este sector uno de los que despiertan más interés en el ámbito de la radiofrecuencia, de hecho estos sistemas aún no están muy extendidos en España, son casos contados y en su mayoría experiencias piloto.

3.7.1 Aplicaciones en España

Sistema de Gestión de Flotas y Contenedores de EPREMASA

EPREMASA es la empresa provincial de Residuos y Medio Ambiente de Córdoba que ha implantado un sistema pionero para controlar la calidad de los servicios. Ante la imposibilidad de realizar un control mediante observación directa debido al gran volumen de contenedores, decidieron en 2014 equipar todos los contenedores con tags. De esta manera, en la recogida de distintos tipos de contenedores se evalúan aspectos como el cerrado de la tapa, el estado del buzón y la plataforma peatonal, el accionamiento de los frenos, la limpieza... La inspección permite conocer en tiempo real cualquier incidencia.

3.8 Sanidad

La tecnología RFID, apunta (Portillo García *et al.*, 2008) ha despertado un gran interés desde sus inicios en su aplicación para el cuidado de la salud, extendiéndose ésta tanto en el sector hospitalario como en el sector farmacéutico y siendo aplicable a otros ámbitos como residencias de ancianos. Algunas de las ventajas que supone su aplicación en este sector pueden ser: eliminar el gran volumen de documentación en papel, asegurar que la información está siempre actualizada, reducir errores (tanto de medicación como de identidad entre pacientes), incrementar la seguridad en los hospitales o reducir tiempos. Los sistemas de radio frecuencia, con el objetivo principal de mejorar la atención, se emplean en el ámbito de la salud para dos grandes aplicaciones (distinguibiles en cualquier ámbito pero en este de manera más clara): etiquetar y localizar.

3.8.1 Etiquetar

Estableciendo el foco en mejorar la gestión en los hospitales, se puede aplicar el etiquetado a dos tipos de recursos:

- Etiquetado de personas: tanto del profesional sanitario como de los propios pacientes e incluso de sus visitas. En cada caso pueden obtenerse ventajas y funcionalidades diferentes:
 - Identificación de pacientes, habitualmente con brazaletes RFID, con el objetivo de almacenar o consultar el historial médico, monitorizar las constantes vitales y controlar el

tratamiento. En definitiva facilita la prevención de errores, por ejemplo, asegurando que la medicación es la correcta y la dosis adecuada o que la transfusión de sangre es del grupo que corresponde.

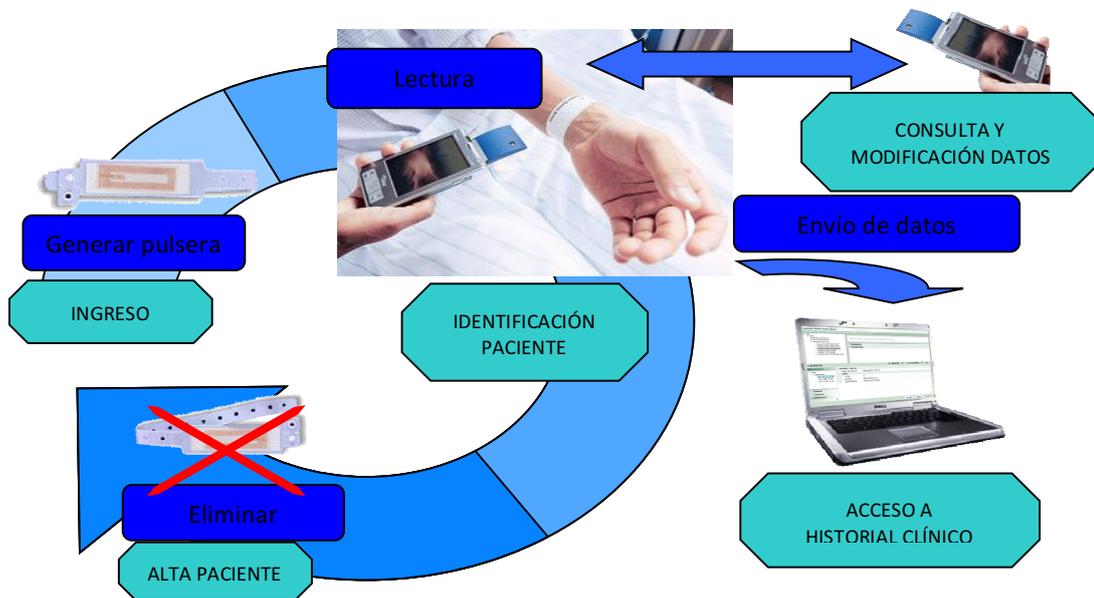


Figura 3-4. Identificación de pacientes (Fuente: UPNA)

- Identificación del profesional que trata a cada paciente, periodicidad y tiempo dedicado a cada paciente. Se podría incluso prevenir el contagio de enfermedades infecciosas conociendo qué trabajadores del hospital han estado en contacto con qué pacientes. Además, la identificación del personal sanitario, permitirá la seguridad y el control de accesos a zonas restringidas.
- Identificación de visitas: control de las visitas externas a cada paciente.
 - Etiquetado de material: tanto de medicamentos como de otros suministros (instrumental médico, bolsas de sangre, implantes ortopédicos...). Sirve entre otros, para evitar falsificaciones de medicamentos, mejorar la gestión del material sanitario en stock (incluido el control del inventario) y retirar los fármacos caducados.

Con respecto a esta aplicación es importante también la identificación de muestras para analizar (muestras de sangre u orgánicas, bolsas de plasma, etc.).

3.8.2 Localizar

Con la finalidad de obtener una monitorización, de nuevo tanto de personas como de material, se puede realizar una localización RFID zonal o por celdas. La primera de ellas consiste en los lectores fijos en determinados puntos estratégicos del recinto que identifican cuando un objeto o persona ha pasado por ese lugar. En el segundo caso, estaríamos ante un sistema de localización en tiempo real que combina etiquetas activas y un sistema wifi.

La localización de personas estaría orientada para doctores y enfermeros, pacientes, e incluso enfermos crónicos o personas mayores fuera del entorno hospitalario.

En cuanto al seguimiento de medicamentos y material sanitario se realizaría para la localización inmediata del material requerido, la prevención de robos de bienes del hospital o equipamiento, o incluso para evitar los olvidos de material quirúrgico en el cuerpo del paciente.

3.8.3 Aplicaciones en España

Mientras que algunos de los aspectos expuestos anteriormente solo constituyen casos de estudio o pruebas piloto, otros de ellos suponen iniciativas reales en nuestro país. Se mencionan solo algunos ejemplos.

Fundación Ave María

La fundación española Ave María que ofrece atención a personas con discapacidad severa, además de gestionar su lavandería con RFID (el tag de la ropa se comunica con los lectores y se muestra a quien pertenece cada prenda), puso en marcha un dispensador automático de medicamentos usando esa misma tecnología. Una de las prestaciones más importante es la detección de errores en la administración de fármacos con un grado de fiabilidad practicamente del 100%. El dispensador avisa, gracias a la alarma, si se medica al enfermo más tarde de la hora prevista. Además, otra de las ventajas fundamentales que presenta el proyecto es la gestión y el control de los fármacos de la enfermería. Como utilidad adicional se puede mencionar la recogida de datos de interés como la realización de estadísticas sobre el consumo anual de medicamentos y con ello el cruce de informes entre los administradores de los medicamentos y el departamento farmacéutico.

AT4Wireless

La empresa malagueña AT4Wireless, antes de ser vendida al grupo Alemán Dekra, afrontó el despliegue de algunas experiencias de implantación de la tecnología RFID en entornos sanitarios en España.

Uno de ellos se ha desarrollado en el Hospital de Alta Resolución de Benalmádena en Málaga. Se trata de un Sistema de Localización en Tiempo Real (RTLS) basado en tecnología RFID y aplicado en su mayoría a equipos de electromedicina (desfibrilador, marcapasos, electrocardiograma, electrobisturí...) para un perfecto seguimiento de estos.

Asimismo, en el Hospital Costa del Sol de Marbella (Hospital de día Oncológico), AT4Wireless desplegó en este caso un sistema de identificación de pacientes. El uso de pulseras con un chip RFID para los enfermos, permite almacenar los datos identificativos de cada paciente y su historial clínico. El personal médico, provisto de dispositivos que incluyen lectores RFID, identifican a los pacientes y aseguran que la medicación suministrada es la adecuada y en la dosis y el orden establecido por el médico.

3.9 Supermercados

Probablemente sea esta una de las aplicaciones más novedosas que existan en el campo de la tecnología RFID. Se describe según (ORSI, 2007) a continuación un sistema de lo que sería un supermercado en su máxima implementación con esta tecnología.

Imaginando que cada producto tuviera una etiqueta que lo identificase mediante radio frecuencia, el sistema podría funcionar de la siguiente manera:

Para el cliente, además de la inexistencia de colas, se eliminaría la necesidad de descargar y volver a

cargar el carro ante la cajera ya que al pasarlo por el arco de salida, se detectarían simultáneamente todos los códigos de producto (sin importar la orientación o la existencia de visión directa) para abonar el importe. Al mismo tiempo, los productos que pasan por la salida serían dados de baja en el sistema. Además de la facilidad y el ahorro de tiempo para el cliente, se evitarían errores humanos en la confección del ticket.

Igualmente sería una ventaja para el cliente, si el carrito incorporara un lector para informar del precio y datos adicionales como fechas de caducidad u ofertas.

Para el empresario se simplificaría el trabajo por varios motivos. Fácilmente se podría localizar la mercancía colocada fuera de lugar por los clientes y llevarla a su sitio, buscar en las estanterías del almacén la mercancía que falta en tienda y reponerla y eliminar los productos que han sobrepasado su fecha de caducidad.

Aunque aún esté lejos de ser una realidad en España, en Estados Unidos, a partir de Enero de 2018, los clientes de Amazon pueden beneficiarse de un sistema que combina algunos aspectos descritos anteriormente con cámaras de seguridad y sensores de peso en el supermercado inteligente Amazon Go. Además, al salir se carga el importe de la compra de manera automática en la cuenta Amazon del usuario.

3.10 Lavandería

La tecnología RFID proporciona soluciones para entornos en los que deba llevarse a cabo un seguimiento más detallado de elementos textiles como son principalmente las lavanderías, pero también hoteles, restaurantes u hospitales. Las etiquetas RFID utilizadas para esta aplicación deben ser resistentes a los procesos de lavado industriales, incluso a la esterilización y al planchado.

Las ventajas principales (www.telectronica.com) son:

- Conocer con fiabilidad lo que recibimos de los clientes.
- Identificar las prendas que necesiten un tratamiento específico (por ejemplo alguna ropa de hospitales).
- Facilitar la separación de la ropa lavada por clientes para agilizar el envío.
- Eliminar la pérdida desconocida y los robos.
- Controlar la cantidad de lavados, los tiempos y el estado de la prenda.
- Informar al cliente del estado de su pedido.

3.10.1 Aplicaciones en España

Resuinsa

La firma valenciana (www.resuinsa.com) que presta servicio en los cinco continentes, ha decidido implantar la tecnología RFID en sus prendas textiles. Cualquier hostelero que utilice sus productos podrá conocer exactamente tantos los lavados de cada una de sus prendas (mantelerías, sábanas, toallas...) como su probable vida útil. Los clientes de esta empresa también podrán llevar un control exhaustivo de las prendas que envían a la lavandería y las que reciben de vuelta, además del número de artículos en los almacenes. En definitiva, se pueden controlar los movimientos de cada prenda evitando errores y reduciendo los tiempos.

Residencia de mayores El Salvador

La entidad concertada con la Consejería para la Igualdad y Biniestar Social de la Junta de Andalucía, ha implantado un sistema de gestión inteligente mediante tecnología RFID para su servicio de lavandería (www.rfidpoint.com). Dicho avance, ha conseguido hacer más eficaces tanto los procesos de lavado, como la clasificación y trazabilidad y por último, el reparto. El sistema, en el que se incluyen más de 600 piezas de ropa de alrededor de 147 residentes, es capaz además de indicar cuándo debe sustituirse cada prenda ya que registra el número de lavados. Los tags, encapsulados, han sido creados con materiales especiales con el objetivo de que resistan el lavado, secado y planchado. La directora del centro asegura que la identificación automática de la ropa y los propietarios ha eliminado cualquier opción de extravío o de error en el reparto. Para facilitar la clasificación se ideó el siguiente sistema: cuando se identifica una prenda, se enciende una señal luminosa en la cubeta correspondiente al usuario de la residencia y propietario de la prenda. A posteriori, el personal de la residencia traslada las bandejas comprobando con una PDA que la información de la etiqueta de la bandeja se corresponde con la de los tags adhesivos del armario del residente.

3.11 Agricultura

En el sector de la agricultura se podrán distinguir distintas aplicaciones de la tecnología RFID en su mayoría destinadas a ofrecer ventajas a la agricultura comercial e industrial que ocupa grandes campos, dejando un poco al margen al agricultor de subsistencia que cultiva una pequeña área. También se pueden encontrar implementaciones en la cadena de suministro alimentaria, lo cual se supone tratado al inicio de este capítulo.

3.11.1 Producto recolectado

Se pueden desarrollar soluciones con la tecnología RFID de manera que se apliquen etiquetas a cada ítem o grupo de ítems recolectados. De esta manera, el agricultor con una simple lectura podrá consultar datos esenciales que faciliten el almacenamiento o la venta. Las etiquetas pueden contener información como la fecha de cosecha, niveles de humedad, temperatura, peso, cantidad de aditivos usados, latitud y longitud de la cosecha... Los agricultores además se aseguran que el producto es de una calidad consistente y se pueden extraer las cosechas que no estén en buen estado. Esta técnica ya se aplica a las balas de heno siendo extensible a cualquier tipo de recolecta.

3.11.2 Plantaciones

El sistema desarrollado para empresas agroindustriales y plantaciones forestales, permite, mediante identificación por radio frecuencia y GPS, monitorear y controlar el crecimiento de las plantaciones. Por ejemplo, se podrá conocer en todo momento la altura y el diámetro de cada árbol. Además, se podrá estimar su valor comercial en tiempo real e incluso servirá para tener un mayor control de la madera.

3.11.3 Aplicaciones en España

ITL Drone AGRO RFID

La empresa española Tag Ingenieros (www.tagingenieros.com), reconocida como una de las más innovadoras del país, ha desarrollado un Dron RFID. Esta solución, mucho más tecnológica que las mencionadas anteriormente, se convierte en una gran herramienta para la obtención de datos en grandes superficies

agrícolas. Combinando la lectura aérea con RFID y el posicionamiento mediante GPS, ofrece lecturas a demanda sin desplazamientos de personal.

3.12 Control de acceso de personas

Las aplicaciones RFID en el control de accesos aportan principalmente funcionalidad y eficiencia, que es lo que la mayoría de organizaciones hoy en día requieren. La tecnología RFID se ha convertido en una elección popular en este sentido ya que ofrece una gran gama de soluciones, adaptables a distintas situaciones u organizaciones. Esto se debe al empleo de distintas frecuencias: una tarjeta que se acerca a un lector usará baja frecuencia, una configuración a modo de pasillo o puerta trabajará habitualmente en alta frecuencia, y sistemas de lectura de largo alcance usarán UHF. En todas las variantes mencionadas, la identificación por radio frecuencia soluciona grandes deficiencias de los sistemas tradicionales de control de acceso como pueden ser el contacto directo de la tarjeta y el lector o la imposibilidad de actualizar la información.

Además, este tipo de aplicación supone una medida de seguridad adicional. Por ejemplo, en áreas de alto riesgo, se agiliza cualquier proceso de autorización. Esto resultaría muy útil en caso de evacuación de emergencia y además sin olvidar que se puede conseguir una fiabilidad de lectura del 100%. A continuación se expondrán otros ejemplos más detallados de control de accesos para seres humanos.

3.12.1 Ticketing

Según indica (Khattab *et al.*, 2017) asistir a cualquier evento puede ser más rápido y seguro si se hace uso de las entradas inteligentes que incorporen tecnología RFID y de los puntos de venta inteligentes. Este método es extrapolable a muchas aplicaciones, desde el acceso y disfrute de parques de atracciones, hasta estadios deportivos, conciertos y exposiciones. Las ventajas que se aportan son numerosas:

- Fluidez en los accesos al evento pues se reducen las colas drásticamente.
- Los invitados no necesitan portar una acreditación en un lugar visible ya que la identificación automática no requiere contacto directo.
- Las entradas inteligentes son más resistentes a las falsificaciones.
- Funciones adicionales como controlar la asistencia, ofrecer datos de interés en tiempo real (por ejemplo el porcentaje de ocupación) o incluso dar la bienvenida a los usuarios con nombre y apellidos.

Esta aplicación ha sido utilizada desde hace años en eventos Mundiales como los Juegos Olímpicos de 2008 en Pekín. La información personal (fotografía del titular, datos del pasaporte, dirección postal, correo electrónico y número de teléfono) se almacenaban en el pase del personal y los jugadores ayudando al registro a la llegada, la identificación de seguridad o incluso el pago.

RFID tiene ventajas en cuanto a velocidad, precisión y fiabilidad, por lo tanto, las entradas electrónicas etiquetadas con RFID reemplazarán gradualmente a las tradicionales y facilitarán aplicaciones inteligentes en grandes eventos o parques temáticos.

3.12.2 Hostelería

En el ámbito de los hoteles, la tecnología RFID permite proporcionar al cliente un dispositivo identificativo único que mejora la gestión para el personal del hotel. Además, la identificación por radio

frecuencia permitirá al cliente disfrutar de los diferentes servicios que ofrece el hotel de manera funcional, rápida y fiable o acceder a zonas restringidas solo para clientes. Existe también la posibilidad de que los clientes efectúen el pago de algunas compras dentro del hotel con la propia tarjeta. Si bien es muy útil para el personal que trabaje en este sector, se comprueba que el objetivo principal de esta aplicación es mejorar la calidad de servicio del cliente.

La tarjeta inteligente con la utilidad de identificar a personas y controlar sus accesos, puede entenderse también como un medio para identificar los hábitos y preferencias de consumo y por tanto incrementarlos. En la memoria de las tarjetas, puede almacenarse y actualizarse información como la fecha y horarios de asistencia de los clientes o incluso el importe de sus consumos por categoría de productos. Este uso sería especialmente provechoso en bares o discotecas donde, además de dotar al cliente de un estatus de reconocimiento al portar una tarjeta personalizada, se podrán ofrecer descuentos según el tipo de cliente.

3.12.3 Aplicaciones en España

Ticketea RFID

Ticketea (www.ticketea.com) es la plataforma líder en España de venta de entradas de festivales y conciertos. También gestionan teatro, monólogos, eventos deportivos, conferencias...

La plataforma ofrece una solución tecnológica para los organizadores de eventos conocida como Ticketea RFID que consiste en pulseras con microchip en la que se carga previamente todo tipo de información y un software propio para leerlas.



Figura 3-5. Ticketea RFID (Fuente: www.ticketea.com)

El sistema incluye:

- Cashless: sistema de pago que evita que los asistentes lleven dinero efectivo encima y con el que se realizarán los cobros de manera rápida y segura. Los asistentes podrán cargar el saldo de sus pulseras antes de que comience el evento o en lugares que se habiliten para ello.
- Control de accesos: los usuarios podrán recibir la pulsera en casa antes del evento lo que hará que el acceso al recinto se realice de forma muy rápida. Las pulseras se cargan con un localizador único lo que imposibilita las entradas falsificadas. Además, se dispondrá de información en tiempo real de los flujos de entradas y del aforo exacto pudiéndose controlar por zonas.
- Integración con redes sociales: activaciones de marca que motivarán a patrocinadores a financiar el evento.
- Gestión del equipo: acreditaciones para colectivos como producción, prensa, artistas o ponentes

de manera fácil.

Bodegas de restaurantes

A pesar de que no se expondrá un caso concreto de aplicación en nuestro país, resulta interesante destacar que cada vez son más los restaurantes que optan por aplicar tecnología RFID para la gestión de sus bodegas. Este hecho resulta de interés pues es el sector del vino uno de los más importantes en España. Siendo las botellas de vino ítems de gran valor, la tecnología por radio frecuencia busca evitar la gestión manual de estas produciendo así un ahorro de tiempo y evitando el riesgo de rotura. Así pues, los objetivos fundamentales de este uso son: mejorar los tiempos del proceso de inventario, reducir la manipulación de botellas, agilizar la búsqueda de botellas y asegurar la correcta salida de una botella a una mesa.

3.13 Otras aplicaciones RFID en personas

3.13.1 Localización y seguimiento de individuos

Se trata de utilizar la tecnología RFID para implantar sistemas RTLS (Sistema de Localización en tiempo real) ya comentado en la aplicación de sanidad. Se trataría en este caso según (ORSI, 2007) de controlar en tiempo real la posición de internos y/o empleados en las dependencias de centros penitenciarios como ocurre ya en multitud de prisiones en EEUU. Cada interno tiene incorporado un tag RFID que lo identifica unívocamente ya sea mediante una pulsera, una tobillera o simplemente en el bolsillo. El sistema RTLS, mediante un soporte informático y con los datos que obtiene de la red de antenas y lectores RFID, puede conocer en todo momento la posición exacta del interno en el interior del centro.

Asimismo, a través de pulseras con dispositivos RFID se podría realizar un control presencial por ejemplo, en el ámbito escolar.

Dando un paso más, en algunos países incluso se estudia la posibilidad de utilizar chips RFID implantados en humanos para garantizar por ejemplo la identificación de personal autorizado. Tal avance implantado a soldados en combate sería muy útil con el fin de localizarlos en caso de incidente y de acceder rápidamente a su historial médico.

Mediante la implantación de un chip RFID se elimina el riesgo de perder la tarjeta, la llave o el carné lo cual resulta una gran ventaja en casos de evacuaciones de emergencia, pues se agiliza cualquier proceso de autorización aún más ya que no se pierde tiempo en buscar el elemento identificativo.

3.13.2 Pago

En numerosas ocasiones a lo largo de este capítulo de aplicaciones se ha mencionado la posibilidad que ofrece la tecnología RFID para pagar de manera sencilla (Autobús, Amazon Go, Ticketea RFID, Cobro de peajes...). Nos referimos a los sistemas de pago contactless y no es sorprendente que las propias entidades bancarias lo hayan implantado en sus tarjetas. Cada marca inició un programa de adaptación para dicha tecnología con sus propias particularidades algunos de ellos son PayPass para MasterCard o PayWave para Visa. Las tarjetas que incorporan esta tecnología son identificadas con el siguiente símbolo:



El funcionamiento de las tarjetas contactless es muy sencillo: la tarjeta se aproxima al lector a una distancia de entre 0 y 10 cm, los datos se transmiten por radiofrecuencia y en función de las políticas del banco emisor y de la cantidad y coste de transacción se solicita o no el pin.

3.13.3 Documentación

El principal objetivo de implantar dispositivos RFID en documentos oficiales de personas como pasaportes, carnés de conducir, DNI u otros documentos oficiales no es otro que dotarlos de más seguridad. Esta tecnología se aplica ya en multitud de países desde hace años, y aunque a sus inicios creó una gran controversia, hoy en día permite aumentar la eficiencia de las máquinas de lectura de datos en fronteras de todo el mundo. Los chips integrados que contienen la misma información que el documento impreso, permiten comprobaciones más exactas y rápidas, y sobretodo, consiguen evitar fraudes pues aseguran la realidad de la persona.

3.13.4 Aplicaciones en España

Pulseras “anti-maltrato”

Apuntaba (El Confidencial, 2008) que fue a partir de 2009 cuando en España se empezaron a implantar las pulseras “anti-maltrato” para evitar la violencia de género y asegurar que se cumpliesen las órdenes de alejamiento impuestas por los jueces. Se calcula que desde entonces se han instalado cerca de 5.245 pulseras de seguimiento. La víctima, debe llevar siempre consigo un lector RFID de reducido tamaño y el agresor debe llevar siempre un tag RFID insertado normalmente en una pulsera y un dispositivo GPS para poder localizarlo. Así, cuando se acerca a una determinada distancia, el lector de la víctima avisa de la presencia del agresor. La vigilancia del sistema es ejercida desde el Centro de Control de Medidas Telemáticas de Alejamiento (Cometa).

Actualmente, se estima que la tecnología falla en el 60% de ocasiones, en cuyos casos, la policía tiene que llamar a la víctima para asegurarse que está bien hasta que se recupera la señal. En la mayoría de ocasiones el fallo se debe a la pérdida de señal o al agotamiento de la batería. El motivo sea posiblemente que las pulseras que funcionan con señales 2G y 3G hayan quedado obsoletas. A pesar de estos datos, resolubles con un mayor presupuesto y por tanto una tecnología más nueva, este caso no deja de ser un nuevo ejemplo de las útiles aplicaciones de la tecnología RFID.

DNI 3.0

En España, el nuevo Documento Nacional de Identidad conocido como DNI 3.0, se implantó en el año 2015. El nuevo DNI, con la capacidad de transmitir información de manera inalámbrica, fue visto en ese momento por muchos grupos sociales como algo inseguro. Sin embargo, el documento que transmite información apenas a unos centímetros de distancia, solo podrá ser leído por un ciudadano usando el código (CAN) que aparece en el propio DNI. Para verificaciones automatizadas (como la que se usa en un control de fronteras) se leerá un código OCR. Fue importante destacar también en aquel momento que la información que contiene el tag del DNI es la misma que se puede ver impresa. Dicho esto, el objetivo de la inclusión del chip es ofrecer la

verificación de la identidad que no se pueda alterar (la información impresa es falsificable pero la codificada no) además de aligerar los controles para viajar.

Adicionalmente, el DNI actual, abre una nueva vía en transacciones seguras sobretodo desde dispositivos móviles. Un claro ejemplo podría ser al comprar unos billetes de avión: con solo introducir el número CAN mencionado anteriormente, aparecerán los datos personales en el billete sin necesidad de escribirlos a mano.

Esta última aplicación se hace posible gracias a la tecnología NFC que detallaremos a continuación.

3.14 NFC (Near Field Communications)

La tecnología de Comunicación de Campo Cercano, según indica (Portillo García *et al.*, 2008), ofrece nuevas funcionalidades a la tecnología RFID debido a que combina la etiqueta y el lector en un mismo dispositivo. La tecnología NFC, considerada por muchos como la heredera de la tecnología RFID, es muy útil cuando de dispositivos móviles se trata.

Siendo el rango de cobertura pequeño (<10cm), la tecnología NFC no está pensada para transmitir grandes volúmenes de datos sino para hacerlo de forma rápida, eficiente y segura. Al igual que la tecnología RFID, contará con protocolos activos y pasivos cuya elección dependerá de la aplicación concreta.

NFC ha sido especialmente ventajosa en la aplicación de la tecnología RFID como medio de pago, expuesta anteriormente. Dando un paso más, en la actualidad aplicaciones como Apple Pay permiten pagar con un móvil con NFC instalado.

Además de los métodos de pago, existen usos en los que el NFC móvil puede facilitar la vida al ser humano. Uno de ellos es la sincronización instantánea con otros dispositivos inalámbricos como altavoces o auriculares (más sencillo que mediante Bluetooth pues no requieren emparejarse primero). Podría jugar un papel importante incluso en sanidad, donde en el caso de enfermos crónicos, los equipos de medida dotados de tecnología NFC en el hogar podrían comunicarse con el móvil del paciente y enviar la información al centro de salud. Otra utilidad podría ser el uso de etiquetas NFC programables mediante una app de manera que siempre que acerques tu smartphone se modifique automáticamente. Por último mencionaremos que puede desarrollar un papel importante en algunas campañas de marketing como veremos más adelante.

La tecnología NFC tiene un gran potencial y su éxito dependerá de la producción masiva de teléfonos móviles que la implementen. Por mencionar algunas posibles y llamativas aplicaciones futuras pensaremos en un cine que al entrar configure los teléfonos móviles de los asistentes en silencio o incluso en la posibilidad de que tu nevera monitorice las etiquetas NFC de los alimentos que guardas en ella y realice la lista de la compra por ti.

3.14.1 Campañas de Marketing con NFC en España

NFC puede suponer también una gran ventaja para la comunicación con los usuarios de un servicio (www.computerhoy.com).

En la Alhambra de Granada se han realizado pruebas en las que al acercar un smartphone con NFC, se ofrece una audio-guía del monumento. La Empresa Malagueña de Transportes (EMT) instaló etiquetas NFC en las paradas de autobús para que al acercar un móvil, que contara con la incipiente tecnología, se conocieran los tiempos de espera de los autobuses.

En una prueba piloto en Barcelona, una conocida cadena de hamburguesas, ofrecía descuentos que cambiaban en función de la hora del día a todo aquel que acercara su smartphone dotado de NFC al cartel publicitario.

3.15 Gráficos de interés

A modo de resumen, se representará en el siguiente gráfico la popularidad de las distintas aplicaciones de la tecnología RFID:

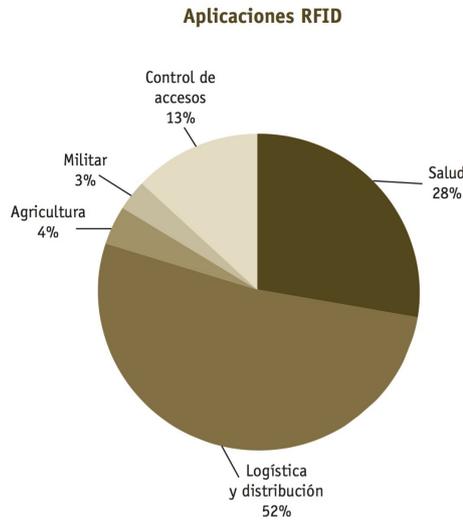


Figura 3-6. Principales aplicaciones de la tecnología RFID (Fuente: Portillo García *et al.*, 2008)

Si bien es evidente que la cadena de suministro representa el mayor exponente para la implantación RFID, concretamente en la logística y distribución, también se puede comprobar que la salud adquiere un peso muy importante, seguido del control de accesos, el cual se podrá enmarcar en cualquier sector de actividad.

Al margen de todas las aplicaciones expuestas y para cerrar el capítulo conforme al inicio del mismo, se adjunta un gráfico donde figuran las principales funcionalidades de la tecnología RFID y sus valores porcentuales y con el que se dará cuenta, tal y como se comentó al principio, que son la identificación, la localización y el seguimiento los principales usos de esta tecnología.

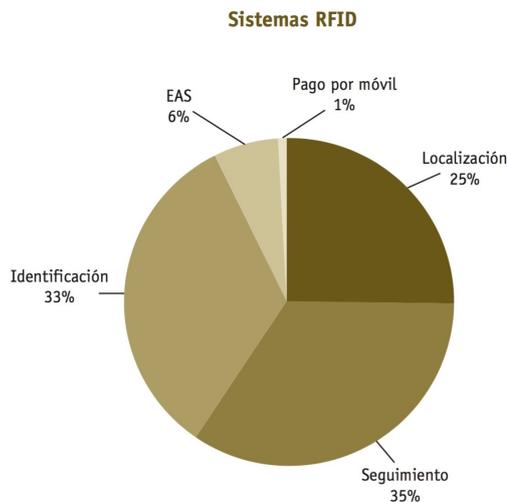


Figura 3-7. Principales usos de la tecnología RFID (Fuente: Portillo García *et al.*, 2008)

Con el fin de que queden claras las diferencias entre cada una de las utilidades, todas ellas aplicables a los distintos sectores o aplicaciones comentadas anteriormente, se detallará su definición.

Identificar: reconocer si una persona o cosa es la misma que se supone o se busca.

Localizar: averiguar el lugar en que se halla alguien o algo.

Seguir: observar atentamente el curso o los movimientos de alguien o algo.

EAS: sistema de alerta de emergencias.

Además de estos cuatro usos, con un valor del 1%, se ve representado un uso exclusivo de la tecnología NFC que es el pago por móvil explicado anteriormente.

4 IMPLANTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA RFID EN ESPAÑA Y ANDALUCÍA

La innovación es lo que distingue a un líder de los demás.

- Steve Jobs -

Habiendo enumerado algunos casos importantes de aplicaciones para la identificación por radiofrecuencia dentro de las propias fronteras de nuestro país, se procede a aportar datos más detallados y estadísticas del grado de implantación de esta incipiente tecnología en España. De esta manera y comparando los resultados con los de otros países, se persigue obtener una idea lo más clara posible de lo que representa la tecnología RFID en nuestro país.

A su vez, se analizará el grado de implantación también en Andalucía, mostrando una comparativa con el resto de comunidades autónomas.

4.1 Grado de implantación en España

4.1.1 Nivel global

Considerando a la innovación, cada vez más, como un motor de crecimiento económico y social; la Universidad Cornell, el INSEAD (The Business School for the World) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), elaboran conjuntamente cada año el Índice Mundial de Innovación. Mediante este estudio se evalúa la situación de 130 economías gracias a docenas de parámetros y se ofrece, entre otros, un ranking. En la décima edición, el Índice Mundial de Innovación 2017 sitúa a España en el puesto 28 de los 127 países evaluados.

Además de otras conclusiones, con respecto a Europa se puede comprobar que 15 de entre las economías que ocupan los primeros 25 puestos son europeas. Europa es particularmente rica en capital humano e investigación, infraestructura y desarrollo empresarial.

En un concepto tan amplio como la innovación (técnica, tecnológica, del diseño, de modelos de negocio,

de los servicios...), España no ocupa un lugar muy destacado en el mundo, ni siquiera dentro de Europa donde ocuparía la décimo octava posición.

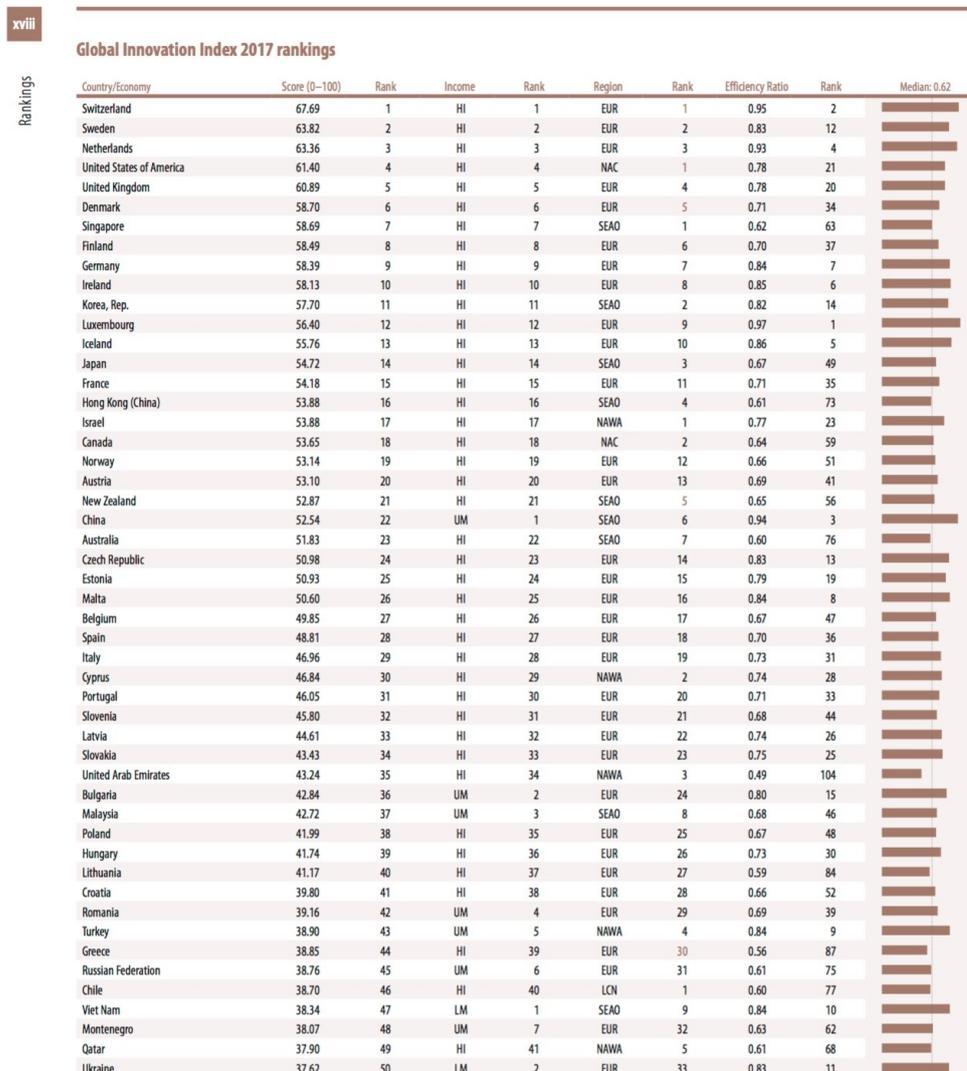


Figura 4-1. Global Innovation Index 2017

4.1.2 Nivel europeo

Buscando un aspecto más concreto que analizar y poniendo el foco de atención en Europa, se procede a analizar el DESI. El Índice de Economía y Sociedad Digital (DESI), llevado a cabo por la Comisión Europea, es un índice que resume los indicadores relevantes sobre el desempeño digital a la vez que analiza la evolución de los países miembros de la UE en competitividad digital. El Índice es compuesto y mide el progreso digital a través de cinco componentes:

1. Conectividad
2. Capital humano
3. Uso de internet
4. Integración de la tecnología digital
5. Servicios públicos digitales

En el DESI 2017, España ocupa el décimo cuarto lugar de los 28 estados miembros de la UE, perteneciendo así al grupo de países con resultados intermedios junto con Letonia, la República Checa, Eslovenia, Francia, Portugal, Lituania, Malta, Alemania y Austria. Sin embargo, el rendimiento de España en el uso de tecnologías digitales por partes de las empresas y en la prestación de servicios públicos en línea es superior a la media de la UE:

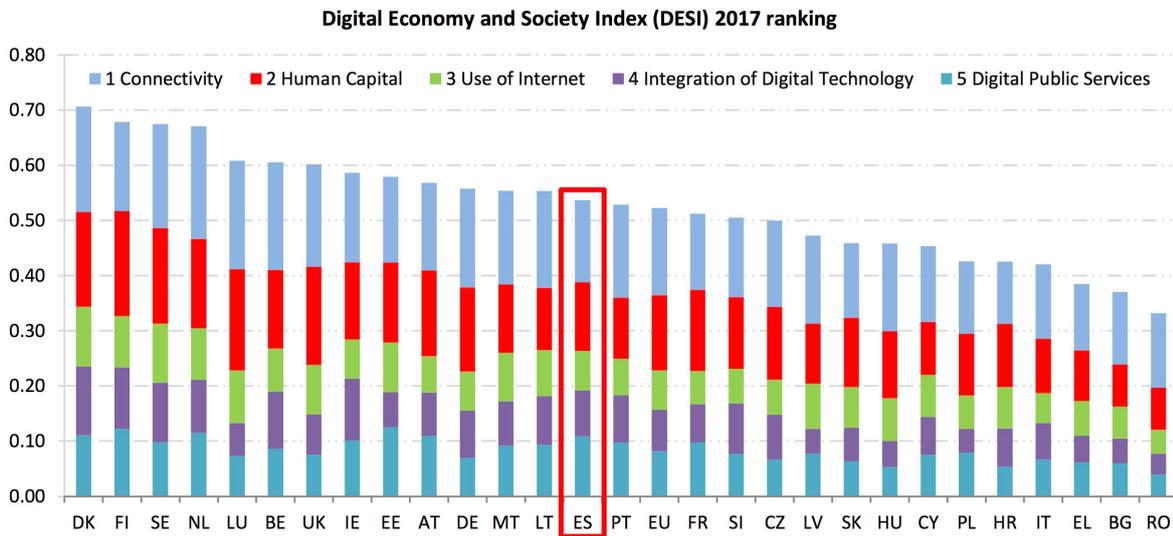


Figura 4-2. DESI 2017 ranking

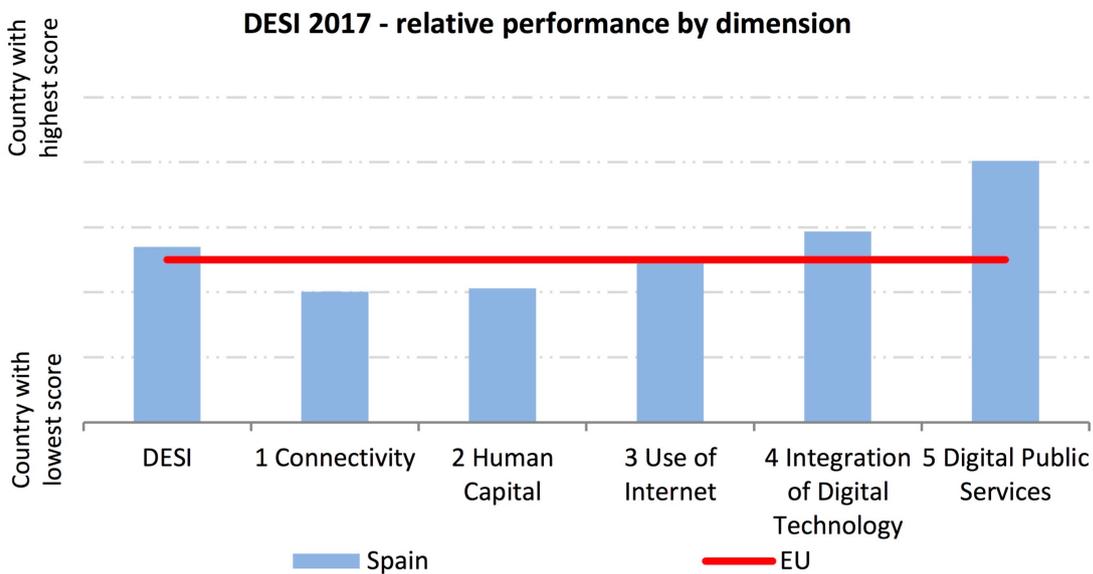


Figura 4-3. DESI 2017 rendimiento relativo de España

El cuarto aspecto, integración de la tecnología digital, es el más interesante desde la perspectiva que aquí se busca, pues hace referencia a la digitalización de las empresas. Con la adopción de tecnología digital las empresas pueden mejorar la eficiencia, reducir costes y mejorar la participación de clientes, colaboradores y socios. Los resultados denotan que las empresas españolas están avanzando en cuanto a la integración de las tecnologías digitales.

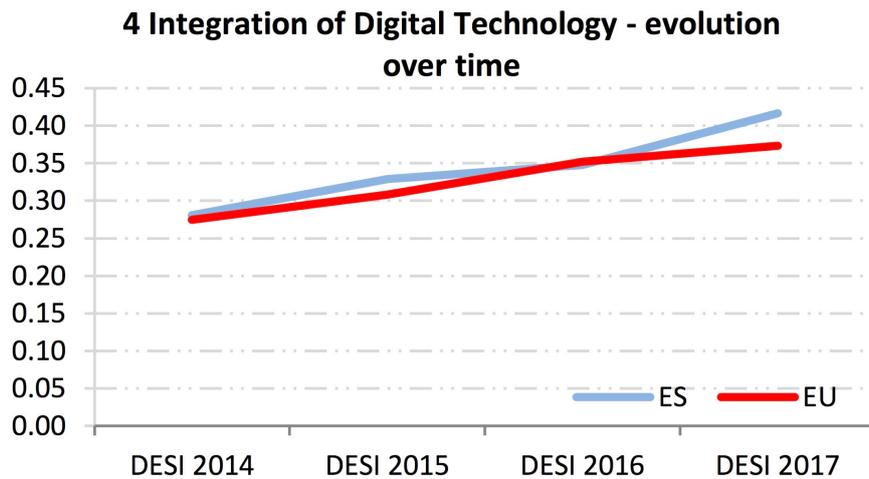


Figura 4-4. DESI integración de la tecnología digital en España

Estos buenos resultados pueden deberse mayoritariamente a que en 2015 se anunció en el contexto nacional la iniciativa Industria Conectada 4.0. Esta idea nació con el objetivo de digitalizar y fomentar la competitividad del sector industrial español. La iniciativa, que disponía de un presupuesto de 97,8 millones de euros para promover la digitalización de las pymes, se centró en ofrecer préstamos para proyectos basados en innovaciones en la organización y los procesos. Industria Conectada 4.0, impulsada por la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa y por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital, supone una herramienta de apoyo a las pymes. En este contexto, debe tenerse en cuenta la elevada concentración de pymes existente en la estructura industrial española, la mayoría de las cuales opera en sectores tradicionales de bajo contenido tecnológico.

Se procede a analizar este componente de manera más detallada:

	Spain				EU
	DESI 2017 value	rank	DESI 2016 value	rank	DESI 2017 value
4a1 Electronic Information Sharing % enterprises	35%	15	35%	15	36%
4a2 RFID % enterprises	6.5%	3	6.5%	3	3.9%
4a3 Social Media % enterprises	24% ↑	8	21%	7	20%
4a4 eInvoices % enterprises	25% ↑	6	10%	19	18%
4a5 Cloud % enterprises	13% ↑	12	10%	15	13%
4b1 SMEs Selling Online % SMEs	19% ↑	9	16%	12	17%
4b2 eCommerce Turnover % SME turnover	9.4% ↑	13	7.3%	20	9.4%
4b3 Selling Online Cross-border % SMEs	5.9%	20	5.9%	20	7.5%

Figura 4-5. DESI integración de la tecnología digital en España detallada

Con respecto al uso de la tecnología RFID en las empresas, a pesar de utilizar datos del año 2014, se puede apreciar que el valor está bastante por encima de la media de la UE, concretamente 2.6 puntos porcentuales, ocupando así la tercera posición en el ranking. De entre todos los aspectos que en la integración de la tecnología digital se evalúan, la implantación de la tecnología RFID en las empresas españolas es el que ofrece un resultado más favorable para el país ya que con él se obtiene un tercer puesto en la comparativa con el resto de países miembros de la UE, lo que supone la mejor clasificación de entre todas para España.

El mapa que a continuación se adjunta, es esclarecedor acerca de la buena posición que España ostenta en cuanto a la existencia de tecnología RFID en sus empresas en el año 2014:

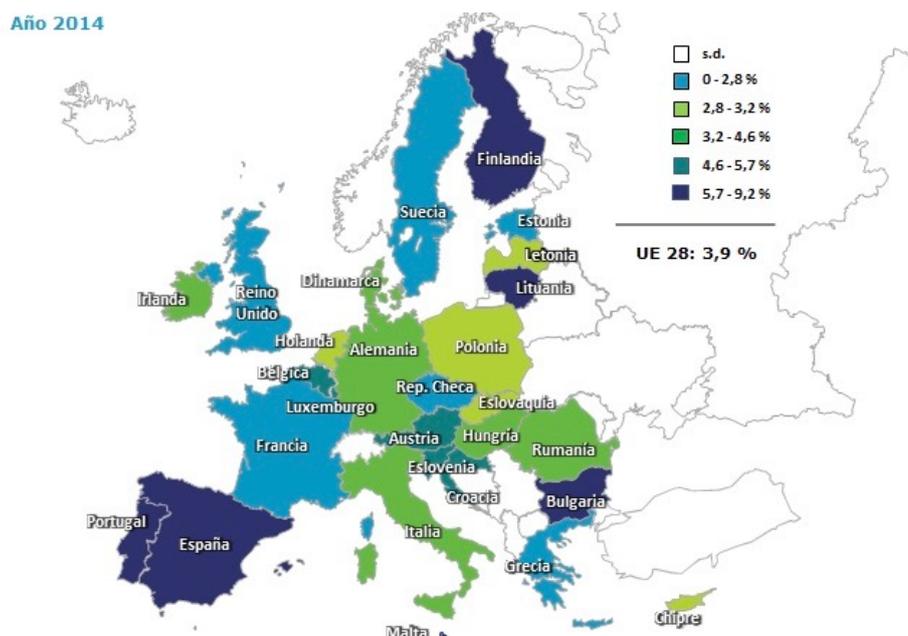


Figura 4-6. Empresas que usan tecnología RFID (Fuente: <http://ec.europa.eu/eurostat>)

Continuando en la línea del estudio de España como parte de la Unión Europea y en busca de datos algo más recientes, la Oficina Europea de Estadística (Eurostat) ofrece algunos datos reveladores, como por ejemplo, el porcentaje de empresas que usan instrumentos de identificación por radio frecuencia pero en este caso en un entorno empresarial concreto. Se evalúa el porcentaje de empresas españolas que usan esta tecnología pero entre las que tengan como mínimo diez empleados. En este caso, el valor aumenta con respecto al porcentaje aportado anteriormente ya que el estudio se restringe a empresas más grandes. Además, se podrá comprobar el crecimiento progresivo en los últimos años y el valor siempre ligeramente superior con respecto a la media de la UE que considera los 28 países miembros. Se puede apreciar también, con la inclusión del año 2017, que el crecimiento ha sido hasta la actualidad imparable.

Tabla 4-1. Empresas using RFID instrument (Fuente: <http://ec.europa.eu/eurostat>)

	2009	2011	2014	2017
EU	3%	4%	10%	12%
SPAIN	4%	6%	11%	15%

4.1.3 Situación nacional

Una vez enmarcada España tanto en el contexto mundial como europeo, se estudian datos más detallados del país en cuanto a implantación de tecnología RFID en sus empresas. Siguiendo en la línea de empresas con más de 10 empleados, el INE (Instituto Nacional de Estadística) ofrece valores porcentuales distinguiendo tres sectores de actividad: Industria, Construcción y Servicios. Además, en los datos aportados, se puede apreciar una distinción en cuanto al uso concreto que se le da a la tecnología en cada una de las empresas. El porcentaje que se indica en cada uso, habrá sido calculado con respecto al total de empresas que usan la identificación por radio frecuencia.

	Total Empresas	Industria	Construcción	Servicios
Total nacional				
J.1 % de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID	15,15	18,09	10,12	14,94
J.1.A % de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación de personas o control de acceso (1)	72,26	76,75	76,14	69,28
J.1.B % de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID como parte del proceso de producción o del servicio de entrega del producto (1)	45,01	50,90	39,57	42,65
J.1.C % de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación del producto después del proceso de producción (1)	22,58	21,89	23,14	22,86

Figura 4-7. Empresas que usan tecnología RFID en España (Fuente: INE)

Destaca el sector industrial como el más innovador en cuanto al uso de tecnología RFID seguido del sector servicios y por último la construcción. Igualmente, cabe destacar, que en su mayoría, las empresas que implantan esta tecnología, lo hacen desde el punto de vista de la identificación de personas y el control de accesos.

4.2 Grado de implantación en Andalucía

4.2.1 Innovación

Conocidos ya los datos nacionales, se procede ahora a estudiar la implantación de la tecnología RFID en la comunidad autónoma de Andalucía.

Para ello, en primer lugar, se recurrirá a datos recogidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE). El organismo encargado de la coordinación de los servicios estadísticos en España, publicó en 2017 la Encuesta sobre Innovación en las Empresas. El principal resultado de esta fue que en el periodo 2014-2016 el 28,9% de las empresas españolas con 10 o más trabajadores fueron innovadoras. Los resultados, que excluyen a empresas micro (hasta 10 trabajadores) e incluyen pequeñas (menos de 50 trabajadores); medianas (menos de 250 trabajadores) y grandes empresas, abarcan sectores distintos desde el industrial, construcción y servicios hasta agricultura, ganadería, pesca, caza y silvicultura. La encuesta considera una actividad innovadora como

cualquiera científica, tecnológica, de organización, financiera y comercial que conduce real o potencialmente a la puesta en marcha de innovaciones. A raíz de esta definición, distingue entre innovaciones tecnológicas (tanto de bienes o servicios como de procesos) y no tecnológicas. Entre las actividades que se incluyen en el primer grupo se encuentra, además de la I+D (interna y externa); adquisición de conocimientos; formación o diseño y preparativos, la adquisición de maquinaria, equipos, hardware o software avanzados destinados a la producción de productos o procesos nuevos o mejorados de manera significativa. En este último aspecto es donde se puede incluir la tecnología RFID, haciendo de las innovaciones tecnológicas las que captan nuestro interés. El INE ofrece datos de innovación de empresas españolas por comunidades autónomas, dando cuenta de la posición que ocupa Andalucía en una comparativa con el resto de comunidades.

Empresas innovadoras en el periodo 2014-2016 por comunidades y ciudades autónomas

	Empresas innovadoras		Empresas con innovaciones tecnológicas (*)		Empresas con innovaciones no tecnológicas (**)	
	Total	%	Total	%	Total	%
TOTAL	41.830	28,9	18.475	12,8	35.450	24,5
Andalucía	5.488	25,1	1.969	9,0	4.811	22,0
Aragón	1.273	30,1	649	15,4	1.058	25,0
Asturias, Principado de	606	24,5	318	12,9	458	18,6
Baleares, Illes	878	22,5	237	6,1	781	20,0
Canarias	1.533	25,5	584	9,7	1.346	22,4
Cantabria	322	20,9	156	10,1	257	16,7
Castilla y León	1.516	25,5	586	9,9	1.322	22,2
Castilla-La Mancha	1.148	23,7	550	11,4	915	18,9
Cataluña	9.282	32,9	4.024	14,3	7.933	28,1
Comunitat Valenciana	4.792	32,3	2.127	14,3	4.138	27,9
Extremadura	559	23,4	272	11,4	482	20,2
Galicia	2.053	27,5	912	12,2	1.723	23,1
Madrid, Comunidad de	7.607	31,1	3.405	13,9	6.546	26,7
Murcia, Región de	1.284	27,4	551	11,8	1.072	22,9
Navarra, Comunidad Foral de	660	27,8	386	16,3	500	21,1
País Vasco	2.426	29,7	1.515	18,5	1.798	22,0
Rioja, La	347	30,7	212	18,8	255	22,6
Ceuta	27	19,9	5	3,8	27	19,9
Melilla	29	21,8	18	13,5	25	18,5

Nota: Porcentajes calculados sobre la población de empresas de 10 o más asalariados de cada comunidad o ciudad autónoma.

(*) Empresas que han introducido innovaciones de producto y/o de proceso.

(**) Empresas que han introducido innovaciones organizativas y/o de comercialización.

Figura 4-8. Empresas innovadoras por Comunidades Autónomas (Fuente: INE)

Se puede comprobar que Andalucía se sitúa en tercera posición en cuanto al número total de empresas innovadoras, encabezando la lista Cataluña y la Comunidad de Madrid. Teniendo en cuenta que Andalucía es la segunda comunidad autónoma más grande en extensión y teniendo en cuenta el gran número de empresas que en esta se ubican, la situación cambia al hablar de porcentaje. El 25,1% es el valor que representa a las empresas innovadoras de Andalucía, y lo que es de mayor interés: solo un 9% representa a empresas con innovaciones tecnológicas. Estos resultados, esclarecedores en el siguiente gráfico, sitúan a Andalucía en una posición desfavorable con respecto al resto de comunidades.

Porcentaje de empresas con innovaciones tecnológicas por comunidades y ciudades autónomas. Periodo 2014-2016

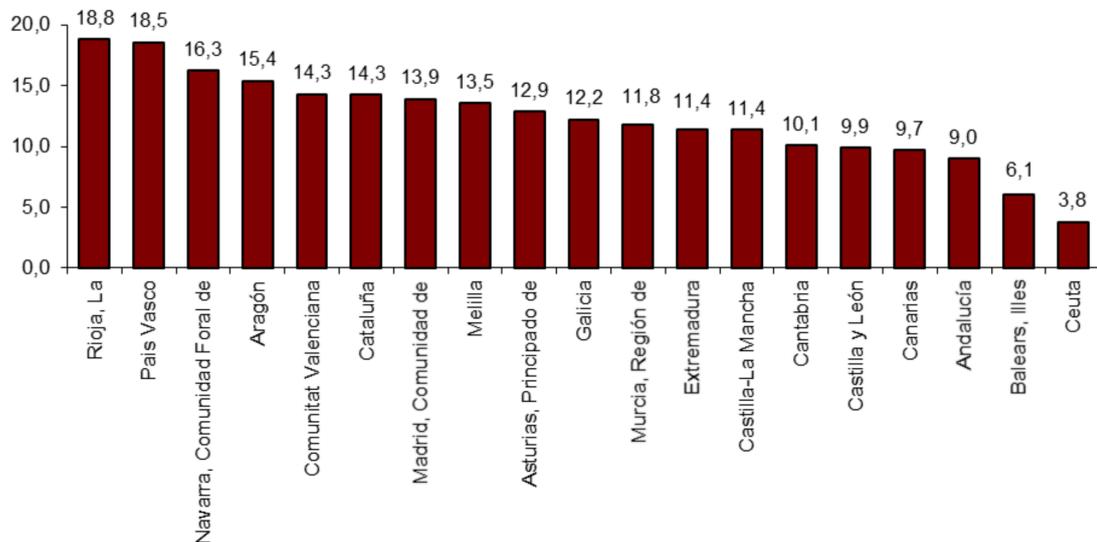


Figura 4-9. Empresas con innovaciones tecnológicas por Comunidades Autónomas

4.2.2 TIC

Una vez habiendo definido la situación de España en el mapa nacional, se procede a analizar datos más detallados de la propia comunidad autónoma. Para ello, se hará uso de la información recopilada por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía gracias a la Encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico en las empresas andaluzas en el año 2016.

Bajo el nombre de TIC se conocen a las tecnologías de la información y la comunicación que han revolucionado los procedimientos de transmisión de la información consiguiendo que la distancia no sea una barrera. Los ejemplos más comunes de TIC son la televisión, la radio, el teléfono, los GPS (sistemas de posicionamiento global)... Las características más resañables de las TICs son, además de la inmaterialidad; interactividad y instantaneidad, la digitalización y su necesidad de innovación. Por todas estas razones, el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, para realizar la encuesta mencionada anteriormente, además de estudiar el uso de ordenadores; la conexión a internet; los medios sociales o el gasto y la seguridad en TIC entre otras, incluye en una de sus variables las tecnologías de identificación por radio frecuencia.

A continuación se analizan los resultados obtenidos:

Medida	TOTAL	De 10 a 49 asalariados	De 50 a 249 asalariados	De 250 y más
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID	34,2	30,4	77,2	47,2
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación de personas o control de acceso (o)	82,4	78,0	100,0	100,0
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID como parte del proceso de producción o del servicio de entrega del producto (o)	44,7	51,9	8,6	41,1
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación del producto después del proceso de producción (o)	32,8	38,4	8,6	15,8

Figura 4-10. Uso tecnología RFID según tamaño de la empresa (Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía)

En este primer resultado, se analizan por separado los datos de pequeñas, medianas o grandes empresas, siendo las medianas las que representan un valor porcentual más alto en cuanto a implantación de la tecnología RFID.

A su vez, de entre las empresas que incluyen la tecnología RFID en cada uno de los tamaños, se hará una

clasificación en función del uso concreto que hagan de esta. Los porcentajes representados están en función del total de empresas que usan la tecnología RFID, bien en cada uno de los tamaños o bien en general en todos ellos. Las posibles utilidades que en la encuesta se han tenido en cuenta han sido la identificación de personas o control de accesos y la tecnología RFID como ventaja competitiva en la cadena de suministro, tanto en el proceso productivo y durante la entrega del producto como en la identificación del producto después del proceso de producción.

Es remarcable el hecho de que sea en la identificación de personas y control de accesos donde se encuentra el mayor porcentaje, es decir, más del 80% de las empresas que usan la tecnología RFID, lo hacen en esta aplicación, alcanzando en concreto en la mediana y gran empresa un valor del 100%.

Igualmente llamativo, puede verse que a pesar de ser en la mediana empresa donde parece que la tecnología RFID está más implantada, en el desglose se puede comprobar que de entre esas empresas, las que implementan la tecnología RFID como instrumento en la cadena de suministro son muy pocas. Así, se podría concluir que en la mediana empresa el porcentaje de utilidad de la tecnología RFID es mayor que en la pequeña y gran empresa pero con una intensidad probablemente bastante menor.

De la misma manera se puede estudiar el uso de la identificación por radio frecuencia distinguiendo entre algunos sectores:

Actividad	Medida	TOTAL	De 10 a 49 asalariados	De 50 a 249 asalariados	De 250 y más
Industria (CNAE 10-39)	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID	17,4	15,0	29,2	52,1
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación de personas o control de acceso (o)	71,9	69,3	76,6	90,1
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID como parte del proceso de producción o del servicio de entrega del producto (o)	72,7	80,4	51,5	50,7
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación del producto después del proceso de producción (o)	34,0	40,6	15,7	16,7
Construcción (CNAE 41-43)	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID	11,4	11,3	13,2	10,5
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación de personas o control de acceso (o)	95,1	97,6	42,3	100,0
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID como parte del proceso de producción o del servicio de entrega del producto (o)	48,7	51,2	-	-
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación del producto después del proceso de producción (o)	49,0	48,8	57,7	-
Servicios (CNAE 45-82, excluidas CNAE 56, CNAE 75 y financieras)	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID	14,3	12,2	26,5	37,8
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación de personas o control de acceso (o)	58,5	55,5	64,4	78,6
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID como parte del proceso de producción o del servicio de entrega del producto (o)	42,9	40,9	50,1	41,1
	% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación del producto después del proceso de producción (o)	33,0	32,1	38,4	22,2

Figura 4-11. Uso tecnología RFID según tamaño de la empresa y el sector (Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía)

En este caso, siguiendo el mismo procedimiento que en los resultados anteriores, se añade además la posibilidad de estudiar la implantación de la tecnología RFID en los distintos sectores como son la industria, la construcción y los servicios. La clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) permite la agrupación de unidades productoras según la actividad, y aunque en esta encuesta no se realizará un estudio al completo, sino de algunos CNAE concretos, será representativo como para poder establecer una comparativa entre los tres sectores. Tal y como podía preverse es el sector industrial el que presenta un mayor valor porcentual del uso de la tecnología RFID, igual que sucedía en la situación nacional. Y de la misma manera que ocurría en los resultados anteriores, la utilidad de la tecnología como identificación de personas y control de accesos es la que se utiliza en la mayoría de empresas que lo incluyen, sin embargo, en el sector industrial se puede comprobar que es ligeramente superado este uso por la tecnología RFID como parte del proceso productivo y entrega del producto. De la misma manera se destaca que es nuevamente en la mediana empresa donde la tecnología RFID está más establecida, excepto cuando nos referimos al sector servicios, que invierte esta situación una mayor implementación en empresas grandes.

Hasta ahora, el estudio ha estado centrado en empresas de Andalucía pequeñas, medianas y grandes, siempre considerando por tanto más de 10 trabajadores. Es de elevado interés conocer, según ha revelado el Instituto de Estudios Económicos (IEE), que en la actualidad el 94,8% de las empresas españolas son micropymes, es decir, empresas con hasta 10 empleados. Por tanto, será determinante el estudio de este tipo de empresas.

Medida	TOTAL
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID	2,1
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación de personas o control de acceso (o)	66,2
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID como parte del proceso de producción o del servicio de entrega del producto (o)	46,2
% de empresas que hacen uso de tecnologías de RFID para la identificación del producto después del proceso de producción (o)	12,6

Figura 4-12. Uso tecnología RFID en microempresas (Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía)

En este último resultado, el valor porcentual es muy bajo, lo que da cuenta de la poca innovación y digitalización que desarrollan la mayoría de microempresas andaluzas, algo previsible que probablemente ocurrirá de la misma manera en el resto del mundo.

Tras conocer los datos concretos de nuestra comunidad y con el fin de obtener una idea de lo que Andalucía representa en cuanto a tecnología RFID en un contexto nacional, es decir, dentro de España, adjuntaremos un gráfico ofrecido por el INE (Instituto Nacional de Estadística). En él, se obtienen los datos de cada una de las comunidades autónomas en cuanto a implantación RFID en sus empresas en el año 2016, el mismo que venimos estudiando para las empresas andaluzas.

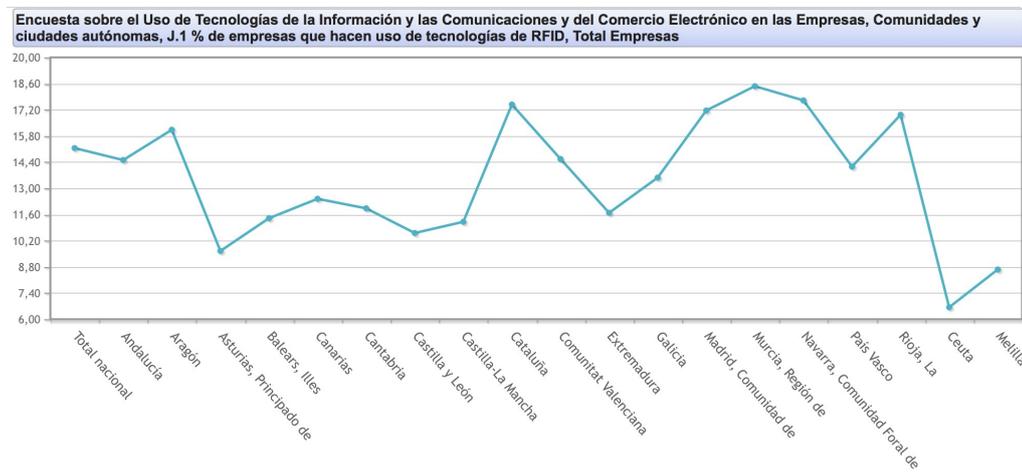


Figura 4-13. Uso tecnología RFID en empresas por Comunidades Autónomas (Fuente: INE)

Se puede comprobar que Andalucía, con un porcentaje muy similar al nacional, se sitúa un poco por encima de la media en España.

4.2.3 Sector TIC

Simplemente invirtiendo el punto vista con respecto al estudiado, se pueden obtener resultados muy distintos. En esta ocasión, definiremos lo que se conoce como el sector TIC, que engloba a los sectores manufactureros y de servicios cuya actividad principal está ligada al desarrollo, producción, comercialización y uso intensivo de las tecnologías de la información y la comunicación. Este aspecto es el que estudia el Observatorio Nacional de las Telecomunicaciones y de la SI (ONTSI) en el Informe Anual del Sector TIC y de los contenidos en España. Se recurre a los datos del informe del año 2017, concretamente a lo que respecta al sector TIC por Comunidades Autónomas. Se puede comprobar que aunque el sector TIC en España se caracteriza por concentrar sus principales indicadores en Madrid y Cataluña (juntas suman un valor superior al 50%), estas dos comunidades van seguidas de Andalucía. Nuestra comunidad representó porcentualmente el 9,9% de las empresas de este sector en España.

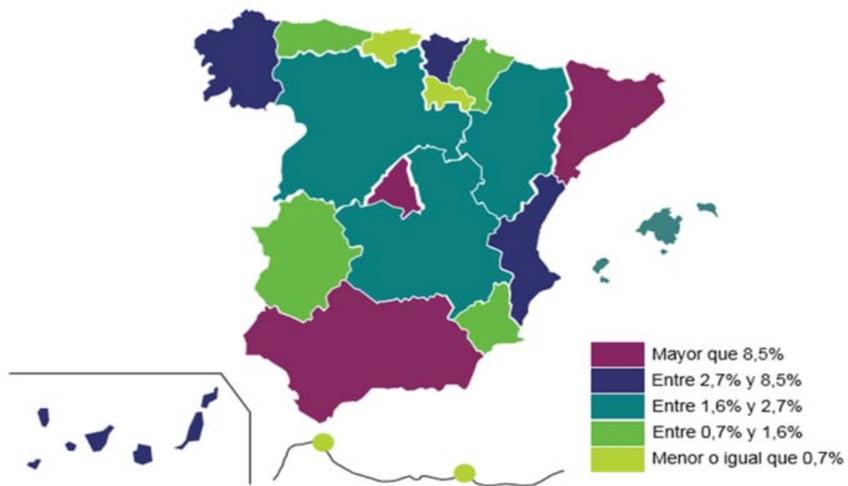


Figura 4-14. Sector TIC por Comunidades Autónomas (Fuente: ONTSI)

5 SEGURIDAD Y PRIVACIDAD DE LA TECNOLOGÍA RFID

Por eso me encanta la tecnología: si la usas bien puede darte poder y privacidad.

- Cory Doctorow -

A pesar de la gran cantidad de beneficios que implica la implantación de la tecnología RFID y aún siendo una tecnología en claro auge y con grandes expectativas de crecimiento futuro, existen algunos obstáculos a los que se enfrenta los cuales ya fueron expuestos. Posiblemente sea la preocupación por la seguridad, privacidad y protección de datos de los ciudadanos el más importante de ellos.

En este sentido, los ataques de seguridad se pueden dividir en dos categorías según (Khattab *et al.*, 2017): violaciones de privacidad y violaciones de seguridad. Las primeras de ellas ocurren cuando el atacante intenta obtener información de los objetos de manera fraudulenta escuchando a escondidas las comunicaciones entre el objeto y lector. En el segundo caso, el atacante falsifica una etiqueta o lector para establecer comunicaciones indeseables que le permitan acceder a lugares o servicios no autorizados.

5.1 Ataques de seguridad

Para analizar los riesgos de seguridad existentes, no de manera exhaustiva pues la complejidad de los ataques aumentará de forma proporcional a la popularidad de la tecnología RFID, clasificaremos las amenazas según su objetivo de acuerdo con (Khattab *et al.*, 2017): en físicas, de canal o del sistema.

5.1.1 Amenazas físicas

Las amenazas físicas son aquellas que utilizan medios físicos para atacar al sistema RFID, concretamente a las etiquetas: desactivándolas, modificando su contenido o imitándolas.

- Deshabilitar etiquetas temporal o permanentemente. El atacante, para inhabilitar permanentemente

una etiqueta, puede por ejemplo aportar una onda de alta energía que la haga inutilizable para siempre. Para desactivar la etiqueta temporalmente, se puede por ejemplo generar una señal en el mismo rango que el lector para evitar que las etiquetas se comuniquen, lo que se conoce como bloqueo activo.

- Modificar etiquetas que usan memoria grabable. El adversario, puede modificar o eliminar datos valiosos de la memoria de la etiqueta lo cual puede ocasionar problemas graves por ejemplo, cuando se trata de información de un paciente.
- Clonar etiquetas copiando su número de identificación único para que la tarjeta falsificada actúe como la ordinaria en el sistema.
-

5.1.2 Amenazas de canal

Las amenazas de canal se refieren a los ataques dirigidos al canal inseguro entre un lector y una etiqueta debido a los medios de comunicación inalámbricos. Estos problemas de seguridad de comunicación suelen conducir a filtraciones de privacidad

- Espionaje: ocurre cuando el canal es escuchado en secreto por un atacante que busca obtener información. Esta amenaza es más probable que sucedan en los sistemas que trabajan con UHF (Ultra High Frequency) pues cubren más distancia de lectura.
- Snooping: es similar al espionaje pero ocurre cuando se leen datos almacenados en una etiqueta con un lector no autorizado.
- Skimming: mediante el cual el adversario observa la información intercambiada entre una etiqueta legítima y un lector legítimo e intenta crear una tarjeta clonada que imite a la original sin haber tenido acceso físico a la misma.
- Ataque de repetición: cuando un dispositivo malicioso reproduce la información clave que se escucha a escondidas en la comunicación entre lector y etiqueta. La aplicación más útil ocurre cuando el dispositivo ilegal reproduce la autenticación entre lector y etiqueta para pasar la verificación.
- Ataque de retransmisión: tiene lugar cuando el atacante utiliza un dispositivo ilegal entre lector y etiqueta de manera que intercepta la información para modificarla o reenviarla directamente.
- Interferencia electromagnética: con el objetivo de sabotear el canal de comunicación para evitar simplemente que las etiquetas se comuniquen con el lector.

5.1.3 Amenazas del sistema

Las amenazas del sistema se convierten en los principales ataques de la tecnología RFID y se refieren a los ataques a los defectos existentes en el protocolo de autenticación y encriptación del sistema.

- Ataque de falsificación o suplantación que tiene lugar cuando el atacante obtiene información (detectando la comunicación o explorando físicamente) y la utiliza para suplantar etiquetas o lectores legítimos.
- Rastreo y seguimiento ilegal violando el concepto de privacidad de ubicación cuando el atacante envía consultas y recibe respuesta de una etiqueta en varias ubicaciones.
- Descodificación del algoritmo de encriptación que utilizan actualmente la mayoría de sistemas RFID para garantizar la confidencialidad.
- Ataque de denegación de servicio (DOS) mediante el cual el atacante bloquea el lector para que no lea las etiquetas y el sistema no funcione.

5.2 Medidas de seguridad

Considerando la seguridad un aspecto de especial importancia, y a pesar de ser la identificación por radio frecuencia una tecnología joven, prácticamente desde sus inicios viene ligada a medidas de seguridad diseñadas para contrarrestar las amenazas. Exploraremos diversas técnicas apuntadas por (Khattab *et al.*, 2017) que usan los sistemas RFID. Nos referimos a técnicas simples en su mayoría pues son las más comunes cuando se persigue un bajo coste.

5.2.1 Soluciones físicas

- “Matar” etiquetas: mediante el comando especial “kill”, que incluye una contraseña corta, las etiquetas se vuelven inutilizables para siempre sin poder volver a activarlas. Se utiliza al comprar productos etiquetados y justo en el momento del pago para proteger la privacidad de los consumidores. No puede utilizarse para etiquetas con fines postventa en aplicaciones como las neveras inteligentes o artículos con protección antirrobo.
- “Dormir” etiquetas: el lector envía un comando de suspensión que incluye una contraseña para que esté temporalmente inactiva, a diferencia del comando “kill” puede activarse de nuevo tan pronto como reciba un comando del lector. El problema de este método es la posibilidad de que la contraseña utilizada sea escuchada en un ataque.
- Jaula de Faraday: es un recinto diseñado con materiales que excluyan campos electromagnéticos (suele ser un metal impenetrable para las ondas de radio). Ningún lector puede penetrar para leer la etiqueta si no se encuentra dentro de la jaula. Esta solución es adecuada solo para unas aplicaciones particulares debido a que se usaría una jaula por cada tarjeta, lo que supone un coste adicional considerable. Además, la tarjeta está protegida de ser leída por un lector no autorizado solo cuando está dentro de la jaula.
- Etiquetas de bloqueo: pueden impedir que los lectores lean la información de las etiquetas que existen en el rango de la etiqueta de bloqueo. Se trata fundamentalmente de crear una colisión para el lector cuando intenta identificar etiquetas en el campo de la etiqueta de bloqueo. La principal ventaja es que mantiene el funcionamiento de las etiquetas, sin embargo, la seguridad esta limitada solo a un rango concreto. No puede utilizarse en algunas aplicaciones como por ejemplo las cadenas de suministro ya que en este caso las etiquetas deben estar disponibles todo el tiempo.

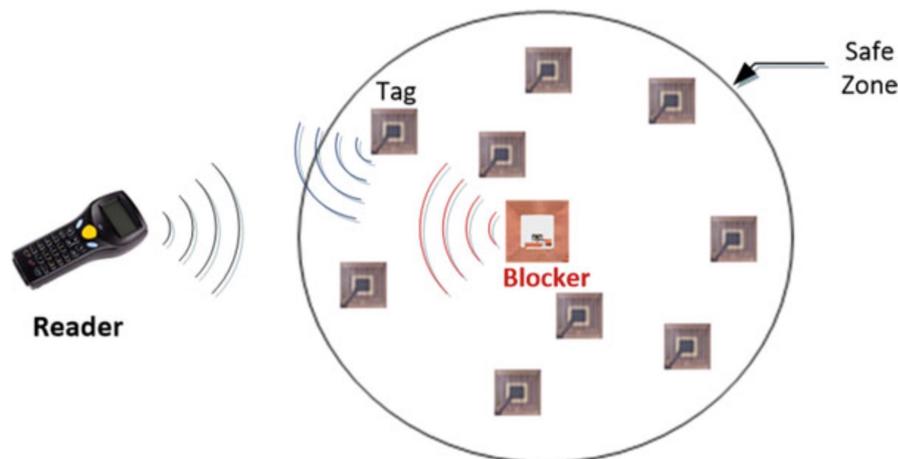


Figura 5-1. Etiqueta de bloqueo (Fuente: Khattab *et al.*, 2017)

- Etiquetado de etiquetas: en este caso el identificador único de la etiqueta se vuelve a etiquetar con un nuevo identificador único. En este enfoque los usuarios tienen el control de la identificación

de la etiqueta local o globalmente y por tanto podrán habilitarla privada o públicamente en las diferentes etapas del ciclo de vida del objeto.

- Dispositivos de privacidad proxy: en general los lectores y etiquetas no pueden tener capacidad de brindar protección a la privacidad del consumidor, por tanto existen plataformas que ofrecen seguridad centralizada de RFID y gestión de privacidad mediante auditorías, administración eficiente de claves, controles de acceso y mediador como firewall RFID entre lectores y etiquetas.

5.2.2 Autenticación

La autenticación es el proceso mediante el cual un objeto prueba su identidad a otra parte de la comunicación y proporciona alguna evidencia como lo que sabe, lo que tiene, o lo que es. Este proceso solo se aplica a través de soluciones de software y no físicas. La autenticación en los sistemas RFID es necesaria en dos fases: antes de comenzar cualquier comunicación tanto etiqueta como lector deben verificar que están contactando con el socio deseado y en segundo lugar, cuando los datos se intercambian para garantizar que estén intactos. Además la autenticación debe ser mutua, es decir, la etiqueta necesita saber si el lector es legítimo y se requiere que el lector averigüe si la etiqueta es confiable. De esta forma, la mayoría de los ataques expuestos anteriormente podrían ser resueltos

5.2.3 Criptografía

Esta solución brinda beneficios que no son posibles con las soluciones físicas, las cuales son adecuadas para aplicaciones muy concretas. Sin embargo, la criptografía no es compatible con las etiquetas que están muy limitadas de recursos. En definitiva, los sistemas RFID que disponen de más recursos, podrán emplear la criptografía para aumentar más la seguridad.

La palabra "criptografía" se deriva de las raíces griegas, "kryptos" y "graphein", que significa escritura secreta. La criptografía estudia diferentes técnicas relacionadas con la privacidad de la comunicación entre dos partes en presencia de terceros. Un esquema de cifrado se compone de cinco componentes: un texto plano, un algoritmo de cifrado, una clave secreta, un texto cifrado y un algoritmo de descifrado. En estas técnicas, un mensaje, llamado texto plano, se convertirá en el envío utilizando una clave secreta y un algoritmo o un procedimiento matemático tal que el resultado, llamado texto cifrado, no tenga sentido. El algoritmo utilizado para cifrado y descifrado está disponible para todas las partes, mientras que la clave secreta se comparte solo entre el remitente y el receptor. La acción de recuperar el texto plano mediante el texto cifrado, llamada descifrado, es posible para las partes que tienen acceso a la clave correcta.

Los algoritmos de criptografía se pueden clasificar:

- a) Algoritmos de clave privada, también conocidos como criptografía simétrica. Se hace uso de la misma clave para cifrar y descifrar el mensaje.
- b) Algoritmos de clave pública, también conocidos como criptografía asimétrica. Existe una clave privada utilizada en el descifrado y una clave pública para el cifrado. A pesar de ser más lentos, suelen ser más seguros.

El funcionamiento de ambas categorías se entenderá mejor en los esquemas que a continuación se adjuntan:

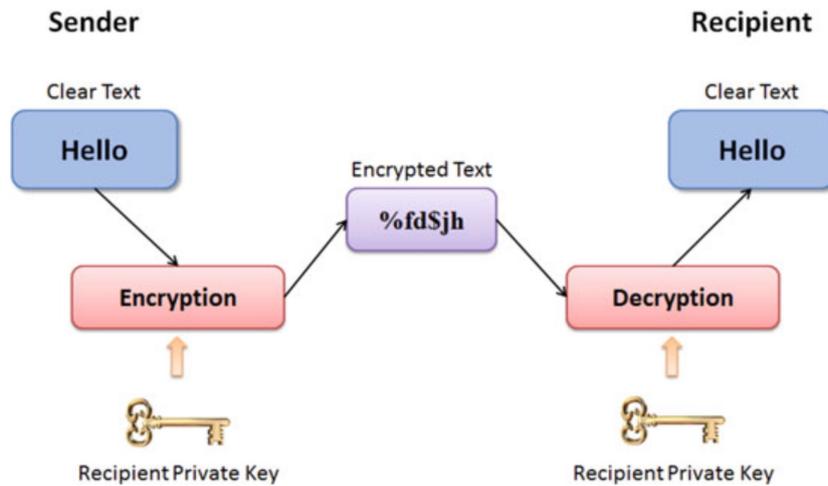


Figura 5-2. Criptografía simétrica (Fuente: Khattab *et al.*, 2017)

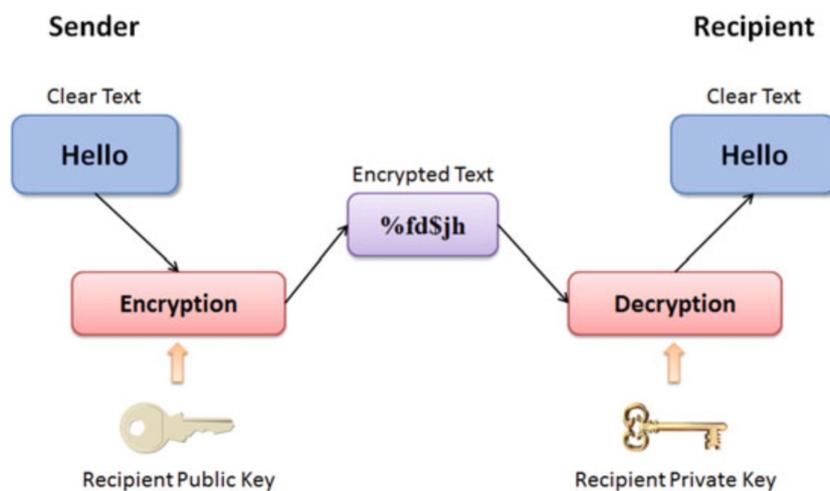


Figura 5-3. Criptografía asimétrica (Fuente: Khattab *et al.*, 2017)

5.3 Aspectos de privacidad y protección de datos

Como explicamos anteriormente, los ataques a la tecnología RFID suponen riesgos potenciales contra la privacidad y confidencialidad de las personas. A pesar de que existen soluciones técnicas, ya mencionadas, como la autenticación o el cifrado que controlan las utilizaciones indeseadas, los aspectos de privacidad siguen generando un gran debate. El motivo principal es la preocupación ciudadana ante posibles intromisiones en su intimidad, prueba de ello son diferentes estudios que se han llevado a cabo mediante consulta pública sobre RFID. Por ejemplo, Capgemini en 2005 realizó un estudio de cómo el público percibe la privacidad RFID frente a la privacidad de otras soluciones tecnológicas. Los resultados, expresados en porcentaje, fueron los siguientes:

<i>RFID frente a:</i>	<i>Mayor impacto</i>	<i>Mismo impacto</i>	<i>Menor impacto</i>	<i>No sabe/ no contesta</i>
Teléfonos móviles	36	33	10	21
Tarjetas de débito	36	29	7	26
Tarjetas de crédito	41	31	8	20
Cajeros automáticos	41	32	8	19
Tarjetas de compra	42	33	7	18
Control de equipajes	45	31	6	18
Tarjetas inteligentes	46	28	6	20
Teléfonos con cámara	34	32	10	24

Figura 5-4. Impacto en la privacidad de RFID frente a otras tecnologías (Fuente: Capgemini)

Es interesante notar como RFID se percibe en todos los casos como mayor causante de un impacto en la privacidad. Conclusiones similares se obtuvieron en 2006, cuando la Comisión Europea expuso la opinión de los ciudadanos europeos acerca de la tecnología RFID.

Por este motivo, las organizaciones de defensa del consumidor insisten en que es necesario establecer garantías legislativas para asegurar la privacidad. Los principales argumentos son: la facilidad para ocultar etiquetas o lectores, la posibilidad de lecturas no autorizadas de etiquetas, el posible seguimiento de personas, y por último, el posible uso de los datos para extracción de información personal o incluso otros propósitos.

Como respuesta a este planteamiento, EPCglobal (organización que lidera el desarrollo de estándares de la industria impulsados por las normas del Código Electrónico de Producto) estableció una serie de directrices:

- Información, elección y educación del consumidor: los consumidores deben ser advertidos claramente de la presencia de etiquetas RFID en los productos y podrán por tanto descartarlas. Además los consumidores deben tener la posibilidad de informarse correctamente sobre el uso y las aplicaciones de las etiquetas electrónicas.
- Grabación de usos, retención y seguridad: las empresas deben almacenar registros de uso, mantenimiento y protección de la información obtenida con esta tecnología. Además deben publicar en su sitio web su política al respecto.

5.4 Privacidad y Seguridad de RFID en España

El Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación (INTECO) y la Agencia Española de Protección de Datos, elaboraron en Mayo de 2010 la Guía sobre seguridad y privacidad de la tecnología RFID. Dicha Guía recoge, además de otros puntos, riesgos de la identificación por radio frecuencia tanto para la seguridad como para la privacidad; recomendaciones; buenas prácticas; incluso el correcto cumplimiento normativo.

Considerando los riesgos que se exponen como parte de los ya analizados anteriormente, estudiaremos el resto de aspectos que en la Guía se detallan.

5.4.1 Cumplimiento normativo

La problemática sobre la privacidad de la tecnología RFID despierta gran interés en el seno de la Unión Europea por lo que existen distintos documentos elaborados por las autoridades europeas en relación a este aspecto. De todos ellos deriva una conclusión que es clara, en los casos en los que la etiqueta RFID pudiera contener información personal o relacionarse con ella, serán de aplicación las normas de protección de datos personales. En nuestro país por tanto, la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de Diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD) es aplicable a la tecnología RFID y con ello cada uno de sus principios, derechos y obligaciones.

Productores, desarrolladores y organizaciones que utilicen tecnología RFID que pueda relacionarse con información personal deben tener muy en cuenta lo siguiente:

- Deberá realizarse un juicio previo sobre la necesidad de utilizar la tecnología citada y definir claramente las finalidades y usos de las misma. Además, deberán adoptarse previsiones en relación a la posible cancelación posterior de los datos personales recopilados cuando dejen de resultar necesarios.
- Los afectados deberán ser informados, de manera muy específica, siguiendo las recomendaciones siguientes: la información debe ser clara y accesible, se debe indicar el uso de etiquetas; su localización en el producto; la existencia de lectores; y si los tags serán objeto de monitorización, se debe indicar el modo de desactivar etiquetas o de extraerlas de los objetos, y por último, se debe incluir cada uno de los contenidos que se requieren en el artículo 5.1 LOPD.
- Deberá analizarse previamente los casos en los que podrán utilizarse etiquetas sin consentimiento y en cuales este será necesario. En su caso, el consentimiento deberá ser previo, libre, específico e informado. Se guardará más cuidado en situaciones especialmente sensibles bien por las características concretas de los afectados, por ejemplo menores, o por la naturaleza de los datos, por ejemplo relacionados con la salud.
- Deberá garantizarse la seguridad tanto de los recursos personales, organizativos y técnicos, como del hardware y software vinculados a la tecnología RFID que haga uso de datos personales.

En definitiva, de la normativa se deducen parámetros de diseño y seguridad muy claros que deben estar presentes:

- a) Debe ser desactivada automáticamente toda etiqueta RFID que pase a manos de un usuario final, por tanto no se pueden tomar datos desde ese momento.
- b) Debe informarse al consumidor del momento en el que un ítem incluye tecnología RFID.
- c) Se debe poder mantener informado al usuario de manera automática del estado de activación de la etiqueta (por ejemplo mediante un led).
- d) Se debe permitir la desactivación individual de la etiqueta si el usuario lo requiere.
- e) No se puede incluir información de naturaleza sensible (por ejemplo datos relativos a ideología política, religión o salud) en una etiqueta RFID a menos que se trate de una finalidad lícita que incluya medidas de seguridad.

5.4.2 Recomendaciones

Para estimular una correcta utilización de la cada vez más extendida tecnología RFID en España, la Guía

propone una serie de recomendaciones y las divide según vayan destinadas a usuarios o proveedores.

5.4.2.1 Recomendaciones para usuarios

La primera recomendación a modo de consejo para los consumidores que la Guía lanza es textualmente la siguiente:

“Los usuarios deben conocer la tecnología, interesarse por el uso que se va a hacer de ella, conocer el modo de ejercer sus derechos y trasladar a los responsables del uso de estas tecnologías la necesidad de respetar su derecho fundamental a la protección de datos en los procesos de diseño de nuevos servicios de RFID.”

Además, en la Guía se incluyen distintas medidas, aplicables dependiendo del caso concreto, para evitar el acceso indeseado a la información. Algunas de las prácticas que se proponen son: utilización de etiquetas watchdog que informan de intentos de lectura o escritura, aislamiento mediante fundas que funcionen como jaula de Faraday, uso de dispositivos que creen una zona segura alrededor del usuario como por ejemplo inhibidores de radio frecuencia y por último, la inutilización de las etiquetas cuando hayan cumplido su función bien destruyéndolas físicamente o bien mediante el comando kill.

5.4.2.2 Recomendaciones para proveedores

Las directrices que se proponen a las organizaciones, ya apuntadas por EPCglobal, con el fin de proteger la privacidad de los consumidores son principalmente cuatro: información, elección, educación y registro.

Al margen de las directrices, la Guía resume en tres principios las recomendaciones a las organizaciones que usan tecnología RFID:

1. Valorar el sistema RFID en su conjunto y no centrándose solo en las etiquetas o la tecnología ya que, los problemas de seguridad o privacidad pueden ocasionarse por combinaciones en el sistema o por otros elementos.
2. La privacidad y seguridad deben tenerse muy en cuenta desde el planteamiento inicial del sistema, considerándolas además piezas fundamentales.
3. Es necesario conseguir el máximo compromiso, consentimiento y participación de los usuarios del sistema.

5.4.3 Buenas prácticas

En último lugar y al margen de las recomendaciones, en la Guía se adjunta una lista de buenas prácticas para garantizar la seguridad y privacidad.

En cuanto a aspectos de seguridad, algunas de las soluciones que se exponen para mejorar las características técnicas del sistema ya fueron mencionadas anteriormente (autenticación y cifrado). Se añaden algunas opciones nuevas como el renombrado, mediante el cual se evita la suplantación gracias a que la etiquetas contienen un conjunto de pseudónimos y se emite uno distinto cada vez que dicha etiqueta es interrogada. De esta forma, el lector malicioso debería conocer todos ellos. Se incluyen también buenas prácticas no técnicas como puede ser la reducción de la información contenida en la etiqueta, guardando solo un único código identificador del producto en ella y almacenando el resto de la información asociada en un servidor central. Se recomienda también que todas estas medidas se acompañen de supervisión humana para su correcta vigilancia.

Por otro lado, el listado de buenas prácticas, algunas ya citadas, que según la Guía garantizan la privacidad es el siguiente:

- Notificar siempre el uso de la tecnología RFID.

- Dar a conocer al consumidor cuándo, dónde y por qué se leerá una etiqueta.
- Tener una política de privacidad, pública para los usuarios, relativa a la obtención, uso y eliminación de la información personal asociada a las etiquetas RFID.
- Contar con personal formado en identificación por radio frecuencia que conozca el sistema instalado y sea accesible a los usuarios.
- No almacenar en las etiquetas RFID información personal.
- Retirar, destruir o desactivar las etiquetas una vez que hayan cumplido su misión.
- Ofrecer al consumidor facilidades para la retirada o destrucción de los tags.
- No ceder información a terceras partes.
- Realizar de forma periódica auditorías de seguridad de sistemas RFID.

En definitiva, aunque es cierto que la tecnología RFID puede atentar contra la privacidad, existen multitud de técnicas y directrices para conseguir que, de forma segura, la tecnología RFID siga siendo una gran ventaja competitiva.

6 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN EN TECNOLOGÍA RFID

El riesgo proviene de no saber lo que se está haciendo.

- Warren Buffett -

Habiendo introducido con anterioridad los retos de la tecnología RFID, en este apartado se procede a profundizar sobre su coste. A pesar de haber sido uno de los objetivos más perseguidos por dicha tecnología en los últimos años, su implantación sigue suponiendo una enorme inversión. Lo que se estudiará a continuación es la conveniencia de realizar dicha inversión en función del desembolso de dinero y de los beneficios que se obtendrán en un futuro.

6.1 Datos actuales de beneficio de la tecnología RFID

Son muchos los datos disponibles acerca de las inversiones o incluso referencias numéricas de los beneficios que puede producir la tecnología RFID. Se muestran a continuación algunos de ellos:

6.1.1 Telectrónica

La empresa latinoamericana Telectrónica S.A., líder en tecnología RFID, presume de proveer a clientes con tecnología punta y de haber implantado más de 1000 lectores en Argentina y Latino América durante sus 20 años de experiencia. En su propia página web se pueden encontrar los siguientes datos:

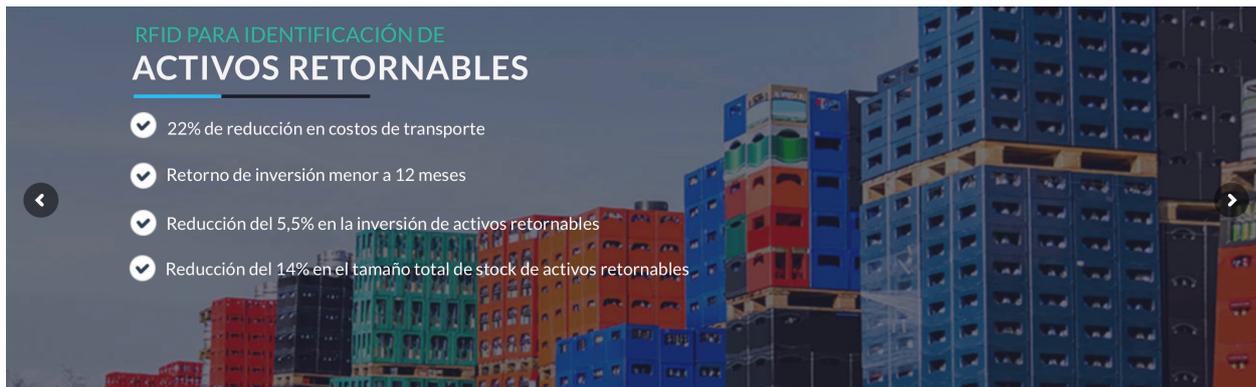


Figura 6-1. Beneficios de RFID para activos retornables (Fuente: www.telectronica.com)

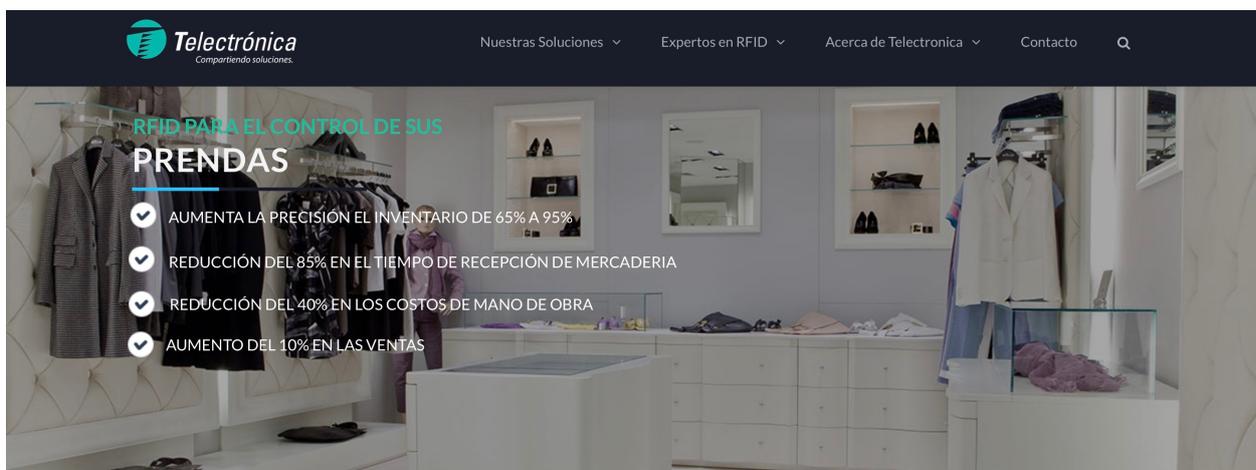


Figura 6-2. Beneficios de RFID para activos retornables (Fuente: www.telectronica.com)

A pesar de los distintos escenarios en los que implementan la tecnología RFID, Telectrónica asegura una serie de beneficios cuantificables que han sido repercutidos en sus clientes. Entre ellos, cabe destacar, un retorno de la inversión sólo de 12 meses cuando de activos retornables se trata. Para el caso en el que se implante la tecnología en el sector textil, se propone también una serie de importantes mejoras, donde el aumento de las ventas en hasta un 10% parece a priori la más reseñable.

6.1.2 Zara

Expuesto anteriormente como uno de los mayores casos de éxito en la implantación de la tecnología RFID en la cadena de suministro, la prensa digital realiza algunas afirmaciones acerca de la marca española como:

“Inditex ha invertido en tecnología más de 1.000 millones de euros en los últimos cuatro años. Como parte de esta inversión, Zara ha desarrollado la tecnología RFID y se ha convertido en el único retailer que ha llevado este soporte a las alarmas.” (Europapress, 2016)

“Además, esta tecnología permite controlar con detalle lo que en distribución se conoce como pérdida desconocida, aquella que no se sabe si procede de hurtos de clientes o empleados, fraude de proveedores o errores internos y que restan anualmente al comercio el equivalente al 0,8 % de sus ventas totales, lo que en el caso de Inditex se traduciría en casi 170 millones de euros.” (El economista, 2016)

“En este sentido, la realización de inventarios es más eficiente y un 80% más rápida.” (Expansion, 2016)

6.1.3 Zebra 2017 Retail Vision Study

El estudio de investigación global de Zebra revela e informa sobre las tendencias tecnológicas que configuran el futuro de la industria minorista. De dicho estudio se pueden extraer los siguientes datos del año 2017:

- Con respecto a las cuentas de inventario, las organizaciones que utilizan sensores RFID en sus productos alcanzan un promedio de 95% de precisión.
- La rotura de stock de producto, que es uno de los mayores problemas de venta al por menor, se reduce en un 60-80% para los minoristas que han adoptado la tecnología RFID.
- Al mismo tiempo, las ventas totales aumentan hasta un 6%.

Todos los datos anteriores nos aportan distintas maneras de cuantificar los beneficios de la tecnología RFID, pero ninguno de ellos va acompañado de un estudio detallado pues parecen genéricos y concluidos por la propia experiencia. Con el objetivo de analizar la viabilidad de la tecnología RFID a lo largo de un documentado proceso, se prosigue en esta línea de investigación.

6.2 Planteamiento del retorno de la inversión en tecnología RFID

El retorno de la inversión, conocido como ROI es un parámetro que permite medir el rendimiento económico de una inversión. El conocido indicador, permite conocer lo eficiente que es el gasto que se ha hecho o, lo que es más importante, el que se planea hacer. La razón financiera, comparará directamente el beneficio en relación con la inversión.

Para la implantación de la tecnología RFID en una empresa resulta difuso calcular el ROI. Es probable que esta sea una causa importante de que algunas empresas (PYMES en su mayoría) no se decidan a acometer la inversión. La dificultad reside en el hecho de tangibilizar los beneficios de la tecnología RFID, además de que existe una amplia gama de sistemas de identificación por radiofrecuencia cada una de los cuales pueden suponer costes y beneficios muy dispares.

Plantaremos a continuación lo que podría ser una línea genérica de actuación para dichas empresas (www.clavei.es).

Para ello, en primer lugar, se expone la que se suele considerar como fórmula genérica para el cálculo del ROI:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

6.2.1 Cuantificar la inversión

El coste inicial de la inversión provendrá principalmente de:

- Adquisición de dispositivos físicos: arcos, lectores, impresoras...
- Reorganización de procesos
- Implantación
- Formación del personal

Denotaremos como costes recurrente aquellos que serán repetitivos cada año, incluyendo en ellos los costes variables. El más importante de ellos será el costo de las etiquetas.

6.2.2 Cuantificar los ingresos

Los principales beneficios cuantificables, dejando de lado la evidente mejora de la calidad de servicio y por tanto el aumento de las ventas por la dificultad de hacerlo cuantitativo, son:

- Niveles de precisión de inventario de incluso el 95% en comparación con un 75% aproximado si no se utiliza tecnología RFID
- Evitar hurtos y pérdidas
- Recuentos 100 veces más rápidos que con dispositivos normales y procesos de picking y preparación de pedidos mucho más rápidos y con menos errores.

Una alternativa para el cálculo del ROI aplicado a la implantación de tecnología RFID, ante la imposibilidad de cuantificar los ingresos como tales, es calcular el ahorro sobre el inventario comparando una situación con y sin tecnología de identificación por radiofrecuencia.

Para cada escenario se calculará lo que llamaremos como coste total de inventario teniendo en cuenta conceptos como el tiempo medio de manipulación de cada ítem, el nº total de ítem o el coste de la hora de operario. Se repercutirán costes de artículos robados o perdidos, costes de la recepción y preparación de pedidos además de los costes de recuentos de inventario para ambas situaciones y se calculará el ahorro que supone para el coste total de inventario disponer de tecnología de identificación por radiofrecuencia.

6.2.3 Cálculo del ROI

Seguidamente se podría plantear una tabla por períodos de manera que se pueda calcular el ROI o el año en que previsiblemente se recuperará la inversión.

Como se puede comprobar el cálculo del ROI como se dijo en un principio era difuso y por ello debe estudiarse para cada caso concreto dependiendo de la empresa en la que se aplique la tecnología RFID y de las especificaciones que exijan a esta.

Se prosigue en el siguiente apartado con el objetivo de encontrar algo más detallado y general que dé cuenta de la rentabilidad de la tecnología RFID, aunque antes, se propone un ejemplo concreto de lo que podría ser el cálculo del ROI.

6.2.4 Ejemplo numérico del ROI para un inversión en RFID

Se propone un ejemplo en el que una empresa analiza si acometer una inversión en RFID planteando el ROI. El escenario es el siguiente (www.ingenia.es):

- Inversión inicial (estudio de viabilidad, dispositivos físicos, implantación, formación empleados, reorganización de procesos...): 20.000 €
- Coste recurrente (anual): 3.000 €
- Número de ítems: 2.000
- Valor medio de cada ítem: 300 €
- Coste hora operario: 10 €
- Número de inventarios al año: 2
- Precisión de inventario: 75% sin RFID y 95% con RFID

Con estas hipótesis, se procede a calcular el coste total de inventario en los dos casos: con tecnología RFID y sin ella. Se asume en este ejemplo que se trata de artículos grandes, estimando por ello tiempos altos para su manipulación, ya sea con o sin RFID. También se supone que la empresa sin RFID, realiza el inventario de

manera tradicional y documentada, de esta forma se justifica el gran número de horas usadas para llevarlo a cabo.

Se adopta para el ejemplo una postura prudente al asumir que con la tecnología RFID solo se reduce a la mitad el tiempo de búsqueda por ítem y el porcentaje de ítems no encontrados. Igualmente ocurre con el tiempo medio de manipulación de un ítem al hacer inventario, que se ve reducido en este caso cuando se aplica tecnología RFID solo en algo más de un 80%, pudiendo ser este dato mucho mayor.

Por todo lo anterior, se aportan a continuación una serie de datos sólo útiles a modo de ejemplo, bien pudiendo ser distintos según el tipo de empresa o según su política de trabajo.

Coste total de inventario sin tecnología RFID: 10.166,66 €

- Coste anual de hacer inventario: 2.000 €
 - o Tiempo medio por ítem: 3 minutos
 - o Tiempo total por inventario: 100 horas
 - o Coste total por inventario: 1.000 €
- Coste anual búsqueda ítems extraviados: 6.666,66 €
 - o Total extraviados: 500 ítems
 - o Tiempo medio búsqueda por ítem extraviado: 40 min
 - o Coste búsqueda ítems extraviados por inventario: 3.333,33 €
- Coste ítems no encontrados: 1.500 €
 - o Media ítems no encontrados (sobre extraviados): 1%

Coste total de inventario con tecnología RFID: 1.149,99 €

- Coste anual de hacer inventario: 333,33 €
 - o Tiempo medio por ítem: 0,5 minutos
 - o Tiempo total por inventario: 16,67 horas
 - o Coste total por inventario: 166,67 €
- Coste anual búsqueda ítems extraviados: 666,66 €
 - o Total extraviados: 100 ítems
 - o Tiempo medio búsqueda por ítem extraviado: 20 min
 - o Coste búsqueda ítems extraviados por inventario: 333,33 €
- Coste ítems no encontrados: 150 €
 - o Media ítems no encontrados (sobre extraviados): 0.5%

El ahorro del coste en inventario derivado del uso de la tecnología RFID podría verse incrementado al contemplar conceptos como el ahorro de tiempo en la recepción de mercancía o en el picking para la preparación de pedidos. No se han tenido en cuenta con el objetivo de realizar un análisis simple a modo de ejemplo que incorpore solo los costes de inventario más significativos.

Tabla 6-1. Cálculo ROI (Fuente: elaboración propia)

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
AHORRO	9.016,67 €	9.016,67 €	9.016,67 €	9.016,67 €
COSTE	20.000 €	3.000 €	3.000 €	3.000 €
AHORRO NETO	- 10.983,33 €	6.016,67 €	6.016,67 €	6.016,67 €
AHORRO ACUMULADO	- 10.983,33 €	- 4.966,66 €	1.050,01 €	6.066,68 €

Como se puede comprobar, en este caso, la inversión se recupera al tercer año. A partir del año tres, el ahorro acumulado será positivo y cada vez mayor, lo que supondrá menores costes y, por tanto, mayores beneficios.

6.3 RFID como solución a los problemas de inventario

La implantación de la tecnología RFID, en su aplicación principal, la cadena de suministro, está directamente vinculada al inventario como se ha podido comprobar. Además de reducción de costes de mano de obra y hasta un aumento de las ventas, consecuencias finales, se ha hablado de reducción de tiempos de inventario, aumento de la precisión del inventario e incluso reducción de la rotura de stock. Todo ello apunta a un mismo foco, y es el importante problema de inexactitudes de inventario en la cadena de suministro. Desde este punto se comenzará un análisis en detalle hasta a llegar al objetivo: un coste crítico que haga que el uso de la tecnología RFID sea rentable. Buscaremos el punto según (Rekik, 2011) para el cual los beneficios que produce la tecnología RFID compensen su propia inversión.

Precisamente el problema de inexactitud del inventario se hizo evidente debido al desarrollo de la tecnología de identificación avanzada como RFID. La inexactitud de inventario ocurre simplemente cuando el nivel de inventario que se muestra en el sistema de información (registro de inventario) no está de acuerdo con el inventario realmente disponible (inventario físico) lo cual ocurre muy a menudo a pesar de las cantidades invertidas en tecnología de la información.

Los factores que generan esa imprecisión en el inventario se han venido clasificando en cuatro:

- Errores de transacción: errores involuntarios que ocurren durante las transacciones (de entrada o de salida) de inventario. Pueden ocurrir desde en la recepción de un pedido hasta en el pago en la caja registradora.
- Errores de colocación: errores que ocurren cuando una fracción del inventario está fuera de su lugar y por tanto, no estará disponible para satisfacer la demanda de un cliente hasta que se encuentre. Son muchas las fuentes que causan este tipo de errores, algunas de ellas pueden ser: clientes que cogen productos y que luego colocan en otro lugar, empleados que no almacenan un ítem en el estante y momento adecuado o incluso empleados que pierden productos en la trastienda.
- Errores de contracción: errores que incluyen el robo de inventario, el deterioro y los daños los cuales puede ser causados por los propios clientes durante la prueba.
- Calidad de producto, rendimiento y proceso de suministro: estos errores tienen lugar cuando la calidad del producto es baja, el proceso de producción tiene un rendimiento bajo o bien el proceso de suministro no es del todo fiable. En estos casos el inventario físico se desconoce o se conoce con mucha imprecisión y por tanto será diferente al inventario en el sistema de información.

6.3.1 Marco de estudio

Dependiendo de la forma en que se satisfaga la demanda y generalizando en algunos aspectos, se puede distinguir entre dos familias:

1. Cadena de suministro minorista: los clientes finales están físicamente presentes en la tienda minorista y por tanto su demanda se satisface en función del inventario físico en el estante. De esta forma, el sistema de información no juega un papel importante en este tipo de cadenas de suministro.
2. Cadena de suministro mayorista: los clientes no están físicamente presentes en el almacén mayorista y por tanto la satisfacción de la demanda se realiza en función del nivel de inventario que se muestra en el sistema de información (IS). Así, el mayorista se compromete en función de su stock de IS y el compromiso se satisface en función del stock físico (PH) disponible.

Se debe apuntar que algunos actores de la cadena de suministro como fabricantes o minoristas electrónicos, se enfrentan al mismo problema que los mayoristas.



Figura 6-3. Cadena de suministro minorista (Fuente: Rekik, 2011)

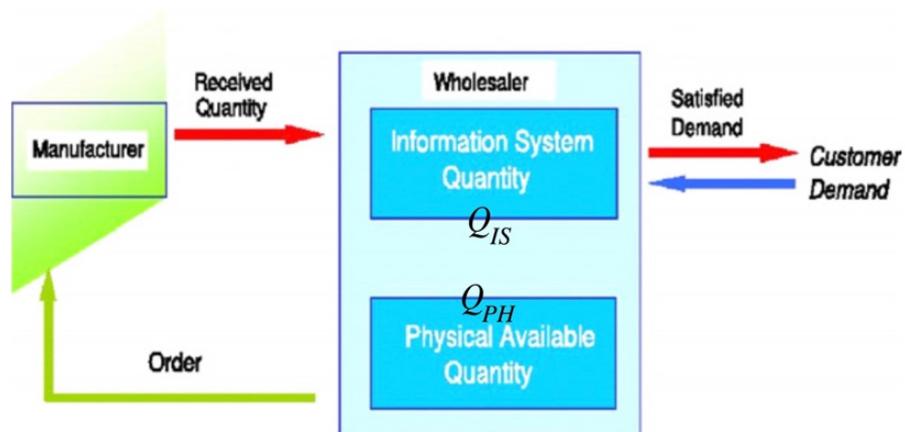


Figura 6-4. Cadena de suministro mayorista (Fuente: Rekik, 2011)

Una observación interesante deriva del hecho de poder considerar la cadena de suministro minorista como un caso particular de la cadena de suministro mayorista donde la “cantidad disponible para ventas (available for sales quantity)” corresponde a Q_{IS} cumpliéndose siempre el supuesto $Q_{IS} \leq Q_{PH}$.

Por todo lo expuesto anteriormente, se modelará y optimizará el problema de inexactitud de inventario bajo la estructura de cadena de suministro mayorista. La secuencia de eventos que se considerará, teniendo en cuenta

un ajuste de período único, será la siguiente:

Antes de comenzar la temporada de ventas, el mayorista ordena una cantidad Q al fabricante en base a la información del pronóstico de la demanda futura disponible para el administrador de inventario. El mayorista recibe los bienes y los almacena. Al inicio de la temporada de ventas, el gerente del inventario recibe los pedidos de los clientes y compara la acumulación de todos ellos con la cuantificación observada en el sistema de información (Q_{IS}). En este punto pueden darse dos casuísticas: si la acumulación es menor que Q_{IS} , se aceptan todos los pedidos y de lo contrario, solo se aceptan los pedidos que suman el Q_{IS} . A continuación, los pedidos se entregan al cliente desde el almacén mayorista excepto en el caso de que el inventario físico (Q_{PH}) no pueda satisfacer la cantidad comprometida. La demanda insatisfecha durante el compromiso, se pierda ya que no hay oportunidad de reposición durante la temporada de ventas.

Dependiendo de los valores tomados de Q_{IS} y Q_{PH} , se distinguen cinco modelos:

	Newsvendor	Random yield	IS errors	PH errors	IS and PH errors
Q_{PH}	Q	Q_A	Q	Q_A	Q_A
Q_{IS}	Q	Q_A	Q_B	Q	Q_B

Figura 6-5. Modelos frente al problema de inventario (Fuente: Rekik, 2011)

Siendo Q_A y Q_B son variables aleatorias en función de la cantidad de pedido Q :

El problema clásico del vendedor de periódicos corresponde al modelo libre de errores. Se habla de problema de rendimiento aleatorio cuando los niveles de inventario de IS y PH son iguales a la misma variable aleatoria. En los dos siguientes modelos se supone libre de errores el inventario de PH y el de IS, respectivamente. Por último, se vuelven a considerar inexactitudes en los dos niveles de inventario pero en este caso representados por variables aleatorias diferentes.

El análisis que se realizará considerará el modelo más general descrito donde las cantidades de IS y PH están sujetas a errores.

6.3.2 Expresión general de la función de costes

Como se explicó anteriormente, el administrador del inventario debe determinar la mejor cantidad para pedir al fabricante antes de la temporada de ventas para satisfacer la demanda del cliente. Con esta decisión se enfrenta a tres riesgos: el de tener productos no vendidos una vez acabada la temporada de ventas, el riesgo de escasez y el riesgo de no poder entregar la cantidad para la que se ha comprometido. Por todo esto, se contabilizan tres tipos de costes:

- El coste unitario excedente debido a productos no vendidos al final de la temporada de ventas, indicado por h .
- El coste debido a los pedidos rechazados por el administrador de inventario, denotado por u_1 .
- El coste debido a pedidos inicialmente aceptados por el administrador de inventario pero finalmente no entregados a los clientes, denotado por u_2 .

Se remarcará el hecho de que tanto h como u_1 y u_2 representan coste unitarios.

Se observa que el tercer tipo de coste mencionado es el parámetro que caracteriza el contexto mayorista ya que se produce cuando la demanda del cliente se satisface en función del inventario que se muestra en el sistema de información.

Es importante distinguir entre dos situaciones cuando se analiza la manera de gestionar un sistema de inventario sujeto a errores de inexactitud. Lo que en el resto de análisis se conocerá como SITUACIÓN 1 corresponde al caso en el que el administrador de inventario no tenga conocimiento o ignore los errores. En

contraposición, la SITUACIÓN 2 tendrá lugar cuando el administrador del sistema esté al tanto de los errores que ocurren en el sistema de inventario.

Si D denota la demanda a la que se enfrenta el mayorista y el compromiso se deduce como $C = \text{Min}(D, Q_{IS})$, el coste incurrido por el administrador de inventario es el siguiente:

$$\text{Coste} = h[Q_{PH} - \text{Min}(D, Q_{IS})]^+ + u_1[D - Q_{IS}]^+ + u_2[\text{Min}(D, Q_{IS}) - Q_{PH}]^+ \quad (1)$$

Resultado 1. La función de coste incurrida por el administrador de inventario puede reescribirse como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Coste} = & h[Q_{IS} - D]^+ + u_1[D - Q_{IS}]^+ + u_2\{(Q_{IS} - Q_{PH}) - \text{Min}[(Q_{IS} - D)^+, (Q_{IS} - Q_{PH})]\} - \\ & - h\text{Min}[(Q_{IS} - D)^+, (Q_{IS} - Q_{PH})] \end{aligned} \quad (2)$$

Prueba: $\text{Min}(a, b) = b - (b - a)^+$ y $a = b - (b - a)^+ + (a - b)^+$

El objetivo del siguiente resultado es proporcionar expresiones de los costes unitarios h , u_1 y u_2 como una función de los costes de compra, venta y residual unitarios.

Resultado 2. Al definir w como el coste de compra unitario, r como el precio de venta unitario, s como el precio residual unitario y P como la penalización unitaria por no entregar un producto comprometido:

$$(1) \quad h = w - s$$

$$(2) \quad u_1 = r - w$$

$$(3) \quad u_2 = u_1 + P$$

Prueba. Para demostrar el resultado necesitamos escribir la función de ganancia lograda por el administrador de inventarios en base a las últimas definiciones de r , w , s y P . Luego, debemos deducir la función de coste compararla con la formulación de la función de coste con los parámetros h , u_1 y u_2 .

El beneficio logrado por el administrador de inventario está dado por:

$$\text{Beneficio} = r\text{Min}[\text{Min}(Q_{IS}, D), Q_{PH}] + s[Q_{PH} - \text{Min}(Q_{IS}, D)]^+ - wQ_{PH} - P[\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}]^+$$

Sabiendo que $\text{Min}[\text{Min}(Q_{IS}, D), Q_{PH}] = \text{Min}(Q_{IS}, D) - [\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}]^+$, la ganancia se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Beneficio} = & r\text{Min}(Q_{IS}, D) + s(Q_{IS} - D)^+ - wQ_{IS} + s[Q_{PH} - \text{Min}(Q_{IS}, D)]^+ + w(Q_{IS} - Q_{PH}) - \\ & - (r + P)[\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}] - s[Q_{IS} - D]^+ \end{aligned}$$

Usando algo de álgebra elemental y simplificando:

$$\begin{aligned} \text{Beneficio} = & (r - w)D - \{(w - s)(Q_{IS} - D)^+ + (r - w)(D - Q_{IS})^+ - s[Q_{PH} - \text{Min}(Q_{IS}, D)]^+ - w(Q_{IS} - Q_{PH}) + \\ & + s(Q_{IS} - D)^+ + (r + P)[\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}]^+\} \end{aligned}$$

La función de coste se puede deducir del beneficio:

$$\begin{aligned} \text{Coste} = & (w - s)(Q_{IS} - D)^+ + (r - w)(D - Q_{IS})^+ - s[Q_{PH} - \text{Min}(Q_{IS}, D)]^+ - w(Q_{IS} - Q_{PH}) + \\ & + s(Q_{IS} - D)^+ + (r + P)[\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}]^+ \end{aligned}$$

Usando $\text{Min}(a, b) = b - (b - a)^+$ y $a = b - (b - a)^+ + (a - b)^+$

$$\text{Coste} = (w - s)(Q_{IS} - D)^+ + (r - w)(D - Q_{IS})^+ + (r + P - s)[\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}]^+ - (w - s)(Q_{IS} - Q_{PH}) \quad (3)$$

Por otro lado, la ec (2) puede ser escrita como sigue:

$$\text{Coste} = h(Q_{IS} - D)^+ + u_1(D - Q_{IS})^+ + (u_2 + h)[\text{Min}(Q_{IS}, D) - Q_{PH}]^+ - h(Q_{IS} - Q_{PH}) \quad (4)$$

Obtenemos el resultado simplemente comparando las ecuaciones (3) y (4).

6.3.3 Análisis en el caso de errores aditivos

Es importante caracterizar el tipo de error. La configuración general, conocida como error mixto es la siguiente:

$$Q_{PH} = g_{PH}Q + \varepsilon_{PH}$$

$$Q_{IS} = g_{IS}Q + \varepsilon_{IS}$$

Donde los pares de variables aleatorias $(\gamma_{PH}, \varepsilon_{PH})$ y $(\gamma_{IS}, \varepsilon_{IS})$ caracterizan los errores en el nivel de inventario y Q representa la cantidad ordenada.

A partir de esta, se pueden distinguir dos casos particulares:

La configuración del error aditivo: $Q_i = Q + \varepsilon_i$ donde i pertenece a $[PH, IS]$.

La configuración del error multiplicativo: $Q_i = \gamma_i Q$ donde i pertenece a $[PH, IS]$.

El objetivo ahora será analizar y proporcionar resultados relacionados con la configuración del error aditivo, siendo los ajustes de error multiplicativo y mixto algo más complejos matemáticamente. Definiremos para ello dos nuevas variables aleatorias adicionales que se suman a las anteriores, todas ellas son:

$$Q_{PH} = g_{PH}Q + \varepsilon_{PH}$$

$$Q_{IS} = g_{IS}Q + \varepsilon_{IS}$$

$$D_m = D + \varepsilon_{IS}$$

$$e = \varepsilon_{IS} + \varepsilon_{PH}$$

Con f_m y F_m las funciones de densidad de probabilidad y de distribución acumulativa respectivamente de la variable aleatoria D_m a la vez que g y G de la variable aleatoria e .

A partir de la función de coste proporcionada en el resultado 1 y usando las variables aleatorias descritas:

$$\text{Coste} = h(Q - D_m)^+ + u_1(D_m - Q)^+ + u_2 \{e - \text{Min}[(Q - D_m)^+, e]\} - h \text{Min}[(Q - D_m)^+, e] \quad (5)$$

Resultado 3. El coste esperado incurrido por el administrador de inventario para una cantidad de pedido Q en el ajuste de error aditivo se da de la siguiente manera:

$$C(Q) = h \int_{D_m=0}^Q (Q - D_m) f_m(D_m) dD_m + u_1 \int_{D_m=Q}^{+\infty} (D_m - Q) f_m(D_m) dD_m + (u_2 + h)E[A] - hE[e] \quad (6)$$

Prueba. $A = \{e - \text{Min}[(Q - D_m)^+, e]\}$

$$E[A] = \int_{e=0}^{+\infty} \int_{D_m=Q-e}^Q [e - (Q - D_m)] f_m(D_m) g(e) dD_m de + \int_{e=0}^{+\infty} \int_{D_m=Q}^{+\infty} e f_m(D_m) g(e) dD_m de \quad (7)$$

6.3.3.1 Situación 1

La situación 1 es más fácil de modelar y optimizar. Debido a que el administrador de inventario actúa como si no hubiera errores, sus decisiones de pedido o su política de reabastecimiento coinciden simplemente con la cantidad de pedido o la política de reabastecimiento del modelo sin errores. Es decir, el administrador de inventario ordenará la cantidad óptima del modelo del vendedor de periódicos (véase Apéndice I) independientemente de los parámetros de error. Siendo F la función de distribución acumulativa de la demanda:

$$Q_{\text{newsvendor}}^* = F^{-1} \left[\frac{u_1}{u_1 + h} \right] \quad (8)$$

El coste incurrido por el administrador del sistema no coincide con el coste óptimo de un problema que sigue el modelo de vendedor de periódicos básico sino que viene dado por $C(Q_{\text{newsvendor}}^*)$.

6.3.3.2 Situación 2

Siendo el administrador de inventario consciente de los errores que se producen en el sistema, suponemos que tiene información sobre las distribuciones de ϵ_{PH} y ϵ_{IS} .

Analizaremos los resultados en las siguientes condiciones no restrictivas:

1. El coste u_1 y el coste h son tales que $u_1 \geq (F_m(0)/(2+F_m(0)))h$, es decir, se garantiza la existencia de una cantidad de pedido óptima para el sistema de inventario. La condición se puede escribir de manera más general de la siguiente manera: $u_1/h \geq 1/3$, lo cual no está en contradicción con los valores prácticos de la relación u_1/h .
2. La distribución aleatoria de D_m es tal que $f_m(x)/F_m(x)$ es una función creciente de x , es decir, se garantiza la exclusividad de la cantidad de pedido óptima. Condición aplicable para distribuciones comunes, por ejemplo el caso de la demanda y los errores de distribución normal.

Resultado 4. Existe una única cantidad óptima de pedido Q que minimiza la función esperada $C(Q)$. Q^* resuelve la siguiente ecuación:

$$(u_1+h)F_m(Q^*) + (u_2+h) \int_{e=0}^{+\infty} g(e)[F_m(Q^* - e) - F_m(Q^*)]de = u_1 \quad (9)$$

Prueba. Se hace uso de la regla de Leibniz ($\frac{d}{dx}(u \cdot v) = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx}$) y se obtiene:

$$\frac{dE[A]}{dQ} = - \int_{e=0}^{\infty} \int_{x_m=Q-e}^Q f_m(xm)g(e)dxmde = \int_{e=0}^{\infty} [F_m(Q - e) - F_m(Q)] g(e)de$$

$$\frac{dC[Q]}{dQ} = (u_1+h)F_m(Q) - u_1 + (u_2+h) \int_{e=0}^{\infty} [F_m(Q - e) - F_m(Q)] g(e)de$$

Para obtener la cantidad de pedido óptima se iguala a cero la última expresión.

Resultado 5. El coste esperado óptimo incurrido por el administrador del inventario está dado por

$$C(Q^*) = u_1E[D_m] - (u_1+h) \int_{D_m=0}^{Q^*} D_m f_m(D_m) dD_m + \\ + (u_2+h) \int_{e=0}^{+\infty} [e - eF(Q^* - e)] \int_{D_m=Q^*-e}^{Q^*} D_m f(D_m) dD_m g(e)de - hE[e]$$

Prueba. La prueba se deduce directamente al combinar las ecuaciones (6) y (9).

6.3.4 RFID como solución al problema de inexactitud de inventario

En primer lugar, se destaca que el principal beneficio que la tecnología RFID aporta al inventario es la visibilidad, es decir, la alineación de los registros de inventario y los inventarios físicos. Además, suponiendo que la tecnología RFID no es una solución 100% perfecta y por ella no permite la eliminación de errores, sino hacerlos visibles, el problema de inventario se identifica con uno de rendimiento aleatorio clásico.

Teniendo en cuenta los costes variables (los costes fijos se tendría en cuenta en un análisis del ROI) asociados a la implantación de la tecnología RFID, es decir, el coste de la etiqueta RFID imputado a cada producto, se tratará de responder las siguientes preguntas:

¿La implementación de RFID es una solución económicamente viable para el mayorista?

En caso afirmativo, ¿bajo qué precio de etiqueta, RFID es rentable?

Para este propósito, asumimos a lo largo de esta sección que el mayorista enfrenta una demanda distribuida normalmente con los parámetros $\mu_D=10$ y σ_D . También asumimos que los errores se distribuyen normalmente con una media igual a cero. Sin pérdida de generalidad, también se considerará que el costo de mantenimiento de la unidad es $h=1$ y se enfatiza el impacto de las otras dos u_1 y u_2 .

El mayorista, en este caso, en lugar de comprar el producto por un coste unitario w , lo hace por $w+t$ en presencia de RFID. La cantidad óptima de pedido será por tanto:

$$Q_{\text{RFID}}^* = Fm^{-1} \left[\frac{u_1 - t}{u_1 + h} \right] \quad (10)$$

Siendo el coste esperado:

$$C_{\text{RFID}}^* = u_1 E[Dm] - (u_1 + h) \int_{Dm=0}^{Q_{\text{RFID}}^*} Dm f(Dm) dDm \quad (11)$$

Resultado 6. Podemos identificar un coste crítico de etiqueta t_c tal que para $t \leq t_c$, la implementación de la tecnología RFID produce un beneficio positivo, es decir, la condición bajo la cual la implantación de la tecnología de identificación por radiofrecuencia es rentable.

$$\int_{Fm^{-1} \frac{u_1 - t_c}{u_1 + h}}^{Fm^{-1} \frac{u_1}{u_1 + h}} Dm f(Dm) dDm = \frac{u_2 + h}{u_1 + h} (a - G(0))$$

Prueba. Teniendo $t \leq t_c$ se habilita la desigualdad $C_{\text{RFID}}^* \leq C(Q^*)$.

Se analiza a continuación la evolución de dicho coste crítico, t_c , en algunos gráficos.

- La primera figura muestra que si el sistema de inventario está sujeto a más imprecisiones, la implementación de tecnología RFID es más fácil y el coste crítico de la etiqueta disminuye. El resultado es por que el C_{RFID}^* aumenta más que $C(Q^*)$ cuando aumenta el σ_{PH} , lo que explica la disminución del coste crítico de la etiqueta RFID. Como se esperaba intuitivamente, nótese también que t_c aumenta con la penalización P .
- La siguiente figura ilustra la evolución del coste crítico de la etiqueta con el coste de compra de la unidad w . Como también se esperaba intuitivamente, la solución RFID es más beneficiosa para productos con altos costos de producción y por tanto de compra.

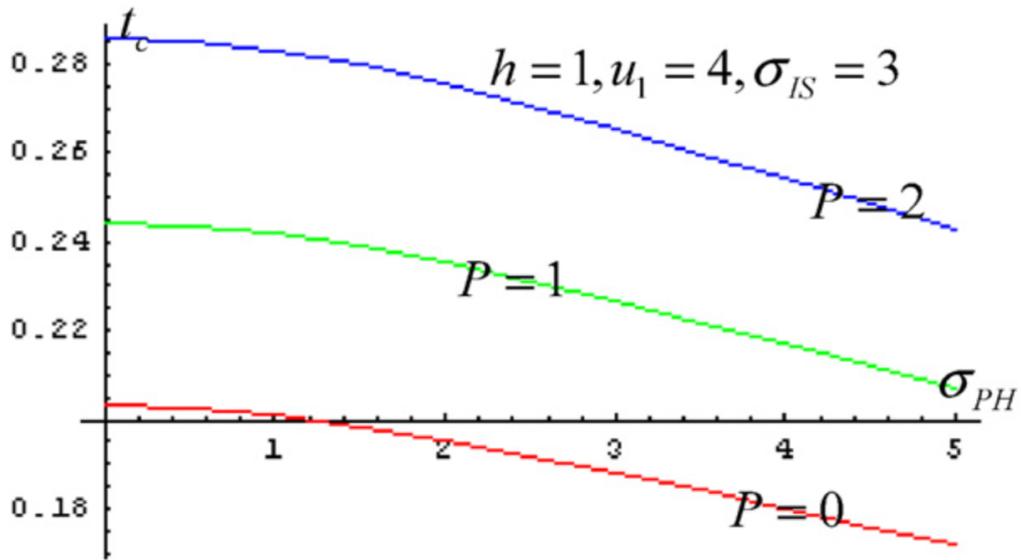


Figura 6-6. Evolución del coste crítico con σ_{PH} (Fuente: Rekik, 2011)

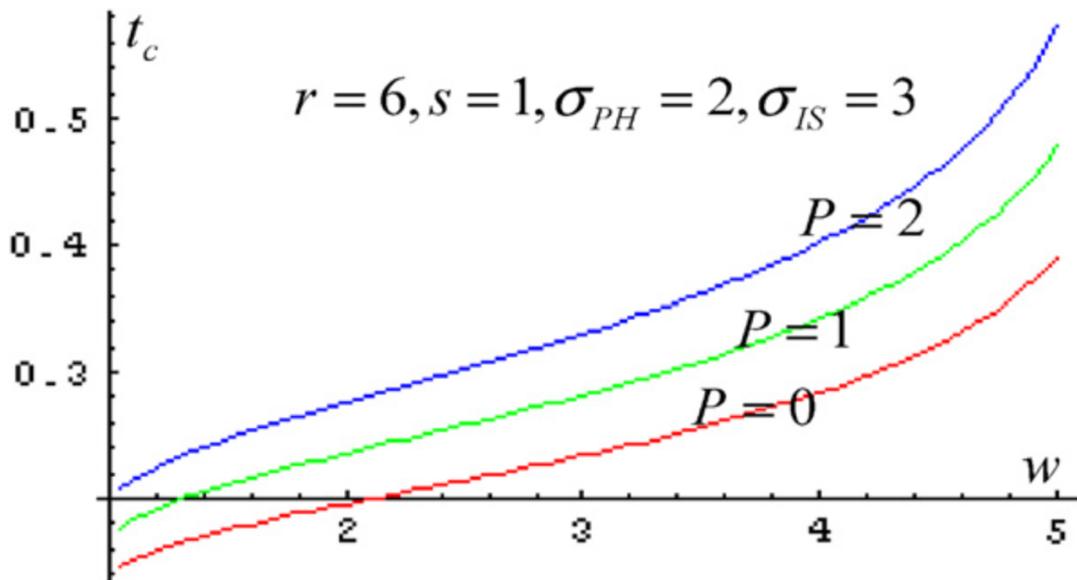


Figura 6-7. Evolución del coste crítico con w (Fuente: Rekik, 2011)

7 RFID COMO HERRAMIENTA DE INNOVACIÓN EMPRESARIAL

La clave del éxito en los negocios está en detectar hacia dónde va el mundo y llegar ahí primero.

- Bill Gates -

Resulta una obviedad, tras las múltiples aplicaciones y ejemplos expuestos, que la tecnología RFID supone un modo de avance en el mundo empresarial. La identificación por radio frecuencia como ventaja competitiva en una empresa permite cambiar las relaciones con clientes y proveedores, además de modificar la cadena de suministro, o incluso transformar la propia forma de organización de la empresa.

En este punto, se procede a relacionar la tecnología RFID con algunos conceptos de actualidad que “están de moda” dando cuenta de la concepción de dicha tecnología como herramienta de innovación presente y futura.

7.1 RFID y el internet de las cosas

El Internet de las Cosas, conocido como IoT (por sus siglas en inglés Internet of Things), se trata de una revolución en la forma de entender las comunicaciones que cambia la manera de relacionarse entre objetos, personas y empresas. A pesar de implicar una tecnología muy complicada y avanzada, entender el concepto de Internet de las Cosas es muy sencillo. Se basa en la conexión de los objetos cotidianos entre sí y con la red de manera que depositan la información y datos relevantes recogidos del entorno en tiempo real para su posible análisis posterior. En definitiva, el internet de las cosas supone la digitalización del mundo físico. El concepto nació en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y lo usó por primera vez de forma pública en el año 2009 Kevin Ashton, profesor del MIT:

“Si tuviésemos ordenadores que fuesen capaces de saber todo lo que pudiese saberse de cualquier cosa – usando datos recolectados sin intervención humana– seríamos capaces de hacer seguimiento detallado de todo, y poder reducir de forma importante los costes y malos usos. Sabríamos cuando las cosas necesitan ser reparadas, cambiadas o recuperadas, incluso si están frescas o pasadas de fecha. El Internet de las Cosas tiene el potencial de cambiar el mundo como ya lo hizo Internet. O incluso más.”

7.1.1 Posibles aplicaciones del Internet de las cosas

Las aplicaciones posibles son inmesas y será en el mundo empresarial donde se pueda sacar más rendimiento haciendo uso de los datos recogidos con el fin de conseguir que sus actividades sean más eficientes. Por supuesto también existe para los negocios la posibilidad latente de hallar nuevas oportunidades de negocio gracias al Internet de las Cosas.

Las soluciones son tantas como necesidades tenga el emprendedor y las posibilidades se abren a cualquier área. Dentro de las aplicaciones más atractivas podemos encontrar (www.elespañol.com):

- Un frigorífico que avise de la fecha de caducidad de los alimentos que contiene.
- Unas zapatillas para hacer deporte que registren las estadísticas por ejemplo de cuánto se corre y a qué velocidad.
- Un cepillo de dientes que alerte de cualquier pequeña caries y pidiera cita en el dentista.
- Un sistema que autorregule la temperatura de cada local para favorecer el mantenimiento de los ingredientes o productos.
- Un coche que permita monitorizar información del vehículo a través de sensores y actuar en consecuencia. Por ejemplo, puede contactar con un taller y avisar de su estado antes de una visita, recordar que se vigile la presión de los neumáticos o conocer en el momento el estado de las carreteras o del tráfico gracias a la conectividad.
- Semáforos que se activan de acuerdo al tránsito en tiempo real o la autorregulación de las farolas de acuerdo al nivel de luminosidad del momento.

Es evidente que el Internet de las Cosas propone una nueva configuración para las ciudades en las que vivimos la cual ya empieza a hacerse visible. Según Hans Vestberg, director general de Ericsson: «Si una persona se conecta a la red, le cambia la vida. Pero si todas las cosas y objetos se conectan, es el mundo el que cambia.»

7.1.2 Papel que juega la tecnología RFID en el Internet de las cosas

El Internet de las Cosas (www.fqingenieria.com) requiere los elementos necesarios para habilitar la comunicación, aquí es donde entra en juego la tecnología RFID. Los objetos necesitarán ser provistos con tecnología Auto-ID, típicamente una etiqueta RFID que les permita identificarse unívocamente. Además, el tag permitirá que el objeto se comunique sin cables (comunicación Wireless). Los objetos inteligentes dispondrán de un sensor para medir datos del entorno u otro tipo de información que se almacenará en el tag RFID para hacer posible que los objetos reporten datos en tiempo real. En definitiva, gracias a los sistemas RFID, bastará con integrar un chip a cualquier objeto del hogar, el trabajo o la ciudad para poder procesar y transmitir información constantemente a partir de él.

La adopción de la tecnología RFID y otras similares estimula la innovación y el desarrollo del IoT. En Abril de 2013, empresas líderes en el sector IT y fabricantes de sistemas RFID se unieron con la asociación industrial AIM Global, formando la alianza RAIN. RAIN simboliza la sinergia entre el RFID UHF y la nube de datos (donde se almacena toda la información generada por los lectores y que puede ser compartida vía internet).

Con una atrevida visión de conectar 28 billones de items en 2020 para proporcionar a los ciudadanos servicios y aplicaciones inteligentes, la alianza pretende acelerar el desarrollo e implementación de la tecnología RFID en el panorama del Internet de las Cosas.

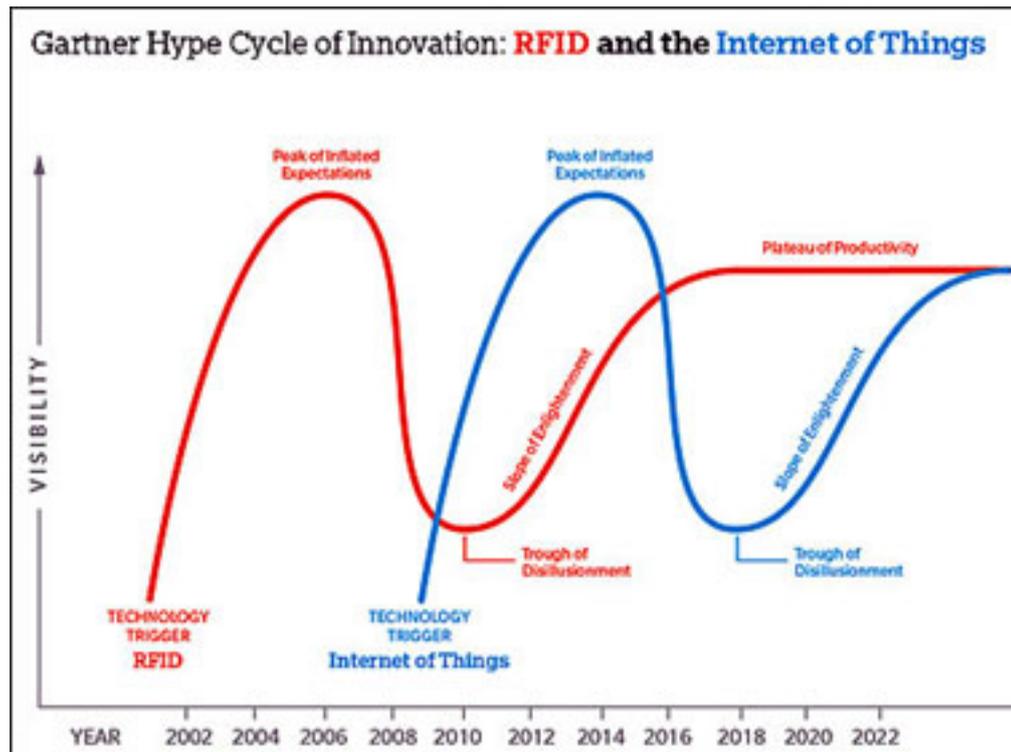


Figura 7-1. Evolución temporal de RFID y IoT (Fuente: www.fqingenieria.com)

El ciclo de sobreexpectación de Gartner, que se compone de 5 fases (lanzamiento, pico de expectativas sobredimensionadas, abismo de desilusión, rampa de consolidación y meseta de productividad), trata de caracterizar el entusiasmo sobredimensionado y la decepción subsiguiente que suele ocurrir cuando se introducen nuevas tecnologías. Como podemos comprobar, en la actualidad, comienza la meseta de productividad para la tecnología RFID a la misma vez que el Internet de las cosas entrará en la rampa de consolidación. El hecho de que la tecnología RFID esté alcanzando su fase de estabilidad dentro del mercado, como una tecnología ya adoptada y común y en fase de maduración, facilita la adopción de RFID en el Internet de las Cosas, además de que se trata de una tecnología idónea para los objetivos y necesidades del IoT.

7.1.3 IoT en España

El Internet de las Cosas cada vez estará más presente. En nuestro país, la empresa española Telefónica (www.telefonica.com) mantiene en 2017 una posición de liderazgo por cuarto año consecutivo en el prestigioso Cuadrante mágico de Gartner de servicios M2M. El grupo Gartner elabora una representación sencilla de la situación del mercado mundial con respecto a un producto tecnológico evaluando tanto la integridad de visión como la capacidad de ejecución. En este caso, M2M (máquina a máquina) se refiere a la comunicación entre máquinas que no es más que la otra cara de la moneda del IoT enfocándolo desde el punto de vista técnico de las comunicaciones.

Telefónica IoT ofrece soluciones que permiten la recogida de datos en línea, el control remoto y la automatización de procesos para permitir a las empresas proporcionar un mejor servicio.

Actualmente, telefónica sigue trabajando en la próxima generación 5G y las nuevas conectividades IoT que incluso multiplicarán la capacidad de recogida y subida de datos a la nube, permitiendo un aprovechamiento aún mayor de la tecnología IoT.

Con todo lo anterior, concluimos que la información es la clave, es decir, el corazón de esta tecnología. Debido a que prácticamente todo puede ser medido, su potencial es casi infinito, adaptándose además a necesidades muy distintas del consumidor. La cantidad de datos generados es inmensa y está en permanente crecimiento,

por eso tanto la tecnología RFID como la conectividad deben acompañar y permitir que el denominado 'Camino del IoT' sea dinámico y por supuesto, seguro.

7.2 RFID y Big Data

El término Big Data (www.powerdata.es) hace referencia al gran volumen de datos, estructurados o no, que inundan los negocios cada día. Big Data, raramente conocido por los términos españoles macrodatos o datos masivos, describe a conjuntos de datos cuyo volumen, variabilidad y velocidad dificultan su captura, gestión, procesamiento y análisis a través de tecnologías y herramientas convencionales dentro del tiempo necesario para que resulten útiles. Se ha de apuntar que volumen de datos se refiere a su tamaño, variabilidad a su complejidad y velocidad a su velocidad de crecimiento, siendo estos los tres parámetros más importantes que impiden el uso de base de datos relacionales o estadísticas convencionales por ejemplo como herramientas de manipulación de Big Data. Aún así, la problemática real del Big Data viene definido por lo que se conoce como 5V que son: volumen, velocidad, variedad, veracidad y valor. Estas son los cinco aspectos que provocan problemas en las empresas para extraer datos reales y de alta calidad. El tamaño a partir del cual un conjunto de datos se considera Big Data, no ha sido definido de manera firme pero puede considerarse como conjuntos de datos que van desde 30 Terabytes a varios Petabytes (1PB=1e+15B).

La naturaleza compleja del Big Data se debe principalmente a que los datos generados por tecnologías modernas poseen una naturaleza no estructurada. De hecho, se calcula que solo el 20% es información estructurada. Esto se debe a que en la mayoría de los casos, con el objetivo de utilizar eficazmente el Big Data, deben combinarse los datos generados con las últimas tecnologías con datos estructurados provenientes de una aplicación comercial más convencional como por ejemplo un ERP (Enterprise Resource Planning). Las fuentes de datos del Big Data son muy amplias, y cuando hablamos de tecnologías modernas se engloban multitud de sistemas recientes que son capaces de recopilar datos. En este punto es donde entra en juego la tecnología RFID como uno de ellos, además de sensores, redes sociales, teléfonos móviles, dispositivos GPS... Todos ellos proporcionan datos con estructura interna no identificable que no adquieren valor hasta que se identifican y almacenan de manera organizada.

Cuando la tecnología RFID empezó a relacionarse con aplicaciones como el control de activos, la gestión logística y el uso comercial, se registró una explosión en la captura de datos. Debido a la gran cantidad de información que deriva de identificar un gran número de objetos en cada punto de control del proceso, la tecnología RFID se volvió un elemento clave para la generación de datos. Por tanto, para el desarrollo de Big Data, RFID es fundamental.

Las fuentes de datos de Big Data son muy amplias, en general podemos distinguir (www.grupokorporate.com) :

Web y Redes Sociales

Información sobre clicks en vínculos y elementos

Búsquedas en Google

Redes sociales (fuentes de datos de Twitter, publicaciones en Facebook y otras)

Contenido Web (páginas, imágenes, enlaces, etc.)

Comunicación entre máquinas

Lecturas RFID

Señales GPS

Otros sensores (parquímetros, máquinas expendedoras, cajeros, etc.)

Transacciones

Registros de comunicaciones (llamadas, mensajería, etc.)

Registros de facturación (pagos con tarjeta, pago online, etc.)

Biométricos

Reconocimiento facial

Información genética (ADN)

Generados por personas

Grabaciones a operadores de atención al cliente

E-mail

Registros médicos electrónicos

A continuación se muestra una imagen que da muestra, con algunos ejemplos, de la cantidad de datos que se manejan en el mundo actual, es decir, del poder y la importancia del término Big Data.

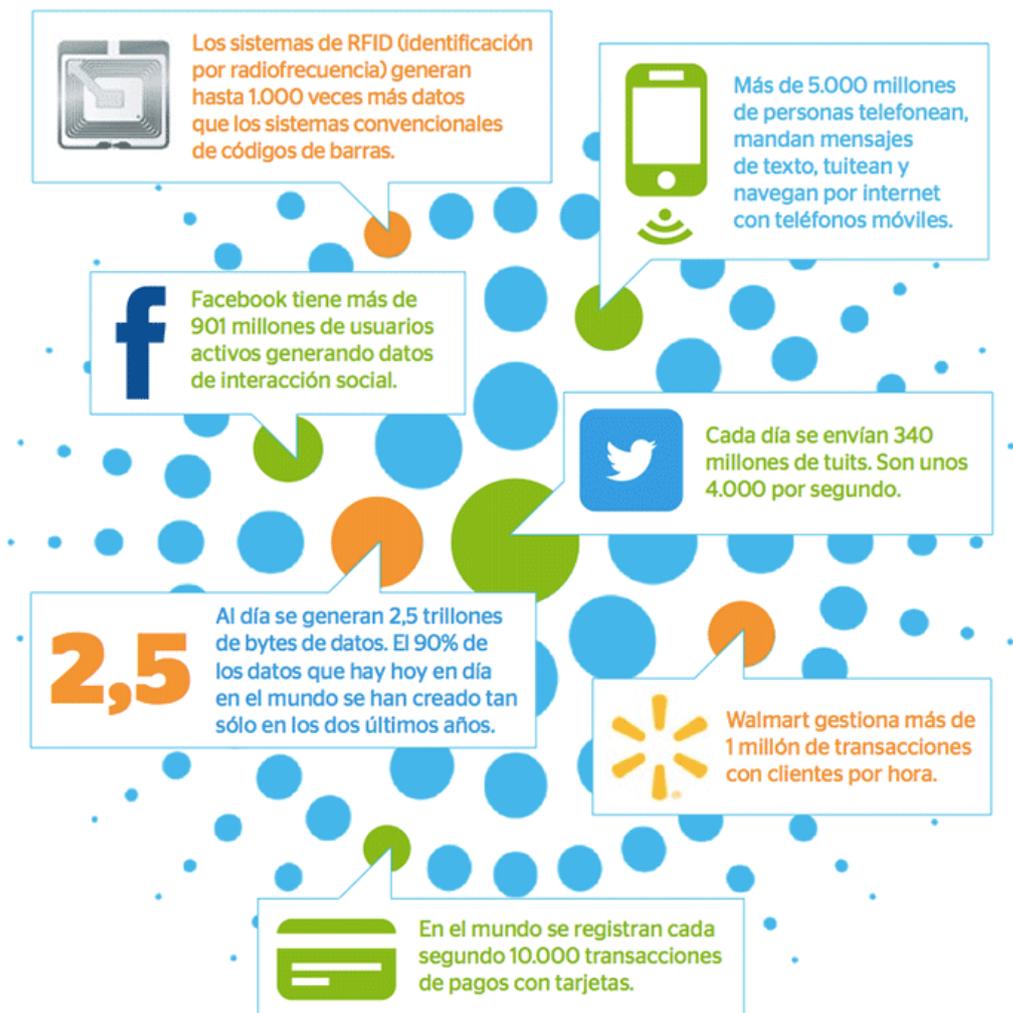


Figura 7-2. Ejemplos datos manejados en el mundo actual (Fuente: www.pinterest.es)

El Big Data es tan importante por la utilidad que supone para las empresas. El Big Data permite a las organizaciones aprovechar sus datos para identificar nuevas oportunidades incluso les permite proporcionar respuestas a preguntas que desconocían. La recopilación de grandes cantidades de datos y la búsqueda de tendencias dentro de ellos hacen que las empresas puedan identificar problemas a tiempo, realizar operaciones más eficientes, descubrir formas de negocio más inteligentes o tomar decisiones mejores y más rápidas. Todo esto conduce a reducción de costes y a una mayor satisfacción del cliente, lo que al final se traduce en mayores ganancias.

Relacionando conceptos, se dirá que como se mencionó anteriormente, que el Big Data es el corazón del IoT, siendo a su vez la tecnología RFID una herramienta clave para que se haga posible.

Por último, concluiremos introduciendo un nuevo concepto en relación con el Big Data: el Machine Learning. El Machine Learning o aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial que persigue el desarrollo de técnicas para que las máquinas puedan “aprender”. Se busca que los algoritmos generalicen conocimiento y lo induzcan a partir de los comportamientos que van observando. A pesar de que este campo de la inteligencia artificial nació hace años, es una evidencia que para que el aprendizaje

sea efectivo se necesitan datos. Por todo esto, cuando irrumpió el Big Data el Machine Learning cobró más importancia viendo en el Big data su materia prima al disponer de multitud de datos tanto para aprender como para obtener resultados.

A continuación se muestra el interés a lo largo del tiempo de ambos términos, donde se puede apreciar la influencia del Big Data en el Learning Machine.

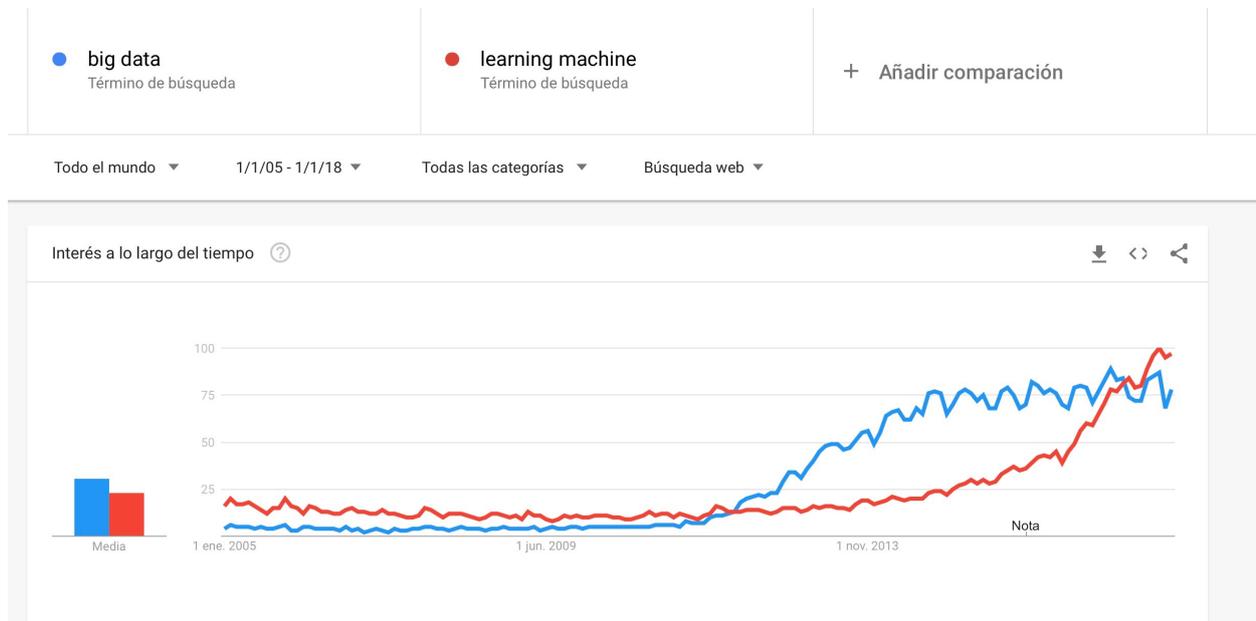


Figura 7-3. Interés a lo largo del tiempo del Big Data y del Learning Machine (Fuente: Google Trends)

Actualmente, tanto el Big Data como el Learning Machine se han generalizado a muchos sectores y se están convirtiendo en piezas claves para muchas compañías aportando valor a su trabajo.

7.3 RFID y Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing es un modelo de gestión enfocado a identificar y eliminar las actividades que no agregan valor en un proceso pero sí implican esfuerzo y costo. El Lean Manufacturing es un proceso continuo y sistemático y se basa en la premisa de que todo se puede hacer mejor (mejora continua). El objetivo es crear un flujo que permita entregar el máximo valor a los productos, eliminando lo que se conoce como desperdicio (sobreproducción, exceso de inventario, sobreprocesos, tiempos de espera, transporte, movimientos innecesarios, defectos e incluso recursos humanos). Los resultados obtenidos a través de sus prácticas y herramientas la convierten en una de las filosofías de producción más exitosas y revolucionarias de la historia.

Aunque en este caso la tecnología RFID no desempeña un papel fundamental, su importancia en la mejora de procesos, le permiten formar parte en cierta manera del Lean Manufacturing. Aunque las consecuencias son intangibles, la tecnología RFID es una herramienta que permite la eliminación de desperdicios y focalizar cuestiones que realmente están aportando valor al negocio. Algunos ejemplos podrían ser (www.clavei.es) (www.advancedmobilegroup.com):

- Gracias a disponer de información precisa sobre el nivel de inventario, mejorarán las capacidades de pronóstico y toma de decisiones. Es otra forma de acercarse a la producción sin excedentes.
- Es muy importante también en la fabricación ajustada obtener información del lado del consumidor, por ejemplo las etiquetas RFID pueden informar de inmediato sobre qué productos

abandonan las tiendas rápidamente, es decir, un vistazo preciso al minuto de los hábitos de compra. De esta manera se conocerá mejor la predicción de la demanda, produciendo un suministro más eficiente.

- Un sistema de inventario impulsado por RFID también brinda una herramienta para rastrear la edad y la caducidad de los productos, sobretodo en escenarios con productos perecederos. Al etiquetar un inventario sensible con chips RFID, se puede garantizar que se usen antes de que expire su vida útil. Es otra forma de asegurarse de que no se fabrique nada que no sea estrictamente necesario.
- Debido a que la ubicación de las existencias se conoce con mayor precisión, hay una reducción sustancial en el desperdicio de tiempo. También se ahorra tiempo en cuestiones meramente mecánicas como desempaquetar cajas, conteos interminables de mercancía, preparación de pedidos, etc., permitiendo a los empleados centrarse realmente en aportar valor en sus tareas.
- Un sistema RFID también permite mejorar la gestión de los tiempos ya que se puede conocer, por ejemplo, la velocidad a la que las piezas y productos inacabados se mueven de una fase a la siguiente, y el tiempo requerido para cada paso en el camino. Esto, a su vez, hace posible detectar cuellos de botella y áreas que podrían volver a evaluarse.
- La tecnología RFID también puede suponer beneficios en los controles de calidad debido a un historial de productos más preciso y a la mayor fiabilidad del seguimiento de inventario. Esto tendrá especial interés para la eliminación de sobreprocesos.
- En otro sentido, la información aportada por la tecnología RFID permitirá a la empresa mejorar la focalización de las campañas de Márketing.
- No sólo hablando en sí de los artículos, los Tags RFID se pueden utilizar como tarjetas de identificación de los operarios, evitando por tanto fichajes manuales para los controles de presencia y en producción, de manera que se ahorre tiempo y se eviten fallos.

En definitiva, la introducción de tecnología RFID hace más fácil saber qué está pasando en la empresa desde el suministro hasta la demanda. Recopilando múltiple información sobre la que se puede actuar para realizar mejoras, la tecnología RFID permite aportar valor y disminuir los despilfarros, objetivo del Lean Manufacturing, aunque muchos de los beneficios resulten prácticamente incuantificables.

Si todo lo anterior se complementa con el Big Data y el Machine Learning, las posibilidades son infinitas puesto que se obtendrá mucha información para analizar, y lo más importante, muy valiosa.

8 CONCLUSIONES

Saltar rápidamente a conclusiones, rara vez conduce a felices aterrizajes.

- S. Siporin-

Como se observa a lo largo del proyecto, existen multitud de aplicaciones para la tecnología RFID, y lo que es más importante, entre ellas se distinguen sectores muy diferenciados. En todas las utilidades mencionadas, la implantación de la joven tecnología se traduce en numerosos beneficios, si bien es cierto que unas se imponen sobre otras. La aplicación de la tecnología RFID como parte de la logística en las empresas es la que ostenta más popularidad debido a la multitud de ventajas que presenta frente al convencional código de barras. El motivo principal de su éxito es que en la industria, los sistemas RFID dan la posibilidad al empresario de controlar la trazabilidad de sus productos a lo largo de toda la cadena de suministro a la misma vez que permiten ofrecer una mejor calidad de servicio a los clientes y reducir los costes. Todo ello, como es de esperar, se traduce en un aumento de la productividad.

La tecnología RFID, reconocida ventaja competitiva para cualquier empresa, probablemente debido a su juventud, también viene acompañada de algunos inconvenientes. El primero de ellos se refiere a las normativas aplicables. Debido a su dilatada expansión, cada vez se hace más necesario la existencia de un sistema regulador a nivel global dictado por un único organismo, es decir, un único e inexistente por ahora estándar mundial. El segundo de ellos se refiere a la seguridad y privacidad, que desde el nacimiento de la identificación por radiofrecuencia, viene inquietando a los consumidores. Si bien es cierto, como se ha podido comprobar, que existen multitud de amenazas de seguridad hacia estos sistemas, también se han desarrollado multitud de técnicas para combatirlas. Por este motivo, y a pesar de su importancia, la seguridad no debe suponer una barrera para el desarrollo de la mencionada tecnología. Lo que se ha demostrado que podría considerarse como el principal inhibidor de la expansión de la tecnología RFID es su coste. Concretamente, debido al alto precio de las etiquetas RFID, que suponen la mayor parte del gasto del sistema, hay empresas que aún no consiguen animarse a realizar la inversión. El precio de los tags, como viene siendo habitual desde el arranque de la tecnología RFID se irá reduciendo resultando más provechoso para los empresarios su implantación.

En torno a esta idea, se ha podido comprobar que existe un precio crítico de las etiquetas, a partir del cual para una empresa resultará rentable la inversión. El análisis se basa en la idea de que el mayor caso de uso que ofrece la tecnología RFID en la industria es la precisión de inventario, y a partir de esa mejora, se obtienen todos los demás beneficios: incrementar la disponibilidad de un producto, reducir los faltantes, disminuir los inventarios, etc. A pesar de que gran parte de los beneficios que puede reportar el RFID son difíciles de cuantificar, sobretudo los que a mejorar la imagen de la marca se refieren, sería conveniente que toda empresa que quisiera implantar la tecnología RFID planteara antes el retorno de dicha inversión. Realmente, el procedimiento a seguir es el de cualquier proyecto de inversión y contempla fases como el análisis de los requerimientos, el diseño, la implementación o las pruebas, todas ellas documentadas.

En cuanto a lo que se refiere a la aceptación de la tecnología RFID en nuestras fronteras, concluimos que España es el tercer país europeo con mayor porcentaje de implantación de tecnología RFID en sus empresas, creciendo este cada año y siendo, como era de esperar, el sector industrial el más avanzado en esta materia. Centrando el foco de atención en Andalucía, y a pesar de ser una de las comunidades autónomas con menor porcentaje de innovaciones tecnológicas, la cosa cambia en cuanto a tecnología RFID ya que Andalucía se sitúa incluso algo por encima del porcentaje medio nacional. De todo este estudio se derivan dos hechos importantes: el primero de ellos, previsible, es que cuánto mayor sea el tamaño de las empresas, la expansión de RFID es mayor; y el segundo, algo más sorprendente, que tanto en España como en Andalucía, la mayor utilidad de la tecnología RFID en las empresas es el control de acceso de personas.

Entre los muchos casos de éxito de la implantación de la tecnología RFID en nuestro país, uno de los que más llama la atención es el llevado a cabo por la empresa global española Inditex, más concretamente en su marca ZARA, siendo su intención extenderla a todas las demás. El éxito reside en el hecho de estar bien diseñada y acoplada a lo largo de todo su proceso productivo, haciendo visible multitud de beneficios entre los que destacan el aumento significativo de la calidad de servicio a sus clientes y la reducción de tiempos de trabajo. Siendo además este caso innovador por diseñar etiquetas reutilizables un gran número de veces, resulta ejemplificador para otras empresas españolas por la gran rentabilidad que han conseguido de su inversión.

En definitiva, la tecnología RFID permite que un inimaginable número de objetos adquieran identidad digital y puedan comunicarse y así interaccionar con las personas, esto es lo que lleva al conocido término del Internet de las cosas. El IoT conlleva un sinnúmero de aplicaciones ya en vigor pero también otras muchas que tendrán un gran impacto en los ciudadanos mejorando su calidad de vida. Así, con un futuro prometedor para esta y otras muchas tecnologías, la Comisión Europea denomina a la Inteligencia Ambiental como principal escenario de futuro para el siglo XXI. La visión principal de la Inteligencia Ambiental presenta al usuario rodeado de interfaces inteligentes e intuitivas, integradas en los objetos cotidianos de su entorno, un paso más de la simple identificación de objetos. El futuro de la tecnología RFID sigue siendo aún prometedor.

APÉNDICE I: PROBLEMA DEL VENDEDOR DE PERIÓDICOS

¿Cuántas unidades debe comprar el vendedor de periódicos cada mañana?

La respuesta es obvia, justo las que va a vender. El problema es que la demanda es incierta y está sujeta a variaciones. Entonces, si compra periódicos que no va a vender ese día, se quedará con artículos que nadie quiere. En contraposición, si compra menos de los que habría vendido, se produce una pérdida por lo que deja de ganar.

Los supuestos de los que parte el problema son:

1. Un único período ya que se pide el producto al principio del mismo para satisfacer la demanda de todo el período.
2. La demanda viene representada por una variable aleatoria continua.
3. Costes de exceso y falta de producto lineales.

$C(Q)$: Coste total esperado

h : coste unitario de producto excedente

$u1$: coste unitario de producto faltante

Para hallar la cantidad de pedido óptima, se debe encontrar el valor que minimice la función del coste esperado $C(Q)$, es decir, derivarla (aplicando la regla de Leibniz) e igualarla a cero.

$$C(Q) = h \int_0^Q (Q - x)f(x)dx + u1 \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx$$

$$\frac{dC(Q)}{dQ} = h \int_0^Q f(x)dx + u1 \int_0^Q -f(x)dx = h F(Q) - u1(1-F(Q))$$

$$F(Q^*) = \frac{u1}{u1+h}$$

$$Q^* = F^{-1} \frac{u1}{u1+h}$$

REFERENCIAS

Andalucía, J. de (no date) 'Diagnóstico De La Situación Smart de Andalucía'.

Autopistas, Contigo Hasta Donde Quieras Llegar | *Autopistas* (no date). Available at: <https://www.autopistas.com/> (Accessed: 27 March 2018).

Comission, E. (2018) 'Digital Economy and Society Index 2017 - España'. Available at: [file:///C:/Users/anton/Downloads/PortugalDESIcountryprofile \(3\).pdf](file:///C:/Users/anton/Downloads/PortugalDESIcountryprofile%20(3).pdf).

ComputerHoy.com: Todo sobre tecnología, gadgets y novedades (no date). Available at: <https://computerhoy.com/> (Accessed: 1 May 2018).

Comunicación, I. N. de T. de la (2010) 'Guía sobre seguridad y privacidad de la tecnología RFID', *Mayo 2010*, p. 49. Available at: https://www.google.com.co/webhp?source=search_app#q=Gu?a+sobre+seguridad+y+privacidad+de+la+tecnolog?a+RFID.

Entradas: conciertos, festivales y eventos - Compra en Ticketea | *ticketea* (no date). Available at: <https://www.ticketea.com/> (Accessed: 20 April 2018).

ESPAÑOL, E. (no date) 'EL ESPAÑOL - Diario digital, plural, libre, indomable, tuyo'. EL LEÓN DE EL ESPAÑOL PUBLICACIONES S.A. Available at: <https://www.elespanol.com/> (Accessed: 20 June 2018).

FQ Ingeniería Electrónica (no date). Available at: <https://www.fqingenieria.com/> (Accessed: 20 June 2018).

Gómez-Gómez, A., Ena-Rodríguez, B. and Priore, P. (2007) 'RFID en la gestión y mantenimiento de bibliotecas', *El Profesional de la Información*, 16(4), pp. 319–328. doi: 10.3145/epi.2007.jul.05.

Home - GSI Spain (no date). Available at: <https://www.gs1es.org/> (Accessed: 2 July 2018).

Home - RESUINSA (no date). Available at: <https://resuinsa.com/> (Accessed: 22 April 2018).

Home PowerData (no date). Available at: <https://www.powerdata.es/> (Accessed: 23 June 2018).

I+D+I, O. E. de (2017) 'Indicadores Del Sistema Español, De Ciencia, Tecnología E Innovación'.

Ingenia (no date). Available at: <https://www.ingenia.es/es> (Accessed: 3 July 2018).

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico en las empresas. Resultados para Andalucía (no date). Available at: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/iea/consultasActividad.jsp?CodOper=33&sub=74586> (Accessed: 6 May 2018).

Instituto Nacional de Estadística (2016) 'Encuesta sobre Innovación en las Empresas', pp. 2–9.

Junta de Andalucía (no date). Available at: <http://www.juntadeandalucia.es/index.html> (Accessed: 19 April 2018).

Khattab, A. *et al.* (2017) *RFID Security*. doi: 10.1007/978-3-319-47545-5.

Leon, J. de C. y (2007) 'Tecnología de identificación por Radiofrecuencia y sus principales aplicaciones', *Observatorio Regional de la Sociedad de la Información*, pp. 30–56.

LRM Consultoria (no date). Available at: <http://www.lrmconsultoria.com/> (Accessed: 26 March 2018).

ONTSI (2017) 'Informe Anual del Sector TIC y de los Contenidos en España 2017'.

Portillo, J. I., Bermejo, A. B. and Bernardos, A. M. (2008) *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): aplicaciones en el ámbito de la salud*.

Rekik, Y. (2011) 'Inventory inaccuracies in the wholesale supply chain', *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 133(1), pp. 172–181. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.02.012.

RFID, Industria 4.0, Identificación, Trazabilidad y localización Automática (no date). Available at: <http://www.tagingenieros.com/> (Accessed: 22 April 2018).

Sistemas de control RFID (no date). Available at: <http://www.rfidcontrols.com/rfidcontrols/> (Accessed: 19 April 2018).

Software para Empresas de Transportes | Software Novatrans (no date). Available at: <https://www.novatrans.es/> (Accessed: 26 March 2018).

Telectronica Codificación - Expertos en soluciones RFID (no date). Available at: <http://telectronica.com/> (Accessed: 10 March 2018).

Transformación Digital para Empresas | Clavei (no date). Available at: <https://www.clavei.es/> (Accessed: 22 June 2018).

Ustundag, A. (2013) *The Value of RFID*.

Welcome to The IoT World of Telefónica (no date). Available at: <https://iot.telefonica.com/> (Accessed: 20 June 2018).

Wireless Infrastructure, RFID & Mobile Computing Solutions - Advanced Mobile Group (no date). Available at: <http://www.advancedmobilegroup.com/> (Accessed: 23 June 2018).