

UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAIITIE)

“CONVOCATORIA 2017”

II PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
TECNOLÓGICA

Título del Trabajo:

Sistema para el aumento de la eficiencia del reciclaje de envases ligeros

AUTORES:

Enrique Bustillo Peña
Víctor Cancela De la Morena
Jaime Gallego Gallego
Laura González García
Alejandro Guede Linares
Julio Laborda Cao
Inés Matellano Pardeiro
Alonso Ortega Hernanz
Álvaro Quintan López
Diego Simal Albiñana
Víctor Soria Alcaide
Adrián Zolle Pérez

BLOQUE TEMÁTICO:
Gestión de Residuos

NIVEL EDUCATIVO:
1º de Bachillerato

COORDINADOR:
Miguel Ángel Pascual Montaner

MARZO DE 2017

Resumen

En este documento presentamos el diseño de un sistema que permitirá mejorar el proceso de reciclado de los envases ligeros actuando en varios niveles.

- Incentivando la separación en origen, al poder identificar a los usuarios del sistema de recogida de residuos urbanos, lo que permitirá a las administraciones públicas implementar políticas compensatorias o sancionadoras en función de la responsabilidad y actuación de los ciudadanos en este sentido.
- Facilitando la separación de los distintos productos una vez se hallen ya en la planta de reciclado, mediante una identificación sencilla y automática de los mismos según el material que los compongan.
- Obtención de datos estadísticos fiables en cuanto a consumo, distribución y reciclado de este tipo de envases, información de gran utilidad para las administraciones públicas susceptibles incluso de ser comercializados con posterioridad.

Y todo esto haciendo uso de una tecnología ya disponible y barata como es el uso de etiquetas **RFID**. Estas etiquetas identificarán a cada envase ligero según el material que lo componga, convirtiéndolos en ese momento en “**envases inteligentes**”.

Se trata además de un sistema escalable ya que las administraciones públicas podrán incluir más información en esos identificadores RFID según las necesidades de trazabilidad requeridos.

Palabras Clave

Envases, reciclaje, RFID, Identificación

Índice

Resumen	2
Palabras Clave.....	2
Índice.....	3
Desarrollo.	4
1. <i>Introducción.</i>	4
2. <i>Objetivos.</i>	5
3. <i>Metodología.</i>	5
4. <i>Descripción del sistema.</i>	7
5. <i>Conclusión.</i>	10
Tablas.....	10
Figuras.	11
Anexo. Protocolos RFID UHF y NFC.	13
Referencias.....	17

Desarrollo.

1. Introducción.

El reciclaje de envases ligeros, aún habiendo mejorado notablemente en las últimas décadas, sigue mostrándose insuficiente.

Una de las causas es que muchos de ellos no son separados en origen y depositados por los ciudadanos en el correspondiente contenedor Amarillo. Esto se deriva de la poca consideración de la población sobre la importancia del reciclaje de los productos que consumimos día a día, y de los útiles resultados que conlleva el correcto reciclado de estos productos tanto para nosotros como para el medio ambiente. Por ello, además de trabajar en la concienciación de la ciudadanía, también parece necesario incentivarla de algún modo a realizar un reciclaje responsable, siguiendo las directrices propuestas para desarrollar una gestión eficiente de los productos de desecho.

También se observa que el proceso de separación de productos en planta sigue siendo en muchas ocasiones manual debido a la dificultad que conlleva la identificación por métodos automáticos de los distintos tipos de materiales. Esto supone un aumento en los costes de reciclado lo que merma la viabilidad económica de estas instalaciones.

Sólo mejorando en ambos aspectos una sociedad podrá llegar a aspirar a poder ser calificada como de “residuo cero”.

El sistema que aquí se propone aborda ambos problemas y plantea soluciones efectivas, prácticas y de fácil implementación que permitirán alcanzar ese objetivo de “residuo cero” al menos en cuanto a envases ligeros se refiere.

2. Objetivos.

Los objetivos que se alcanzarán con la implementación de este sistema son los siguientes:

1. Mejorar los procesos relacionados con el reciclaje de envases ligeros.
2. Fomentar la separación de residuos en origen.
3. Facilitar la separación automatizada de los residuos en planta.
4. Obtener información real de los envases producidos y de los reciclados.
5. Utilizar los datos estadísticos de forma pública y comercial.
6. Permitir políticas de compensación o penalización a los ciudadanos.
7. Llegar al objetivo de residuo cero en cuanto a envases ligeros se refiere, bien por el reciclaje y reutilización de todos los envases producidos, bien por la reducción del consume de los mismos.

3. Metodología.

Este es un proyecto desarrollado de modo teórico ya que, debido a las posibilidades materiales de sus autores, ha sido imposible acceder siquiera a la construcción de una maqueta.

Aún así, para alcanzar la solución definitiva aportada se ha trabajado según la metodología de proyectos, que en este caso concreto se ha materializado como sigue:

Fase 1. Identificación de la necesidad.

Ante los problemas inherentes a la gestión de los residuos sólidos urbanos se puso de manifiesto la presencia bolsas de basura incorrectamente depositadas en los contenedores o directamente depositadas en las calles. Se dedujo entonces que se

hacía necesario un sistema que, por un lado, animara a los ciudadanos a terminar con estas prácticas y, por otro, mejorase la selección y separación de residuos.

Fase 2. Búsqueda de la solución.

Ante la necesidad detectada, todos y cada uno de los participantes en este proyecto fuimos proponiendo distintas soluciones que fueron sometidas a un proceso de revisión mediante el pensamiento crítico hasta alcanzar la solución final que aquí se propone.

Para obtener esta solución final tan solo se contó con los conocimientos propios de un alumno de 1º de bachillerato de la rama científico-tecnológica y con la búsqueda de información crítica en Internet.

Fase 3. División del trabajo en equipos de trabajo.

Una vez decidido el sistema a implementar, nos dividimos en equipos de trabajo cada uno de ellos con una responsabilidad determinada.

- Un primer equipo buscó información acerca del funcionamiento de las etiquetas RFID y su coste de producción, así como de sus posibilidades de reciclaje.
- Otro segundo equipo diseñó el sistema de contenedores que permite la identificación de los usuarios y de los productos que en ellos depositan.
- Un tercer equipo se dedicó a las tareas de documentación, presentación y promoción del proyecto

Fase 4. Concreción final del proyecto.

Como resultado del trabajo de cada uno de los equipos se terminó de dar forma al sistema con la mayor concreción técnica possible, tal y como se detalla en el punto siguiente.

4. Descripción del sistema.

La caracterización del sistema aquí propuesto se va a realizar describiendo cada una de las fases o procesos que seguirá un envase ligero desde su fabricación hasta su separación final en la planta de reciclaje.

Fase 1. Identificación del envase en su producción.

Los productores de estos tipos de envases serán obligados por ley a identificar el tipo de material que los compone a mediante una etiqueta RFID normalizada.

Esta etiqueta deberá ser pegada al envase mediante algún tipo de pegamento termofusible.

Hay que resaltar que la etiqueta RFID siempre irá en la parte exterior del envase con lo que no supondrá ningún problema su uso ni la del pegamento para la seguridad alimentaria.

Fase 2. Separación del envase en origen.

Los usuarios del sistema de recogida de RSU deberán separar en el hogar de manera conveniente los envases en bolsas u otro tipo de recipiente destinados solo a ellos.

Al acercarse al contenedor, el usuario "X" será identificado mediante un lector de tarjetas NFC. Esta identificación podrá ser por domicilio, familia o individuo según decida la administración competente. Al ser leída, la tarjeta desbloquea el uso del contenedor, donde se depositarán los residuos.

Para facilitar la identificación de cada envase, el usuario vaciará el contenido de la bolsa para que los productos sean conducidos de la manera más individualizada posible hacia el lector RFID, para lo que se ha diseñado un tipo especial de contenedores soterrados (*ver figura 1*).

Fase 3. Separación del envase en planta y recuperación de la etiqueta RFID.

Una vez en planta, los envases se depositan en una cinta transportadora y son sometidos a distintos procesos.

1. Lectura de la etiqueta RFID y separación automática de los envases según los materiales en los que están fabricados. De esta lectura como de la lectura de en los contenedores se podrán obtener valiosos datos estadísticos de producción, consumo y reciclaje de estos productos, de gran utilidad para las administraciones públicas susceptibles incluso de ser comercializados por las mismas.
2. Separación de las etiquetas RFID de sus envases. Al haber usado algún tipo de pegamento termofusible para adherirlas al envase, éstas serán fácilmente despegadas mediante procesos térmicos de baja temperatura, lo cual supondrá un pequeño consumo energético.
3. Recuperación de la etiqueta RFID. Una vez separadas de su envases, las etiquetas RFID serán cribadas mediante un sistema de rampas de rejillas o rodillos como los que ya se usan en otros procesos industriales que están adaptados para permitir que en este caso los chips caigan a un contenedor/conducto inferior, mientras que los envases se deslicen hasta llegar a una nueva sección de la cinta transportadora. Aún así, antes de pasar a su procesamiento definitivo, los envases serán sometidos a un nuevo proceso de lectura RFID para asegurar al máximo que ninguna de las etiquetas RFID son procesadas junto con su envase.

Fase 4. Reciclado de los envases y de las etiquetas RFID.

Al finalizar este proceso, cada tipo de envase será sometido a reciclaje, bien en la misma planta de selección, bien previo traslado a la planta correspondiente.

Del mismo modo, las etiquetas RFID serán enviadas a las plantas correspondientes para el reciclado de sus materiales y posterior fabricación de nuevas tarjetas RFID.

Fase 5. Implantación de políticas de compensación o penalización.

Al permitir este sistema la identificación del ciudadano en el momento del uso de los contenedores, esto facilita a las administraciones aplicar gratificaciones o sanciones según se desee en función del uso del sistema de reciclaje.

A modo de ejemplo, se podría implementar una política en la que el ciudadano cargara con el coste que supone el uso de etiquetas RFID para la identificación de los envases, que según hemos estimado nunca excedería los 5 centimos de euro por etiqueta. Esta cantidad sería recaudada en el momento de la compra del producto a modo de “impuesto”.

Los establecimientos de venta de estos productos deberían devolver este dinero al estado de forma similar a como se hace con el I.V.A..

El ciudadano sólo podría recuperar el dinero que pagó por el uso de este sistema de identificación por cada uno de los envases que depositara en el contenedor correspondiente. Recordemos que esta identificación ya está prevista al necesitar el ciudadano identificarse con una tarjeta NFC para hacer uso del contenedor. Mediante un sencillo sistema GPRS todos los datos de los contenedores serían enviados a una

serie de servidores para que así la administración pudiera valorar el dinero a devolver a cada ciudadano.

De esta manera el ciudadano se ve incentivado a realizar una separación eficiente de los residuos en origen y penalizado en caso contrario ya que vería incrementado el coste de su cesta de la compra. Y si bien es cierto que unos pocos céntimos de euro por envase no es una gran cantidad, teniendo en cuenta el número de envases que se usan en la actualidad, el montante total puede no ser nada despreciable.

5. Conclusión.

Al no haber podido experimentar el sistema es imposible obtener una valoración de su efectividad.

A modo de conclusión si nos gustaría exponer que este es un sistema que emplea una tecnología hoy por hoy disponible y cuya implementación práctica, por tanto, supondría una mínima inversión por parte de las administraciones públicas que se aplicaría en la adecuación de los contenedores de recogida de envases ligeros y en el sistema informático de gestión de la información generada.

Además de todo lo anteriormente expuesto, este sistema animará en última instancia a la ciudadanía, al verse ahora en cierto modo obligada a reciclar por el coste económico que se derivaría de no hacerlo, a optar por adquirir la menor cantidad de productos envasados posibles, otro de los objetivos propuestos y que también inciden en la reducción de la producción de residuos.

Tablas.

No se adjuntan ya que no ha sido posible realizar una cuantificación del proyecto.

Figuras.

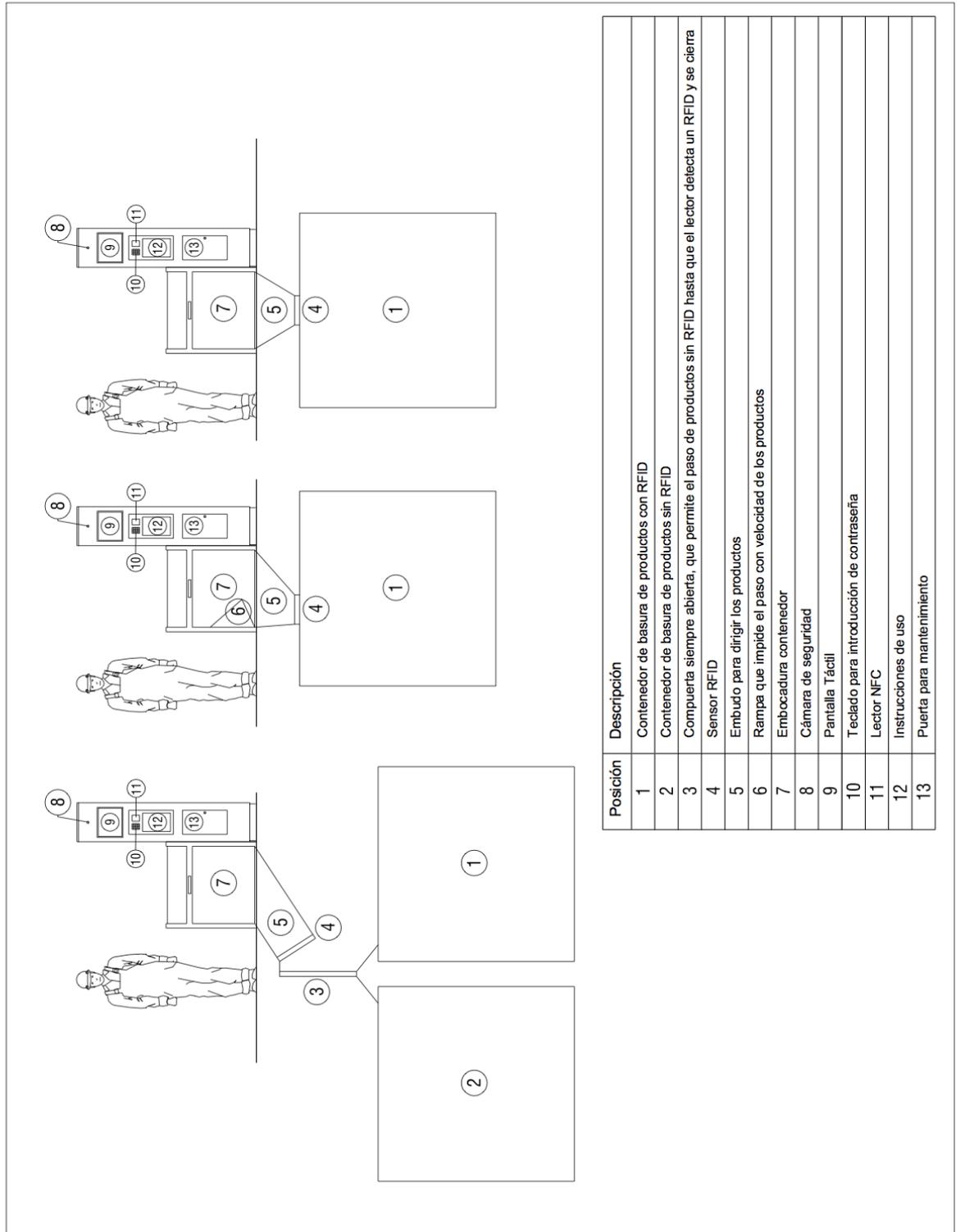


Figura 1. Modelos de contenedores soterrados para recogida de envases ligeros.

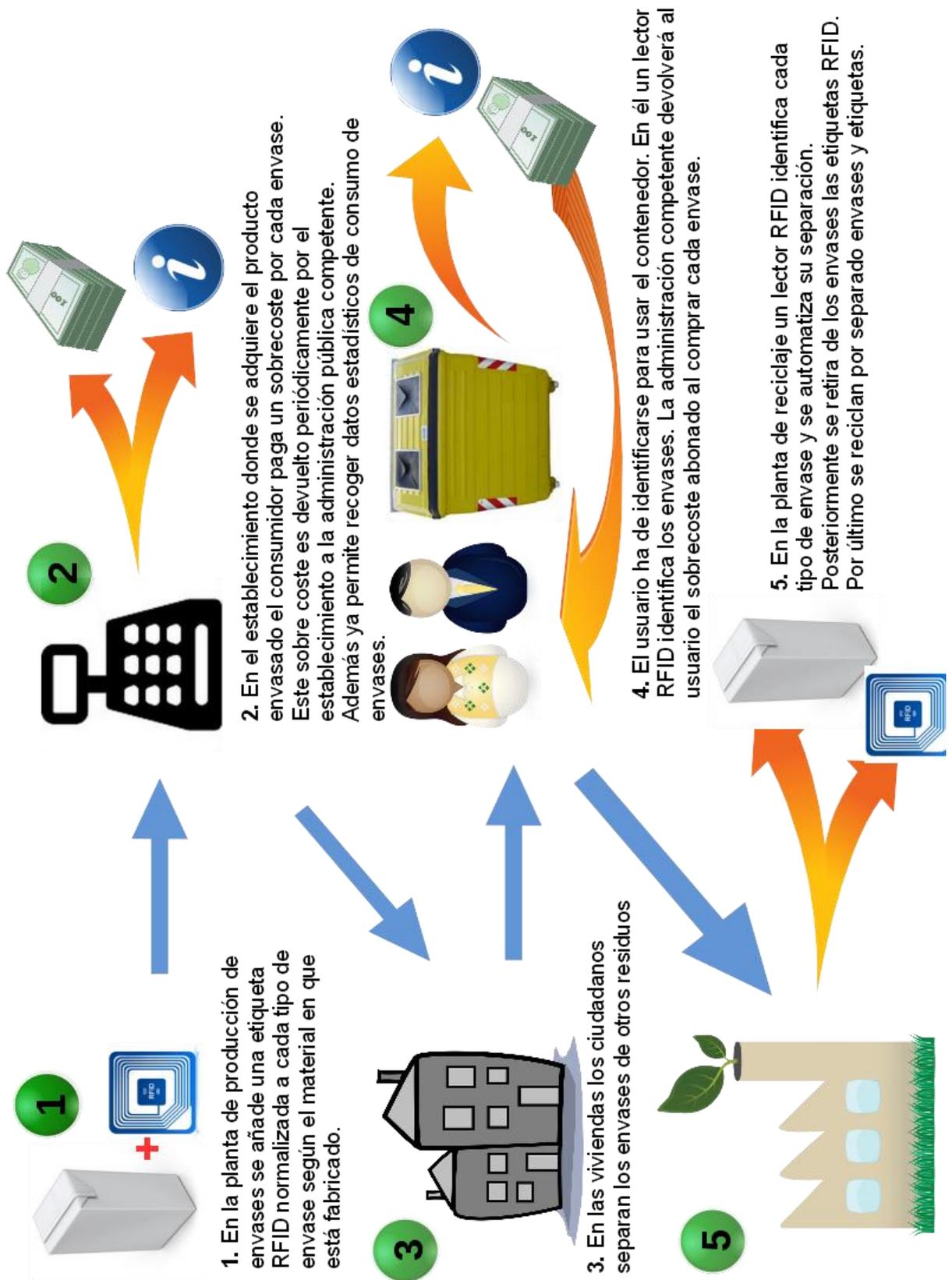


Figura 2. Esquema gráfico del funcionamiento del sistema.

Anexo. Protocolos RFID UHF y NFC.

Estándares básicos

El tipo de lectores y etiquetas RFID más conveniente para la gestión de RSU es UHF: su ubicuidad, pequeño tamaño, muy bajo coste, y un alcance de lectura adecuado lo determinan así. Por legislación, hay varias bandas UHF para RFID dependiendo de la zona geográfica. En Europa, los sistemas RFID que trabajan en UHF están en torno a los 860-870 MHz.

Las etiquetas integradas en los productos son pasivas, lo que significa que requieren un aporte de energía de un lector activo para funcionar; las etiquetas no necesitan de ninguna clase de batería integrada. Por ello, se necesita equipamiento especial en el lector RFID. La alternativa, usar un receptor pasivo y una etiqueta activa, resultaría en costes exorbitados y no se puede implementar de manera práctica.

El alcance máximo de un sistema RFID UHF con etiqueta pasiva es de alrededor de 12 metros.

Los estándares ISO 18000-6 son recomendaciones para etiquetas RFID de banda UHF. El protocolo estándar que se usa para comunicarse con etiquetas RFID *pasivas* es el GS1 Gen2. (GS1. EPC UHF Gen2 Air Interface Protocol. E.E.U.U.: Wellcome to GS1: The Global Language of Business. <http://www.gs1.org/epcrfid/epc-rfid-uhf-air-interface-protocol/2-0-1>)

Para la lectura del DNI electrónico se utiliza un lector NFC. La tecnología NFC es una adaptación de RFID HF con características especiales. Los estándares más relevantes, entre otros, son los ISO/IEC 7816, ISO 14443, e ISO 18000-3.

La tecnología NFC requiere distancias mucho más cortas que las de RFID UHF para leerse, en torno a un máximo de 20 centímetros. Por esta razón, el receptor NFC debe de colocarse en un punto accesible al usuario, permitiéndole usar las funcionalidades de su DNI electrónico.

Costes de RFID UHF y NFC

Las etiquetas RFID UHF se benefician de la fabricación a gran escala. Existen ya etiquetas por debajo de los 10 céntimos, un coste asumible para prácticamente todos los productos. La tecnología continuará abaratándose en años venideros, lo que supondrá una reducción del coste para las empresas.

El precio de los lectores activos RFID UHF oscila entre los 200 y los 500 euros (Stronglink Technology Co. Ltd. (2017). Stronglink: Módulos RFID. http://www.stronglink-rfid.com/es/rfid-modules.html?gclid=CIGR7p-_gdMCFRXgGwodsdQFPQ), un precio mucho mayor que, por ejemplo, el de un lector HF. Su acomodación dentro del contenedor y protección de agentes externos, como agentes meteorológicos o vandalismo, supone costes adicionales.

Un lector NFC cuesta menos, en torno a los 50 euros en muchos casos. Requiere, al igual que el sistema UHF, acomodaciones extra, así como señalización en la carcasa para acercar el DNI.

Seguridad

Es necesario que la privacidad y seguridad en comunicación RFID sea importante en este tipo de sistemas (con seguridad como la señalada en [ISO/IEC 29167](#) (ISO. ISO/IEC 29167-1:2014 – Information Technology – Automatic identification and data capture techniques. <https://www.iso.org/standard/61128.html>). Dada la implementación de este sistema de gestión de residuos, existen incentivos económicos para engañar al sistema. Si el sistema de gestión reporta beneficio económico a quien recicle más, entonces habrá interés en derivar ganancias de

manera ilícita. Si, por el contrario, el sistema de gestión impone multas, el uso malicioso puede ser una forma de provocar daños económicos a otras personas. Por estos motivos se debe de tener la seguridad en tan alta estima.

Seguridad en el canal

AES es el sistema criptográfico más implementado en RFID, pero tiene una clave simétrica que debe de enviarse de manera segura. Esto puede ser llevado a cabo mediante algoritmos como Diffie-Hellman.

También pueden usarse sistemas criptográficos asimétricos, con sus ventajas y desventajas. Existen implementaciones de criptografía Rivest-Shamir-Adleman (RSA). La criptografía de curva elíptica (ECC) también ha sido probada con éxito en etiquetas RFID y, aunque demanda más potencia computacional que los criptosistemas simétricos, es relativamente eficiente frente a RSA.

A efectos de seguridad, los criptosistemas asimétricos son marginalmente más seguros, pero las condiciones del escenario al que nos enfrentamos (comunicación con gran número de etiquetas en poco tiempo), así como el estatus experimental de la criptografía de curva elíptica, son una razón de peso para implementar AES en este proyecto. Una modificación de AES, con intercalado de peticiones a varias etiquetas, permite un máximo de 50 conexiones autenticadas por segundo, algo que sin duda resulta necesario para gestionar grandes cantidades de residuos con rapidez.

Se debe de tener en cuenta una debilidad importante de AES: extraer la clave privada de uno de los interlocutores en la comunicación RFID (sea la etiqueta o el lector) implica romper el cifrado en ambos, ya que la clave es la misma en los dos.

Autenticación

Los criptosistemas simétricos y asimétricos, como AES o RSA, no controlan la autenticación de un usuario, sino que necesitan mecanismos adicionales para ello; es decir, saber de alguna forma que la etiqueta de verdad está intentando comunicarse con el lector, y no una clonada. Los ataques *Man-in-the-Middle* (MitM) son fáciles de preparar y pueden tener consecuencias desastrosas si no se hace un buen trabajo en la autenticación de las etiquetas y lectores.

Este riesgo de clonado es inaceptable; se debe lidiar con él. Una [solución apropiada](#) (RFID Journal (2016). How Can We Prevent RFID Tag Clonning? – Ask The Experts Forum. <http://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?11664>) para autenticar etiquetas RFID es el uso de *physical unclonable functions* (PUFs), integradas en la etiqueta. Una PUF es prácticamente imposible de clonar en otro dispositivo, lo que permite una autenticación muy segura de las etiquetas si se manejan bien las claves generadas.

Cuando RFID UHF o NFC fallan

Es inevitable que estas tecnologías acaben fallando, sean insuficientes, o no se puedan usar en toda su capacidad en una situación dada.

Sería recomendable utilizar identificación electrónica, pero la adopción del DNle no es total. Es evidente que **algún otro sistema de identificación debe de estar disponible**. Por ejemplo, una terminal con teclado numérico y pantalla supondría una alternativa práctica y fácil de usar a NFC.

Detectar que todos los residuos, uno por uno, tengan identificación RFID no es práctico. Lo que se intenta no es llevar un control total sobre los residuos, sino en mejorar los hábitos de reciclaje y la eficacia de gestión de RSU gradualmente. Por ello, **no se debe impedir que residuos sin etiqueta RFID sean introducidos en el sistema**. Los incentivos o multas dependen de un reciclaje correcto, no de la proporción de productos etiquetados.

Referencias.

GS1. EPC UHF Gen2 Air Interface Protocol. E.E.U.U.: Wellcome to GS1: The Global Language of Business. <http://www.gs1.org/epcrfid/epc-rfid-uhf-air-interface-protocol/2-0-1>

Stronglink Technology Co. Ltd. (2017). Stronglink: Módulos RFID. http://www.stronglink-rfid.com/es/rfid-modules.html?gclid=CIGR7p-_gdMCFRXgGwodsdQFPQ

ISO. ISO/IEC 29167-1:2014 – Information Technology – Automatic identification and data capture techniques. <https://www.iso.org/standard/61128.html>

RFID Journal (2016). How Can We Prevent RFID Tag Cloning? – Ask The Experts Forum. <http://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?11664>