



Envasado inteligente

Tecnología de los alimentos

Universidad de Alicante

Autor: Daniel Fresnillo Genafo
Tutor: Alfonso Jiménez Migallón



Resumen

La tecnología RFID tiene muchas funciones, entre ellas está la función de trazabilidad, además de esto, las etiquetas inteligentes RFID permiten ser leídas de forma múltiple y sin necesidad de lectura directa por parte de un trabajador. El rango de lectura de estas etiquetas varía dependiendo de si son activas, pasivas o semi-pasivas. Esta tecnología permite controlar el producto al que está adherido desde su empaquetado hasta el consumidor. Por lo tanto, otorga ventajas logísticas, económicas y de tiempo a toda la cadena de suministro que la maneja. También es sabido que el control de condiciones como el tiempo y la temperatura del alimento además del estado del envasado y del propio alimento, son una ventaja tanto para el productor como para el consumidor del alimento. Actualmente uno de los problemas que disuade a los productores de adoptar esta tecnología es la falta de privacidad del sistema RFID y por otro lado surge el inconveniente del alto precio que aún tienen las etiquetas para llegar a resultar más atractivo tanto para productores como para clientes.

De otra parte encontramos cierta gama de indicadores de tintas reactivas a ciertos compuestos procedentes del alimento que también van a jugar un papel importante en el mapa de los envasados inteligentes.

Abstract

RFID technology has many functions, including the traceability function, in addition to this, RFID smart tags can be read in multiple ways and without the need for direct reading by a worker. The reading range of these tags varies depending on whether they are active, passive or semipasive. This technology allows to control the product to which it is adhered from its packaging to the consumer. Therefore, it grants logistical, economic and time advantages to the entire supply chain who manages it. It is also known that the control of conditions such as the time and temperature of the food in addition to the state of the packaging and the food itself are an advantage for both the producer and the consumer. Currently one of the problems that discourages producers from adopting this technology is the lack of privacy of the RFID system and on the other hand arises the inconvenience of the high price that still have the labels to become more attractive for both producers and customers . On the other hand we find a certain range of indicators of reactive inks to certain compounds from the food that will also play an important role in the mapping of intelligent packaging.

Introducción

La RFID es una tecnología inalámbrica y de captura automática de datos que utiliza ondas de radio para alimentar etiquetas o tags. El objetivo es que una vez alimentada la etiqueta devuelva al lector la información alojada en ella. Existe desde el año 1939, tiene múltiples usos. En la Segunda Guerra Mundial, el ejército británico la usaba para identificar a sus aviones en la batalla. A diferencia del código de barras, no es necesaria la presencia de un trabajador que capture el código sino que se puede leer de forma simultánea la información de múltiples productos que lleven adheridos una etiqueta RFID (incluyen microchip con memoria y antena), de frecuencias altas o intermedias.

Las etiquetas de este tipo se clasifican según su distancia de lectura: pasivas (hasta 1-5m), de coste económico más reducido, y activas (30-50m), de coste más elevado. Cada etiqueta tiene un código único, en ocasiones pueden ser regrabadas. Entre otros usos, encontramos el de localización y seguridad de los productos con estas etiquetas incorporados en su embalaje. Es sabido que esta tecnología está presente, en la actualidad, en muchas plantas de procesado logístico en ámbitos distintos del de la nutrición.

Objetivos

- Esclarecer hasta qué punto va a ser útil en la industria alimentaria la tecnología de las etiquetas inteligentes RFID.
- Dilucidar si económicamente es viable la utilización de esta tecnología o si, por el contrario, sería más conveniente el uso de otras tecnologías (Indicadores y sensores varios), que también estudiaremos en este documento.
- Averiguar si sería interesante el uso de las etiquetas de tintas conductivas y otros indicadores y sensores en el envasado de alimentos y que utilidad tendría esto.

Metodología

Para realizar esta revisión, nos hemos basado en la búsqueda de las palabras clave “smart” AND “packaging” principalmente en la base de datos de Pubmed. La mayoría de los artículos los hemos encontrado disponibles en este lugar web. En algunos casos, solo estaba disponible el abstract del artículo, puesto que hemos acudido al motor de

búsqueda Google, hemos introducido el título del artículo en cuestión y hemos chequeado una por una las webs localizadas para conseguir el artículo de forma libre.

Desarrollo

El envasado inteligente es un envasado sensitivo capaz de percibir las propiedades del alimento, incluyendo las del entorno. Está capacitado para informar al fabricante, al minorista y al consumidor sobre el estado del producto. El envasado inteligente puede usarse para comprobar la efectividad e integridad de los sistemas de envasado activo (Hutton,2003). Estos sistemas inteligentes, se encargan de monitorizar la condición del empaquetado durante el transporte y almacenaje (Ahvenainen,2003).

Encontramos distintas funciones del envasado inteligente en la industria alimentaria: pruebas de manipulación del envase, indicadores de la seguridad/calidad del producto, dispositivos de trazabilidad antirrobo, autenticidad de producto, rotura del envase de contención, indicadores de tiempo-temperatura, dispositivos detectores de gas, crecimiento microbiano y detección de patógenos, etiquetas de radiofrecuencia (RFID) y chips, imágenes holográficas, símbolos, diseños ocultos en elementos impresos.

Existen diversos sistemas del empaquetado de productos cárnicos (Kerry *et al.*, 2006):

Sensores

Un sensor se define como el dispositivo usado en la detección, localización y cuantificación de la energía o materia, emitiendo una señal o medida de propiedades físicas o químicas a las cuales el dispositivo responde (Kree-Rogers,1998a). Una vez captada la información, los receptores se limitan a transmitirla (Kerry *et al.*, 2006).

Estos dispositivos generalmente se conciben con la idea de ser incorporados al envase de atmósfera modificada (MAP) y al envasado al vacío. El empaquetado al vacío es una técnica muy importante y extendida en la distribución y almacenaje de productos cárnicos (Sivertsvik, Rosnes, & Bergslien, 2002). Esta técnica está basada en la modificación de gases como el oxígeno y el dióxido de carbono dentro del envase de la carne, con la intención de alargar su vida útil. El nivel de estos gases nos va a servir como indicador del estado de la carne. El perfil gaseoso del producto estará influenciado por el tipo de producto, respiración, el material de empaquetado, el tamaño del paquete, volumen, condiciones de almacenaje, integridad del paquete (Kerry *et al.*, 2012).

Por otra ocasión, se realizó un ensayo de un sensor óptico, que ofrece una alternativa realista a los métodos convencionales (Peterson, Fitzgerald, & Buckhold, 1984).

La posibilidad de desarrollar un sensor para la cuantificación rápida de un indicador de este tipo, se conoce como el enfoque del marcador (Kress-Rogers,2001). Los transductores principales con potencial para uso en el empaquetado de carne, incluye dominios de señal eléctrica, óptica, térmica o química (Kress-Rogers,1998a).

Los usos prácticos de los sensores en la industria cárnica continúan siendo muy limitados, si bien se han dado algunos pasos para intentar expandir su uso (Kerry & Papkovsky,2002). Este estancamiento se debe al alto desarrollo, los altos costes, rigurosas especificaciones industriales, consideraciones de seguridad y demanda del producto relativamente baja de esta tecnología en el sector del envasado alimentario en comparación con el sector biomédico. Muy pocos sistemas han encajado con los estándares requeridos para una aplicación exitosa. Se busca que la tecnología se transfiera en algún momento del sector químico y biomédico al del empaquetado de alimentos (Kerry *et al.*, 2006).

Los sensores de gas son dispositivos que responden reversible y cuantitativamente a la presencia del gas que se produce por el cambio físico en los alimentos que son detectados por el sensor y monitorizados por un dispositivo externo. En el mercado existen distintos sensores de gas como los sensores anemométricos de oxígeno, sensor potenciómetro de dióxido de carbono, transistores de efecto de campo semiconductor de óxido metálico, polímeros conductores orgánicos y sensores de cristal piezoeléctricos (Kress-Rogers,1998b). Estos sensores incluyen factores tales como consumo de analito, de oxígeno, sensibilidad cruzada a CO₂ y sulfito de hidrógeno y abordaje de sensores de membrana (Gnaiger & Fortsner,1983).

Los sensores ópticos se han ido desarrollando estos últimos años en distintos documentos (Papkovsky,Ponomarev, Trettnak & O'Leary, 1995; Thompson & Lakowicz, 1993; Trettnak *et al.*, 1995). Estos sensores están hechos de un material sólido, cuya función principal está basada en el principio de cambios en la luminiscencia y absorbancia causada por el contacto directo con el analito. Esta técnica se clasifica dentro de las no invasivas para el análisis de gas a través de materiales translúcidos con potencial para incorporarse a las aplicaciones de envasado inteligente (Kerry, 2012).

Los sensores opto químicos tienen el potencial para aumentar la calidad de los sistemas de control, a través de la detección del deterioro de los productos, o por la contaminación microbiológica con la detección de la formación de gases como el sulfito de hidrógeno, el dióxido de carbono o las aminas (Wolfbeis & List, 1995). Este tipo de sensores tienen un sistema indicador de fluorescencia basado en el pH (Wolfbeis, Weis, Leiner, & Ziegler, 1988), la absorción basada en colorimetría sensitiva a través del indicador visual (Mills, Qing Chang, & McMurray, 1992) y un enfoque de transferencia de energía utilizando la detección fluorométrica de fase. Esta última permite la posibilidad de combinar mediciones de oxígeno y dióxido de carbono en un único sensor a través de la compatibilidad con la previamente desarrollada tecnología de sensibilidad al oxígeno. Los sensores para dióxido de carbono todavía están en proceso de desarrollo para las aplicaciones de envasado alimentario (Kerry & Papkovsky, 2002).

Los sensores en materiales de soporte microporoso (Papkovsky, Ovchinnikov, Ogurtsov, Ponomarev, & Korpela, 1998) también proporcionan un número único de características para aplicaciones especiales incluyendo las aplicables a los sistemas de empaquetado de alimentos. Materiales como poliamida, polietileno tereftalato y PVC no son adaptables a los sensores de oxígeno. El uso de polímeros plastificados tampoco es adaptable a este uso por el alto potencial de migración del plástico. El proceso de fabricación involucra un proceso simple de disolución del tinte indicador lipofílico y el polímero en un disolvente orgánico. Los sensores, normalmente tienen 1-2 cm de diámetro, están coloreados (a través del tinte) y son fácilmente visibles en distintos materiales de apoyo (Kerry *et al.*, 2006).

Toxicidad intrínseca

Los sensores materiales como tintes, polímeros, disolventes residuales y aditivos son la causa principal de preocupación en términos de toxicidad potencial. La cantidad requerida para elaborar un envase sensitivo individual es menor de 1mg, del cual el polímero encapsulado representa más del 95%. La cantidad de tinte por sensor varía: la mayoría de los tintes tienen un nivel de toxicidad muy por debajo de los límites de toxicidad (O' Rieran, Voraberger Kerry, & Papkovsky, 2005), examinada la migración de componentes activos de dos tintes sensitivos al oxígeno de metalporfirinas y uno de rutenio, se estableció su estabilidad, seguridad y ajustabilidad a gran escala en el uso del envasado de alimentos (Kerry & Butler, 2008).

En otras publicaciones se ha analizado la efectividad de los sensores de oxígeno en empaquetado de carne (Fitzgerald *et al.*, 2001) examinando el potencial del platino en sensores de oxígeno como sistema de control de calidad en carne empaquetada al vacío cruda y cocida y en envases de aluminio de jamón loncheado. El contacto directo de los sensores con la comida proporcionó información exacta de los perfiles de oxígeno a lo largo del tiempo y bien correlacionada con el análisis del interior del envase convencional.

Smiddy, Papkovskaia, Papkovsky & Kerry (2002) usaron sensores de oxígeno para examinar los efectos de la concentración residual de oxígeno en la oxidación de lípidos ambos en condiciones anaeróbicas en empaquetado de aluminio y en envasado al vacío de pollo cocido y crudo y ternera cruda (Smiddy *et al.*, 2002).

Papkovsky, Smiddy, Papkovskaia, & Kerry (2002) usaron sensores de oxígeno para medir el contenido de oxígeno en el interior del envasado de jamón loncheado. Se tomaron mediciones exactas bajo condiciones de luz ambiente, en contacto directo con el producto y bajo condiciones de variación significativa de temperatura. A pesar de que el sensor demostró menos cambios en la calibración como resultado del contacto físico directo con la superficie de la carne durante un tiempo prolongado, estos efectos fueron minimizados por medio de la optimización de materiales del sensor (Kerry *et al.*, 2006).

O'Mahony *et al.* (2004) usaron sensores de pintura fluorescente directamente en el material del empaquetado de lasaña de ternera cocinado al estilo "sous vide".

Los sensores de oxígeno fluorescente son útiles detectando elevados niveles de oxígeno en empaquetado de aluminio y envasado al vacío de productos cárnicos (Papvosky *et al.*, 2002; Smiddy *et al.*, 2002). Se ha estimado que a día de hoy debería costar menos de un céntimo su producción (Kerry & Papkovsky, 2002) e impactar mínimamente en los costes del empaquetado de carne (Kerry, 2012).

Oxysense® es el primer sensor de oxígeno fluorescente comercializado, disponible para medición del interior del envase o del oxígeno disuelto en envases transparentes o semitransparentes de envasados sellados. El sistema (O₂xyDot™) una vez metido en el envase antes de llenarlo con el alimento, no daña a este, es rápido (menos de 5s en tomar las medidas) y resistente a temperaturas del pasteurizado sin perder sensibilidad (Kerry & Butler, 2008).

Biosensores

Estos indicadores están destinados al uso en alimentos frescos. Se encargan de detectar, grabar y transmitir información de las reacciones biológicas (Yam, Takhistov, & Miltz, 2005).

Estos dispositivos constan de un biorreceptor específico para analizar y transducir para convertir la señales biológicas en una respuesta eléctrica cuantificable. Los receptores son materiales orgánicos como enzimas, antígenos, microbios, hormonas y ácido nucleico. Un análisis de detección de patógenos y seguridad de sistemas para el envasado de comida sugiere que esos biosensores ofrecen una posibilidad en auge para el futuro (Alocilja & Radke, 2003).

La mayoría de los biosensores disponibles no son capaces todavía de ser comercializados en el sector alimentario. Los siguientes biosensores sí que están comercialmente disponibles. Toxinguard™, desarrollado a partir de Alerta Toxina (Ontario, Canadá), es un sistema de diagnóstico que incorpora anticuerpos en la base de polietileno plástica del empaquetado y es capaz de detectar *Salmonella* sp., *Campylobacter* sp., *E. coli* 0517 y *Listeria* sp. (Bodenhammer, 2002; Bodenhammer, Jakowski, & Davies, 2004). El Sistema del Centinela de la Comida™ (SIRA Technologies, California, USA) es un sistema de biosensor capaz de detectar de forma continua la contaminación mediante las reacciones inmunológicas que suceden en una parte del código de barras. Este código es ilegible en presencia de contaminación bacteriana (Kerry *et al.*, 2006).

Indicadores

Estos sistemas reaccionan a la presencia de alguna sustancia o a la combinación de estas, normalmente por medio de un cambio de color visible. A diferencia de los sensores, no poseen un receptor o un transductor para comunicar la información (Kerry *et al.*, 2006).

Indicadores de integridad

Otra alternativa es la de los indicadores no invasivos como parte del envasado de aluminio. Estos sistemas a menudo proveen información cualitativa o semicuantitativa a través de los cambios visuales de colorimetría o a través de comparación con referencias de estándares. La causa más común asociada a daños en la integridad del plástico

flexible en los paquetes suele estar asociada a fugas del sellado (Hurme, 2003). Algunos de estos sistemas tienen la desventaja de que requieren material específico, tiempo de muestreo lento e incapacidad para detectar fugas que son penetrables por los patógenos (Hurme & Ahvenainen, 1998; Stauffer, 1988).

Además, cabe destacar que la mayoría de la comida es empaquetada con una atmósfera baja en oxígeno (0-2%). Muchos indicadores de oxígenos consisten principalmente en el uso de tintes redox patentados (Davies & Gardner, 1996; Krumhar & Karel, 1992; Mattila-Sandholm, Ahvenainen, Hurme, & Järvi-Kääriänen, 1995; Yoshikawa, Nawata, Goto, & Fujii, 1987). Estos dispositivos han sido testeados como indicadores de fuga en empaquetado de aluminio en carne picada y en carne picada para pizza y se comprobó que eran seguros (Ahvenainen *et al.*, 1997; Eliamo *et al.*, 1995). Las desventajas que tienen estos dispositivos son: alta sensibilidad (0.1% de concentración de oxígeno requerida para que los indicadores cambien de color ya que son sensibles a oxígeno residual en envases de aluminio) y reversibilidad (indeseables donde el aumento de oxígeno debido a una fuga se consume durante el crecimiento microbiano subsiguiente. Algunos de estos dispositivos ya han sido comercializados como uno de los indicadores, específicamente designado para envasado de aluminio de alimentos, en adición a la tinta sensible a oxígeno, un componente absorbente de oxígeno, ilustración activa y envasado inteligente en un mismo sistema (Mattila-Sandholm, Ahvenainen, Hurme, & Järvi-Kääriänen, 1998). Los nombres concretos de estos dispositivos son, por ejemplo, Ageless Eye®, Vitalon®, y SamsosChecker® (Smolander, Hurme, & Ahvenainen, 1997).

En otro lugar, un indicador visual de dióxido de carbono basado en hidróxido de calcio (absorbente de dióxido de carbono) y un indicador de tinta redox incorporado en polipropileno fueron descritos por Hong & Park (2000) y son aplicables a ciertos tipos de empaquetado (Kerry & Butler, 2008).

Indicadores de frescura

Este sistema se basa en la detección de metabolitos y sustancias propias de cambios en el estado de la carne para alertar de posibles peligros. Cambios en la concentración de ácidos orgánicos como el n-butilato, L-ácido láctico, D-lactato y ácido acético durante el almacenaje, otorgan cierto potencial como indicador de metabolitos para muchos productos cárnicos (Shu, Håkanson, & Mattiason, 1993). Indicadores por

cambio de color basado en el pH ofrecen potencial para su uso en detección de estos metabolitos microbiológicos (Kerry *et al.*, 2006).

El etanol, al igual que el ácido láctico y el ácido acético, es un importante indicador del metabolismo fermentativo del ácido láctico bacteriano. Randell *et al.* (1995) describieron un incremento de concentración de etanol en condiciones anaeróbicas de pollo marinado envasado en aluminio como resultado del tiempo de almacenado (Kerry, 2012).

Las aminas biogénicas están implicadas como indicadores de la descomposición de la carne (Kaniou, Samouris, Mouratidou, Eleftheriadou, & Zantopolous, 2001; Okuma, Okazaki, Usami, & Horikoshi, 2000; Rokka, Eerola, Smolander, Alakomi, & Ahvenainen, 2004). Los sistemas de detección han sido descritos por Miller, Wilkes, & Conte (1999), y Loughran & Diamond (2000) quienes procuran una base importante para el desarrollo comercial de estos sistemas.

Freshtag® es un sistema basado en etiquetas indicadoras que cambian de color reaccionando a aminas volátiles producidas durante el almacenaje de pescado y otros productos de origen marino (Kerry *et al.*, 2006).

El dióxido de carbono producido durante el crecimiento microbiano, puede ser en muchas ocasiones, indicativo de deterioro. En el envasado de aluminio de productos cárnicos contienen alta concentración de CO₂ (20-80%), indicador de crecimiento microbiano, lo cual es problemático; de todas formas, el uso de tintes indicadores de pH podrían ser útiles en otros sistemas de envasado de carne (Kerry *et al.*, 2006).

El sulfito de hidrógeno es otro de los productos indeseados que se producen en el deterioro de los productos cárnicos. Su indicador está basado en un sistema de detección de mioglobina para indicar la frescura de productos no marinados para hacer a la parrilla (Smolander *et al.*, 2002). El indicador no fue afectado por la presencia de nitrógeno o dióxido de carbono y tiene un gran potencial (Kerry *et al.*, 2006).

A día de hoy, aún hay muchos aspectos que perfeccionar en los indicadores por cambio de color. Uno de estos aspectos es la falta de especificidad a la hora del cambio de color indicando contaminación. Esto puede ocurrir en productos libres de deterioro microbiológico. La presencia de los metabolitos objetivo no es necesariamente un indicativo de mal estado. Las correlaciones más exactas aparecen necesariamente entre

metabolitos objetivo, tipo de producto y seguridad y calidad organoléptica. La posibilidad de falsos negativos disuaden a los productores de adoptar estos indicadores a no ser que la especificidad de detección de deterioro pueda ser garantizada (Kerry *et al.*, 2006).

Indicadores de tiempo temperatura

Los indicadores de tiempo temperatura son útiles para informar sobre el historial total o parcial del producto alimentario al cual está ligado (Tauques & Labuza, 1989). Los indicadores a tiempo parcial no responden a menos que el límite de temperatura establecido haya sido excedido e indique que el producto ha sido expuesto a temperaturas lo suficientemente altas como para haber podido causar cambios en la calidad y seguridad del mismo. Los indicadores a tiempo total proporcionan continuamente información relativa a la temperatura creando un historial de todo su paso y constituyendo el mayor interés de los investigadores de cara a su comercialización (Kerry & Butler, 2008).

Básicamente, los TTIs son pequeñas etiquetas que mantienen el seguimiento del historial tiempo-temperatura lo cual, para productos perecederos se realiza desde su elaboración hasta el punto de venta o el consumidor final (Fu & Labuza, 1995). Otro factor importante en los TTIs es que sean de bajo coste, pequeños, de confianza y de fácil acoplamiento al envasado. Los controladores TTIs deben ser también flexibles, robustos, no tóxicos, seguros y buenos transmisores de información. Los TTIs comercializados actualmente incluyen un número de difusión, enzimático y sistemas basado en polímeros, todos ellos con gran potencial en el sector del envasado cárnico (Kerry, 2012).

Otro dispositivo es el 3M Monitor Mark®. Es un indicador dependiente de difusión de éster de ácido graso coloreado a través de un fino papel poroso absorbente. La respuesta del sensor dependerá del tipo y concentración del éster (Kerry *et al.*, 2006).

Por otro lado, encontramos el sensor basado en difusión: Freshness Check®. Este sensor funciona de la manera siguiente: se produce un cambio de luz a causa del cambio de temperatura en la matriz porosa y provee una respuesta visual (Kerry *et al.*, 2006).

Un ejemplo de sensor *TTIs enzimático* es el VITSAB® TTI. Se basa en un cambio de color inducido por una bajada del pH resultante de la hidrólisis enzimática controlada

del sustrato de lípidos. Este indicador consta de dos partes separadas, una que contiene una solución acuosa de enzimas lipolíticas y otra que contiene sustrato de lípido suspendido en un medio acuoso y un indicador de pH mezclado. La activación del indicador se produce cuando las dos partes se unen. El color del indicador pasa de verde oscuro a amarillo brillante (Kerry *et al.*, 2006).

Un indicador *basado en polímero TTIs* es el Lifelines Freshness Monitor® y Fresh-Check TTIs están basados en reacciones de polimerización dependientes de temperatura. Los cambios en la reflectancia pueden ser medidos por escáner de barrido con laser óptico. La versión del consumidor del Fresh Check® usa una etiqueta circular en la cuál el color del interior del círculo se compara con el exterior de este para establecer el estatus (Kerry *et al.*, 2006).

Aspectos como el coste están teniendo influencia a la hora de introducir en el mercado estos sensores. Actualmente se calcula que cada TTI tendría un coste de entre 0.02 y 0.20 dólares por unidad (Taoukis & Labuza, 2003). Las etiquetas VITSAB Check Point® cuestan uno 0.10 dólares por unidad. Dadas las economías en escala, la relación coste-beneficio debería favorecer la expansión del uso de los TTIs. La confianza en los TTIs ha sido subestimada de alguna forma por la insuficiencia de datos de apoyo. Una de las mayores barreras que tienen estos sistemas para su expansión comercial es su aplicabilidad. La relación entre la temperatura y la calidad de los alimentos no ha sido probada suficientemente, dando resultados distintos en alimentos similares. Para que la aplicación de los TTIs sea exitosa, la respuesta del sensor tiene que corresponder con el estado del alimento. Un conocimiento profundo del comportamiento de pérdida de vida útil de un sistema alimentario basado en modelos cinéticos precisos es esencial (Taoukis & Labuza, 2003).

Yoon, Lee, Kim, & Park (1994) mostraron una correlación positiva entre la estabilidad oxidativa y el cambio de color en el TTI usando un TTI basado en fosfolípido/fosfolipasa en cerdo congelado. Smolander, Alakomi, Ritvanen, Vainionpää, & Ahvenainen (2004) & Vainionpää *et al.* (2004) determinaron la aplicabilidad de VITSAB®, Fresh-Check®, y 3M Monitor® TTIs para monitorizar la calidad de cortes para brasa en envasado de aluminio a diferentes temperaturas y en comparación con diferentes estándares de métodos analíticos, respectivamente (Kerry *et al.*, 2006).

Dentro de los sistemas de envase inteligente, uno de los que parece que vas a tener un impacto importante en la industria alimentaria es la tecnología RFID. Esta tecnología no está totalmente implantada en el sector a día de hoy por los motivos que iremos exponiendo. Además de esto, desarrollaremos sus principales características.

Uno de los aspectos que más preocupa a las empresas respecto al RFID es la posibilidad de que otras empresas puedan usar esta tecnología para espiarles. Esto se podría dar por el hecho de que la tecnología RFID transmite datos de forma inalámbrica, a diferencia de los códigos de barras, que necesitan una línea de contacto-visión directa para obtener información. Otro aspecto que conviene resaltar es el hecho de que, ya que las etiquetas RFID pueden leerse de forma simultánea, esto también significa que pueden colisionar las lecturas múltiples en el sistema. Además de esto, no existe garantía de que las etiquetas no continúen siendo leídas en los siguientes escaneos (Lee *et al.*, 2010).

Conceptos básicos de RFID

Un sistema RFID está compuesto por lectores y etiquetas, que también reciben el nombre de interrogadores y transpondedores. La división en categorías se suele hacer de la siguiente forma: activas y pasivas. Las etiquetas activas contienen una fuente de alimentación interna. Las etiquetas pasivas, normalmente, toman la energía de la señal del lector. Tiene que estar en el rango de acción del lector para poder funcionar. En cuanto a las radiofrecuencias en las que operan las etiquetas, las hay que funcionan con bandas de microfrecuencia de 2.4 GHz y por otro lado están las de ultra frecuencia (900MHz) que son las más comunes en los sistemas pasivos. Estas etiquetas son más potentes que las etiquetas de corto alcance, con una distancia operativa mayor, una tasa de transmisión de datos mayor y una antena más pequeña. La antena pasiva toma constantemente ondas de energía (Cts.) del lector. Un conversor de energía lo transforma en energía alterna a través de la antena. La etiqueta activa de RFID está normalmente asociada con corto-medio rango inalámbrico en la banda ISM como por ejemplo Bluetooth. Provee un servicio superior al de las etiquetas pasivas (Zou *et al.*, 2014).

La función básica de estas etiquetas es la de la trazabilidad. La trazabilidad puede ser dividida en tres tipos (Pérez-Aloe *et al.* 2007):

- 1) Trazabilidad del proveedor.

- 2) Trazabilidad interna o de proceso.
- 3) Trazabilidad del cliente.

La trazabilidad está compuesta de tres elementos (Vecina *et al.* (2005)):

- 1) Identificación unívoca de unidades y/o lotes.
- 2) Recopilación de información del tiempo y localización del transporte y transformación de cada lote.
- 3) Un método para transmitir este tipo de datos.

Según Jansen-Vullers *et al.* (2003):

- 1) Integridad física del lote, lo cual determina la finalidad de la trazabilidad.
- 2) Recopilación del trazado y procesado de datos.
- 3) Identificación del producto y vinculación de procesos.
- 4) Comunicado y recuperación de datos del sistema.

La principal función de la trazabilidad es que se pueda rastrear el lote o artículo durante todo el trayecto desde el proveedor hasta el minorista e incluso hasta el consumidor.

La tecnología RFID es capaz de satisfacer las nuevas necesidades que surgen, una de sus ventajas anteriormente mencionadas es la de la lectura de etiquetas de forma múltiple. Se ha registrado una tasa de lectura de 1000 etiquetas/seg. Un sistema típico de RFID incluye un lector que forma un campo electromagnético, además de etiquetas sin fuente de alimentación. Solo podrán ser leídas en la proximidad del lector el cual proporciona la energía necesaria. Cada etiqueta RFID tiene su número de identificación único y, dependiendo del tipo que sea, puede ser regrabable o no (Lee *et al.*, 2010).

Las características del RFID deben ser (Lee & Park 2008) :

- 1) Dinámico: los productos pueden ser mezclados con otros y obtener producto diferentes durante el procesado. Además del constante movimiento de datos que el concepto engloba de por sí.
- 2) Procedimental: los artículos irán dejando un rastro en diferentes puntos.

Requerimientos comunes que deben estar presentes en la cadena de distribución alimentaria (Kelepouris *et al.*, 2007):

- 1) Identificación del artículo: los artículos de la cadena de suministro deben tener un código de identificación única (Jansen-Vuller *et al.*, 2003; Moe, 1998; van

Dorp,2003). La sincronización de datos podría incrementar el precio del proceso y disminuir la calidad.

- 2) Proyecto de ley de lotes: proceso de producción que engloba una serie de actividades de transformación de materiales en crudo, partes, intermediarios y subconjuntos que forman el artículo completo. Si se ha registrado cada parte de la producción del alimento, entonces el producto final no necesita ser registrado de nuevo.
- 3) Observación del producto: se muestra tanto la composición del producto como su situación a lo largo de la cadena de suministro.

Un modelo de datos debe ser capaz de mostrar actividades y procesos (Kim *et al.*, 1995):

- 1) Integración del lote: Se integran varios lotes de producto de forma que se genera un lote de conjunto con un actor responsable del ensamblaje de la pre-integración y la post-integración.
- 2) División del lote: Se divide un lote de conjunto en varios lotes de producto de forma que se genera un actor responsable del ensamblaje de la pre-integración y la post-integración.

El sistema estructural

En la búsqueda de la estandarización de la red de RFID, EPCglobal lleva el liderazgo para habilitar el uso compartido de datos de productos electrónicos codificados relacionado con la información con y entre empresas.

La red de EPCglobal promete una arquitectura de forma segura, fácil y progresiva de uso. Los servidores que contienen la información intercambiada por las etiquetas RFID se llaman EPCIS que contienen información relativa a los números de EPC.

La estandarización de la interfase incentiva la progresiva adopción de estos sistemas. (Lee *et al.*, 2010)

Métodos de rastreo

El sistema debe ser capaz de realizar el seguimiento y localización no solo de los artículos -si no también de sus componentes (Shirou *et al.* (2007)-). Se propone el sistema "TraceBack".

Aplicaciones

Cadena de suministro de comida

En muchos países, los sistemas de trazabilidad en la cadena de suministro de la comida son obligatorios. En la UE los propietarios de negocios de alimentos deben registrar el origen y el destino de sus productos. Además, deben etiquetar la comida para facilitar los procesos de rastreo. (EC,2002).

Un ejemplo sería el queso parmesano; diferentes personas y etapas están involucradas en su elaboración, por lo tanto hay que tener un control de cada etapa. El primer punto es la identificación de las características del producto en diferentes aspectos a lo largo del proceso de elaboración (Regattieri *et al.*, 2007). Se recoge información relevante (temperatura de cocción, humedad, código de lote de forraje), mediante sensores, PLCs y códigos de barras, además de las etiquetas RFID (Lee *et al.*, 2010).

Ecomovistand (Martínez-Sala *et al.*, 2009) es una empresa española que está trabajando para transformar el MT (empaquetado ecológico e innovador y transporte de unidad) en una plataforma inteligente con la agregación de las etiquetas RFID. El MT es un tipo de plástico ultrarresistente con una vida útil de alrededor de 10 años. El RFID actuará como el corazón del empaquetado posibilitando el rastreo del MT.

Las restricciones que se plantean son las siguientes (Martínez-Sala *et al.* (2009)):

- 1) Bajo rango de lectura: Las distancias que recorren los plásticos MT son grandes dentro de los almacenes y muelles de carga. Sería importante el diseño de estanterías inteligentes que usasen la tecnología RFID.
- 2) Monitoreo de los productos perecederos.
- 3) Capacidad total de lectura y escritura.
- 4) Asegurar la integración sin límites en las instalaciones de los clientes con el mínimo impacto en sus sistemas de información.

Dependiendo de que las etiquetas RFID sean activas o pasivas, la prestación que podrán dar a la cadena de suministro alimenticia variará. Las compañías tendrán que adaptar el sistema a sus necesidades.

Desafíos

Uno de los principales problemas que surge con los RFID es la colisión que se puede producir cuando se realiza una lectura simultánea de etiquetas que responden

simultáneamente al lector. Además de eso hay que considerar el hecho de que las etiquetas de esta tecnología aún no tienen una tasa de lectura del 100% sino cercana al 99%, pese a que se está trabajando en ello aún no tienen una tasa de lectura tan alta como las pronto extintas etiquetas de código de barras (Lee *et al.*, 2010).

Las etiquetas RFID tienen restricciones de precio y tamaño. A causa del precio, muchas empresas aún son reticentes a adoptar esta tecnología. Por lo tanto los investigadores tratan de buscar la forma de abaratar el precio de las etiquetas. El ancho de banda de las etiquetas es limitado puesto que deriva de la de los lectores (Zarokostas *et al.*, 2007). Por otro lado, debido a su escaso tamaño, tienen la memoria muy limitada y por lo tanto su capacidad de retener información también se verá limitada (Sarma *et al.*, 2001).

A lo largo de la cadena de suministro se genera gran cantidad de información procedente de las etiquetas RFID, por lo tanto esta información tiene que ser filtrada para poder resultar rentable y valiosa (Zarokostas *et al.* 2007). El sistema Middleware se usa para esto, lo cual está muy valorado por la compañías que van a usar esta tecnología (Lee *et al.*, 2010).

Otro de los problemas que se está intentando resolver es la heterogeneidad de la información proporcionada por las etiquetas RFID. Se busca estandarizar este sistema pero aún no se ha logrado. EPC global e ISO son las organizaciones que lideran esta estandarización y los vendedores se amoldan a la información que estos proveen (Lee *et al.*, 2010).

Por todo esto, muchas organizaciones tanto en USA como en Canadá están pidiendo que se le preste más atención a las amenazas contra la privacidad (*Privacy Rights Clearinhouse*, 2003), (*Privacy Commissioner of Canada*, 2005). En EU se realizó una compilación sobre esta misma materia (*Data Protection Working Party*, 2005).

Muchas soluciones han sido propuestas (Bernardi *et al.*, 2007):

- 1) Inutilizar la etiqueta.
- 2) Usar contraseñas o encriptaciones.
- 3) Cambiar la identificación de la etiqueta.
- 4) Bloquear el sistema anti-colisión del lector, una etiqueta especial detiene el correcto funcionamiento del lector (Juels *et al.*, 2003).

Los investigadores tienen esperanzas de que el RFID no sea solo un sistema inteligente que sirva como identificación únicamente (Zuehlke, 2008). Esto quiere decir que con el grabado e intercambio de información sobre productos y entornos forman el “Internet de las cosas” y, para que esto sea factible, la memoria de los RFID debe ser superior, cosa que incrementa el precio de estos. El tener un esquema de almacenaje correcto tampoco debe ser pasado por alto (Lee *et al.*, 2010).

Por lo tanto, las futuras tecnologías para IOT (Internet de las cosas) se involucrará en la cadena de suministro alimentario y aumentará su valor. En estos productos RFID se busca conectividad inalámbrica como los WSNs (red de sensores inalámbricos), por lo tanto estos dos elementos sumados son clave. La tecnología que se va a usar en este estudio es el RFID con propiedades sensitivas. La discusión en torno a la que se desarrolla este documento gira sobre todo en torno a las diferencias entre etiquetas activas, pasivas y semi-pasivas. Una de las más prometedoras es la etiqueta con ultra ancho de banda y ultra bajo coste inalámbrica, sensitiva (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

En cuanto al sistema IOT, el objetivo es unir el mundo físico con la nube online. La tecnología RFID está considerada clave para cumplir este objetivo. Este sistema está compuesto por una arquitectura de red de dos capas y un sistema de enlaces ad-hoc (WSN) que conecta distintos nudos dentro del rango de alcance, de forma que no se necesitan otras herramientas como routers u otros (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Este sistema sirve para monitorizar, por ejemplo, la temperatura del producto a lo largo de la cadena de suministro. Esta información se graba en el sistema de forma que permite controlar la vida útil del producto y saber qué productos van a caducar antes (FEFO) en lugar de usar el sistema (FIFO) que iría guiado por la regla de: el primer producto que entra es el primer producto que sale. De esta forma, la cadena de suministro se puede controlar de una forma más eficiente de cara a los alimentos perecederos (Cheo Zou *et al.*, 2014).

Basándonos en esto, damos con los siguientes puntos conflictivos (Zhuo Zou *et al.*, 2014):

- 1) El desarrollo de la plataforma IOT
- 2) Avances en el sistema inalámbrico vinculado a las etiquetas inteligentes sensitivas con funcionalidades extendidas y coste reducido.

3) Facilitación de la integración de los sistemas de RFID-habilitado inalámbrico sensitivo, en el sistema global.

Existen tres tipos distintos de etiquetas RFID:

1) La etiqueta RFID con ultra ancho de banda (UWB) de radio.

2) La etiqueta activa de 2.4GHz de radio.

3) La etiqueta sema-pasiva de frecuencia ultra alta (UHF)

Plataforma IoT para rastreo y monitorización

Aplicación y requerimientos del sistema:

Este sistema le da un valor adicional al producto final aportándole predicción de vida útil, ventas premium, precisión en la producción alimentaria y un seguro de reducción de coste (Zhuo Zou *et al.*, 2014)..

La introducción del RFID para reemplazar al código de barras tiene la finalidad de aumentar la automatización, reducir los costes y tiempo de procesado. Los avances tecnológicos en este campo permiten la monitorización de parámetros simples como la humedad y la temperatura en tiempo real, además de las condiciones del entorno (Ruiz García *et al.* 2010). Además de esto, se están haciendo ensayos de evaluación de costes, incluyendo coordenadas GPS, temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono (CO₂)/oxígeno(O₂) / etileno(C₂H₄) y aceleración de tres ejes (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Las etiquetas pueden estar adheridas a los contenedores, al embalaje o incluso al propio alimento. Las RFID están disponibles como etiquetas pintadas sin chip o reusables como sensores de nudo activos inalámbricos, para una más eficiente solución de ahorro de costes. Estas etiquetas son capaces de medir cambios en el entorno como la temperatura y la humedad, tienen un coste reducido y son energéticamente eficientes bajo condiciones de autonomía energética. Además, el sistema debe ser de fácil instalación y mantenimiento sin la necesidad de personal entrenado. En los próximos avances de la tecnología se espera que surjan otras funciones interesantes para el sector (Zhuo Zou *et al.*, 2014) .

Tecnología RFID para el futuro IoT

La tecnología RFID se considera clave para habilitar la trazabilidad y monitorización en el contexto de la IoT. Encontramos las etiquetas activas, las pasivas y el híbrido de la semi-pasiva.

Desafíos técnicos y tendencias de diseño (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

- 1) Desarrollo e integración de sensores e interfaces en el circuito interno de las etiquetas RFID.
- 2) Mejora del enlace de actuación en términos de tasa de transferencia de datos y distancia de lectura.
- 3) Integración del sistema de circuito integrado (IC), microcircuitos y bloques no silicionados como antenas y sensores en etiquetas RFID.

Sensores e interfaz de circuitos

Las tarjetas sensitivas de interés incluyen sensores de temperatura, humedad, concentración de CO₂/O₂/C₂H₄ y aceleración de tres ejes. En los sistemas existentes de sensores de nudo inalámbricos están compuestos por múltiples componentes en un circuito impreso, con una batería abultada para limitados periodos de tiempo. El coste de los sensores suele ser el mayor de todo el sistema (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Los avances en RFID están buscando la posibilidad de combinar las funciones sensitivas con las etiquetas de identificación. Lo cual reduce el tamaño y el coste. Los sensores hechos en silicona integrados en el chip IC son la solución más fácil para una mejor compensación en términos de coste y actuación. Los sensores de humedad CMOS están habitualmente compuestos por un transistor de unión bipolar (La *et al.* 2010). Más tarde, los datos analógicos de los sensores tienen que ser digitalizados, procesados, almacenados y transmitidos (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Actualmente se realizan imprimaciones electrónicas en distintos materiales como por ejemplo, papel y otros materiales orgánicos. En esta gama encontramos sensores impresos, biosensores, sensores de presión y de temperatura. Con la integración de materiales sensitivos como materiales absorbentes de humedad y nanotubos de carbono para sensores químicos en las etiquetas RFID. Los detectores de humedad y temperatura son los más importantes en la monitorización de alimentos. Una impresión de tinta ha sido presentada (Virtanen *et al.* 2011) para los sistemas de UHF RFID y sensores inalámbricos pasivos de temperatura (sin chip) UWB RFID lo cual fue demostrado en (Giraba D *et al.* 2012)

En cuanto a la conectividad inalámbrica, el aumento de la distancia operativa y de la tasa de transferencia de datos son factores que interesan mucho en el futuro de la tecnología RFID. El radio potencial del UWB (más de 20 metros de operatividad), es una de las soluciones más prometedoras para superar las limitaciones de ancho de banda del RFID (Zou *et al.*2007) (Dardari, 2010). Esta tecnología de trazabilidad ha sido creada con la idea de que sea de ultra bajo coste (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Otra opción son las etiquetas semi-pasivas UHF, que se comunican en presencia del lector. Por lo general funcionan de manera similar a las etiquetas pasivas, con la diferencia de que su batería les permite incrementar la sensibilidad de la etiqueta al lector y también incrementar el rango de comunicación (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Algunos de los documentos consultados durante nuestra revisión nos llevan a saber que los investigadores están buscando la manera de aligerar peso en la comunicación de la información de las etiqueta RFID para hacerlas más eficientes. (Donoho, 2006, Shancang *et al.*2013, Zou, 2011, Bartling *et al.*2013)

Integración y miniaturización

Las nuevas mejoras ,como la flexibilización de los elementos electrónicos y el sistema del empaquetado, han sido creadas en función de la demanda existente. La antena y su integración pueden suponer hasta un 50% de los costes del total de lo que cuesta hoy en día la etiqueta. Se espera que la tecnología de imprimación de antenas o el chip de las antenas faciliten la miniaturización del sistema y con ello la consecuente reducción de costes. Para bajar estos niveles será necesario introducir más los chips hechos con silicona. Algunas de las ventajas que el uso de estos materiales puede aportar son mayor actuación, solidez, disponibilidad, compatibilidad y más importante: tiempo de mercado (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Un ejemplo de trazabilidad global de alimentos frescos

Presentaremos un ejemplo del sistema sensitivo inalámbrico RFID para trazabilidad de los alimentos frescos (Pang *et al.* 2010)

Estructura y flujo de operaciones del rastreo global de productos frescos

El sistema se encarga de recoger la información en tiempo real incluyendo la localización GPS, temperatura, humedad relativa, concentración de CO₂/O₂ y aceleración en tres ejes. La interfaz del usuario tiene una web basada en el análisis de

datos y una herramienta de visualización, compatible con Google Maps, como herramienta de trazado, un servicio de alarma por SMS y una herramienta de consulta para teléfonos móviles (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Testeo de campo y análisis de datos

Se realizó un examen de campo durante seis semanas en melones dulces procedentes de Brasil y que se dirigían a Suecia. Durante todo el proceso de transporte las etiquetas de transporte o los nudos maestros midieron las condiciones del entorno, incluyendo O₂, CO₂, temperatura, humedad y estrés mecánico como la vibración y los golpes. Las mediciones se almacenan y transmiten a través de una red móvil. El software del servidor Web monitoriza y analiza la toma de muestras, y activa la alarma a los suscriptores con hora del evento y localización (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

La ruta de transporte fue dividida en cuatro fases. En la primera fase los sensores de las etiquetas y los nodos maestros fueron entregados en Brasil por avión. En la segunda fase, los melones fueron empaquetados y transportados con camión de mercancías en Brasil, donde el calor y la humedad eran evidentes. En la fase tres, el producto fue transportado en un contenedor donde las condiciones de refrigeración estaban mucho mejor controladas. La humedad relativa se incrementaba de forma progresiva de 90% al 95% por la evaporación del agua de los melones en el contenedor sellado. Durante un día se enfriaron los melones para conseguir la temperatura deseada. Se observó que la manipulación humana había sido causa de algunos daños en estos alimentos, como el mal mantenimiento de la temperatura en el contenedor (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

Etiquetas de radio frecuencia en envasados de carne

La tecnología RFID ofrece ventajas en la producción de carne. Estas etiquetas pueden ser introducidas en el interior del envase sin afectar a los datos, puede penetrar materiales no metálicos incluidos los vio-materiales (Menneke & Townsend, 2005). La capacidad de almacenaje de información de estas etiquetas es de alrededor de 1MB. Se almacena información como la temperatura y humedad relativas, información nutricional, instrucciones de cocinado, etc. Las categorías en las que se clasifican son: etiquetas activas, que funcionan con batería, emiten una señal al receptor y operan a una distancia aproximada de 50m; y etiquetas pasivas, las cuales tienen un menor rango de lectura (5m) y son impulsadas por la propia energía del lector, dándoles vida ilimitada (Kerry *et al.*, 2006).

Las frecuencias más comunes en las que operan a partir de (~ 125 kHz) hasta UHF (850-900MHz) y frecuencias microondas (~ 2.45 GHz). Las etiquetas de baja frecuencia son más baratas, necesitan menos energía y son más fáciles de insertar en objetos no metálicos. Estas son más apropiadas para usar en los productos cárnicos, concretamente donde las etiquetas deben ocultarse en la propia carne y son ideales para escaneos de corto alcance de objetos con alto contenido en agua. (Kerry *et al.*, 2006)

El precio del RFID está disminuyendo rápidamente porque grandes compañías como Wal-Mart, 7-eleven y Marks and Spencers adoptan esta tecnología. Según Want (2004), las etiquetas pasivas cuestan entre 0.5-1\$. Para que esta tecnología sea competitiva se estima que el precio debería ser de menos de 0.05-0.01\$. Se esperaba que las etiquetas tuvieran un precio inferior a 0.01\$ por cada etiqueta después de 2007 (Mennecke & Townsend, 2005). Las iniciativas para realizar estandarizaciones deberían servir también para reducir el precio. En la actualidad, las cifras extraídas del presupuesto obtenido por la empresa china Clou IOT Technologies Co.,Ltd .,(2017) es el siguiente:

2000pcs - 20,000pcs	0.091/pc dólares
20,000pcs - 200,000pcs	0.08/pc dólares

Esto nos indica que el precio aún puede seguir siendo un impedimento para la implantación de esta tecnología en el sector alimentario.

La clave para la trazabilidad individual de los animales yace en la transferencia de información secuenciada y de forma precisa en las distintas partes del animal durante el procesado (Mennecke & Towsend, 2005). En el caso de la carne cortada, en concreto en la de cerdo, se ha extendido el uso de esta tecnología, desde el cerdo en sí al mismo animal despiezado. De esta forma se puede realizar un seguimiento de todo el proceso que ha seguido el animal que más tarde será un producto. Actualmente aún no está implementado el uso del RFID en los productos cárnicos, pero pronto parece que lo estará (Kerry, 2012).

Discusión

Tras la revisión de la información presentada, logramos dilucidar que los sistemas RFID aún necesitan tiempo para perfeccionarse y ofrecer al productor una vía fiable y rentable para su uso. La privacidad sigue siendo un problema que preocupa a los posibles usuarios de este sistema, ya que existe una probabilidad alta de que el sistema

RFID se pueda usar para espionaje industrial. Lo que más destaca es la coincidencia en la información contrastada, sobretodo en referencia al precio de la etiquetas RFID que siguen siendo demasiado altas aún en la actualidad, basándonos en el presupuesto recibido expuesto en el desarrollo de esta revisión. En nuestro estudio hemos buscado información lo más actualizada posible precisamente con la intención de hacernos una idea de si a idea de hoy, las etiquetas de radio frecuencia son ya un hecho en la industria alimentaria o no. La conclusión ha sido que todavía no, pero que en un futuro, no muy lejano, van a cobrar mucha importancia tanto para los productores como para los consumidores.

Conclusiones

A pesar de que la tecnología RFID resulta prometedora para el sector del etiquetado inteligente, encontramos limitaciones en varias categorías de esta tecnología. Las etiquetas pasivas son de coste bajo y no requieren batería para funcionar pero tienen un rango de comunicación muy limitado, una transmisión de datos relativamente baja e insuficientes funcionalidades sensitivas. Por el contrario, las etiquetas activas, no tienen el mismo problema de rango de acción y limitaciones de velocidad que las pasivas. A diferencia de estas, las etiquetas activas sí necesitan batería para funcionar y tienen un precio más elevado. Otra de las tecnologías que se está implementando en las etiquetas pasivas es el transmisor UWB, que proporciona un mayor rango de acción y una mayor tasa de transmisión de datos. Las etiquetas semi-pasivas poseen las ventajas de ambas (Zhuo Zou *et al.*, 2014).

A nivel corporativo, la tecnología RFID puede aportar muchas ventajas operativas en el día a día (Lee & Park, 2008). Muchas de las capacidades de trazabilidad del RFID están aún en fase de prueba. Además de esto, las empresas siguen rechazando su adopción por los problemas de privacidad, la falta de estándares y la inmadurez del sistema.

El último paso para desarrollar cualquier nueva tecnología es su viabilidad económica. Las economías de escala sugieren que el coste económico no supondrá un problema en la implantación de las nuevas tecnologías. La actitud del consumidor parece ser favorable a estas tecnologías (Láhteenmäki & Arvola, 2003). También hay que considerar el poder de venta que tienen estas tecnologías además de sus aspectos de

seguridad, calidad y distribución ya mencionados. Se convertirán en un componente comercializable en los años venideros (Kerry *et al.*, 2006)

Bibliografia

- Abracon, L.L.C. (2005). RFID Tags and Readers. Retrieved from <http://www.abracon.com/supportPTM.php>.
- Ahvenainen, R., Eilamo, M., & Hurme, E. (1997). Detection of improper sealing and quality deterioration of modified-atmosphere-packed pizza by a colour indicator. *Food Control*, 8, 177–184.
- Ahvenainen, R. (2003). Active and intelligent packaging: an introduction. In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* (pp. 5–21). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd...
- Alocilja, E. C., & Radke, S. M. (2003). Market analysis of biosensors for food safety. *Biosensors and Bioelectronics*, 18, 841–846.
- Bartling SC, Khanna S, Clinton MP, Summerfelt SR, Rodríguez JA, McAdams HP. 2013 An 8 MHz 75 μ A/MHz zero-leakage non-volatile logic-based Cortex-M0 MCU SoC exhibiting 100% digital state retention at $V_{DD} = 0$ V with 400 ns wakeup and sleep transitions. In *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf., Digest of Technical Papers*, pp. 432–433. (doi:10.1109/ISSCC.2013.6487802) Google Scholar.
- Bechini, A.; Cimino, M.G.C.A. & Tomasi, A. (2005). *IFIP International Federation for Information Processing*, Springer Boston, 978-0-387-28753-9.
- Bernardi, P.; Demartini, C.; Gandino, F.; Montrucchio, B.; Rebaudengo, M. & Sánchez, E.R. (2007). Agri-food traceability management using a RFID system with privacy protection. *International Conference on Advanced Networking and Applications*, 0-7695-2848-5/07, 2007.
- Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., & Srinivasa Gopal, T. K. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (10), 6125–6135. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7>.
- Bodenhammer, W. T. (2002). Method and apparatus for selective biological material detection. US Patent 6376204.
- Bodenhammer, W. T., Jakowski, G., & Davies, E. (2004). Surface binding of an immunoglobulin to a flexible polymer using a water soluble varnish matrix. US Patent 6692973.
- Clou IOT Technologies Co.,Ltd ,(2017) http://es.clouiotech.com/clou-iot-will-attend-rfid-journal-live-2017_n21.

- Dardari D, D'Errico R, Roblin C, Sibille A, Win MZ. 2010 *Ultrawide bandwidth RFID: the next generation?* *Proc. IEEE* 98, 1570–1582. (doi:10.1109/JPROC.2010.2053015) CrossRefWeb of ScienceGoogle Scholar.
- Data Protection Working Party (2005). Working document on data protection issues related to RFID technology, Article 29, *Working Party on the Protection on Individuals with regard to the Processing of Personal Data*, Jan. 2005.
- Davies, E. S., & Gardner, C. D. (1996). Oxygen indicating composition. British Patent 2298273.
- De Oliveira, T. M., De Fátima Ferreira Soares, N., De Paula, C. D., & Viana, G. A. (2008). Uso de embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(1), 117–128.
- Donoho, DL. 2006 *Compressed sensing*. *IEEE Trans. Inf. Theory* 52, 1289–1306. (doi:10.1109/TIT.2006.871582) CrossRefWeb of ScienceGoogle Scholar.
- EC (2002). Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 Article 18. *Official Journal of the European Union*.
- Eilamo, M., Ahvenainen, R., Hurme, E., Heinio" , R. L., & Mattila-Sandholm, T. (1995). The effect of package leakage on the shelf-life of modified atmosphere packed minced meat steaks and its detection. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 28, 62–71.
- Fitzgerald, M., Papkovsky, D. B., Kerry, J. P., O'Sullivan, C. K., Buckley, D. J., & Guilbault, G. G. (2001). Nondestructive monitoring of oxygen profiles in packaged foods using phase-fluorimetric oxygen sensor. *Journal of Food Science*, 66, 105–110.
- Fu, B., & Labuza, T. B. (1995). Potential use of time-temperature indicators as an indicator of temperature abuse of MAP products. In J. M. Farber & K. L. Dodds (Eds.), *Principals of modified-atmosphere and sous vide product packaging* (pp. 385–423). Pennsylvania: Technomic Publishing Co.
- Girbau D, Ramos A, Lázaro A, Rima S, Villarino R. 2012 *Passive wireless temperature sensor based on time-coded UWB chipless RFID tags*. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 60, 3623–3632. (doi:10.1109/TMTT.2012.2213838) CrossRefWeb of ScienceGoogle Scholar.
- Gnaiger, E., & Fortsner, H. (1983). In E. Gnaiger & H. Fortsner (Eds.), *Polarographic oxygen sensors. Aquatic and physiological applications*. Berlin: Springer..

- Hong, S.-I., & Park, W.-S. (1999). Development of Color indicators for kimchi packaging. *Journal of Food Science*, 64(2), 255–257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15877.x>.
- Hong, S. I., & Park, W. S. (2000). Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *Journal of Food Engineering*, 46, 67–125
- Hurme, E., & Ahvenainen, R. (1998). A nondestructive leak detection method for flexible food packages using hydrogen as a tracer gas. *Journal of Food Protection*, 61, 1165–1169.
- Hurme, E. (2003). Detecting leaks in modified atmosphere packaging. In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* (pp. 276–286). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd..
- Hutton, T. (2003). *Food packaging: An introduction. Key topics in food science and technology – Number 7*. Chipping Campden, Gloucestershire, UK: Campden and Chorleywood Food Research Association Group (p. 108)..
- Jansen-Vullers, M.H.; van Dorp, C.A. & Beulens, A.J.M. (2003). Managing traceability information in manufacture. *International Journal of Information Management*, Vol. 23, pp. 395-413.
- Juels A.; Rivest, R. & Szydlo, M. (2003). The blocker tag: Selective blocking of RFID tags for consumer privacy, *8th ACM Conf. Computer and Comm. Security*, ACM Press, pp. 103-111, 2003.
- Kaniou, I., Samouris, G., Mouratidou, T., Eleftheriadou, A., & Zantopolous, N. (2001). Determination of biogenic amines in fresh and unpacked and vacuum-packed beef during storage at 4 °C. *Food Chemistry*, 74, 515–519.
- Kelepouris, T.; Pramataris, K. & Doukidis, G. (2007). RFID-enabled traceability in the food supply chain. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 107, No. 2, pp. 183-200, 0263-5577.
- Kerry, J. P., & Papkovsky, D. B. (2002). Development and use of nondestructive, continuous assessment, chemical oxygen sensors in packs containing oxygen sensitive foodstuffs. *Research Advances in Food Science*, 3, 121–140..
- Kerry, J. P., O’Grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74(1), 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.024>.

- Kerry, J.P., Butler, P. (2008). *Smart packaging technologies for fast moving consumer goods.*, Chichester, England : Wiley and sons
- Kerry, J.P. (2012). *Advances In Meat, Poultry And Seafood Packaging.* Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kim, H.M.; Fox, M.S. & Gruninger, M. (1995). Ontology of quality for enterprise modelling, *Proceedings of IEEE International Workshop on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises*, pp. 105-116, Los Alamitos, CA, USA 1995.
- Kress-Rogers, E. (1998a). Terms in instrumentation and sensors technology. In E. Kress-Rodgers (Ed.), *Instrumentation and sensors for the food industry* (pp. 673–691). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd...
- Kress-Rogers, E. (1998b). Chemosensors, biosensors and immunosensors. In E. Kress-Rodgers (Ed.), *Instrumentation and sensors for the food industry* (pp. 581–669). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd...
- Kress-Rogers, E. (2001). Instrumentation for food quality assurance. In E. Kress-Rodgers & C. J. B. Brimelow (Eds.), *Instrumentation and sensors for the food industry* (2nd ed.) (pp. 581–669). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd...
- Krumhar, K. C., & Karel, M. (1992). Visual indicator system. US Patent 5096813.
- Lagares, J., Cassany, J. M., Rodríguez, À., Borrell, D., & Xargayó, M. (n.d.). Identificación por radiofrecuencia : inteligencia rentable para el sector cárnico, 231–238.
- Lähteenmäki, L., & Arvola, A. (2003). Testing consumer responses to new packaging concepts. In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* (pp. 550–562). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.
- Lee, D. & Park, J. (2008). RFID-based traceability in the supply chain. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 108, No. 6, pp. 713-725, 0263-5577
- Lee, D., & Park, J. (2010). RFID-enabled Supply Chain Traceability: Existing Methods, Applications and Challenges. *Sustainable Radio Frequency Identification ...*, (February), 356. <https://doi.org/10.5772/46134>.
- Libera Networks. (2010). Rfid: Tecnología, Aplicaciones Y Perspectivas, 21.
- López-Rubio, A., Gavara, R., & Lagaron, J. M. (2006). Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. *Trends in Food Science and Technology*, 17(10), 567–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.012>.

- Loughran, M., & Diamond, D. (2000). Monitoring of volatile bases in fish sample headspace using an acidochromic dye. *Food Chemistry*, 69, 97–103.
- Majid, I., Ahmad Nayik, G., Mohammad Dar, S., & Nanda, V. (2016). Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>.
- Martínez-Sala, A.S.; Egea-López, E.; García-Sánchez, F. & García-Haro, J. (2009). Tracking of returnable packaging and transport units with active RFID in the grocery supply chain. *Computers in Industry*, Vol. 60, pp. 161-171, 0166-3615.
- Mattila-Sandholm, T., Ahvenainen, R., Hurme, E., & Jaärvikaäriaänen, T. (1995). Leakage indicator. Finnish Patent 94802.
- Mattila-Sandholm, T., Ahvenainen, R., Hurme, E., & Jaärvikaäriaänen, T. (1998). Oxygen sensitive colour indicator for detecting leaks in gasprotected food packages. European Patent EP 0666977.
- Mennecke, B., & Townsend, A. (2005). Radio frequency identification tagging as a mechanism of creating a viable producer's brand in the cattle industry. MATRIC (Midwest Agribusiness research and Information Center) research Paper 05-MRP 8. Available from <http://www.matric.iastate.edu>.
- Miller, D. W., Wilkes, J. G., & Conte, E. D. (1999). Food quality indicator device. PCT International patent application WO 99/04256.
- Mills, A., Qing Chang, Q., & McMurray, N. (1992). Equilibrium studies on colorimetric plastic film sensors for carbon dioxide. *Analytical Chemistry*, 64, 1383–1389.
- Moe, T. (1998). Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 9, pp. 211-214.
- O'Mahony, F. C., O'Riordan, T. C., Papkovskaia, N., Ogurtsov, V. I., Kerry, J. P., & Papkovsky, D. B. (2004). Assessment of oxygen levels in convenience-style muscle-based sous vide products through optical means and impact on shelf-life stability. *Packaging Technology and Science*, 17, 225–234.
- O'Riordan, T. C., Voraberger, H., Kerry, J. P., & Papkovsky, D. B. (2005). Study of migration of active components of phosphorescent oxygen sensors for food packaging applications. *Analytica Chimica Acta*, 530, 135–141.
- Okuma, H., Okazaki, W., Usami, R., & Horikoshi, K. (2000). Development of the enzyme reactor system with an amperimetric detection and application to estimation of the incipient stage of spoilage of chicken. *Analytica Chimica Acta*, 411, 37–43.

- Pang Z, Chen J, Zhang Z, Chen Q, Zheng L. 2010 *Global fresh food tracking service enabled by wide area wireless sensor network*. In *IEEE Sensors Applications Symp.*, pp. 6–9. (doi:10.1109/SAS.2010.5439425) Google Scholar.
- Papkovsky, D. B., Ponomarev, G. V., Trettnak, W., & O’Leary, P. (1995). Phosphorescent complexes of porphyrin-ketones: optical properties and application to oxygen sensing. *Analytical Chemistry*, 67, 4112–4117.
- Papkovsky, D. B., Ovchinnikov, A. N., Ogurtsov, V. I., Ponomarev, G. V., & Korpela, T. (1998). Biosensors on the basis of luminescent oxygen sensor: the use of microporous light-scattering support materials. *Sensor and Actuators B*, 51, 137–145.
- Papkovsky, D. B., Smiddy, M. A., Papkovskaia, N. Y., & Kerry, J. P. (2002). Nondestructive measurement of oxygen in modified atmosphere packaged hams using a phase-fluorimetric sensor system. *Journal of Food Science*, 67, 3164–3169.
- Pérez-Aloe, R.; Valverde, J.M.; Lara, A.; Carrillo, J.M.; Roa, I. & González, J. (2007). Application of RFID tags for the overall traceability of products in cheese industries. *RFID Eurasia*, pp. 1-5, 978-975-01566-0-1, Sept. 2007.
- Peterson, J. I., Fitzgerald, R. V., & Buckhold, D. K. (1984). Fibre optic sensor based on phase fluorescent lifetimes. *Analytical Chemistry*, 65, 835–856..
- Prasad, P., & Kochhar, A. (2014). Active Packaging in Food Industry: A Review. *IOSR Journal of Environmental Science Ver. III*, 8(5), 2319–2399. <https://doi.org/10.9790/2402-08530107>.
- Privacy Commissioner of Canada (2005). Annual report to parliament 2005 – Report on the personal information protection and electronic documents act, *Privacy Commissioner of Canada*, pp. 39-42
- Privacy Rights Clearinghouse (2003). RFID position statement of consumer privacy and civil liberties organizations, *Privacy Rights Clearinghouse*, Nov. 2003
- Randell, K., Ahvenainen, R., Latva-Kala, K., Hurme, E., Mattila-Sandholm, T., & Hyvo¨nen, L. (1995). Modified atmosphere-packed marinated chicken breast and rainbow trout quality as affected by package leakage. *Journal of Food Science*, 60, 667–672, 68.
- Regattieri, A.; Gamberi, M. & Manzini, R. (2007). Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering*, Vol. 81, pp. 347-356, 0260-8774.
- Rokka, M., Eerola, S., Smolander, M., Alakomi, H. L., & Ahvenainen, R.(2004). Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts in

- different temperature conditions B. Biogenicamines as quality-indicating metabolites. *Food Control*, 15, 601–607.
- Romanciuc, F., Pop, R. M., & Socaciu, C. (2014). UPLC-QTOF (ESI +) MS Analysis Applied for Targeted Profiling of Human Urine Amino Acids. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 71(2), 250–255. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb>.
- Ruiz-García L, Lunadei L, Barreiro P, Robla I. 2009 *A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. Sensors* 9, 4728–4750. (doi:10.3390/s90604728) CrossRefMedlineWeb of ScienceGoogle Scholar.
- Sarma, S.; Brock, D. & Engels, D. (2001). Radio frequency identification and the electronic product code. *IEEE Micro*, Vol. 21, No. 6, pp. 50-54
- Shancang L, Li Da X, Xinheng W. 2013 *Compressed sensing signal and data acquisition in wireless sensor networks and internet of things. IEEE Trans. Ind. Inf.* 9, 2177–2186. (doi:10.1109/TII.2012.2189222) CrossRefGoogle Scholar.
- Shirou, W.; Yusuke, D.; Satoshi, O. & Atsushi, I. (2007). Cost-effective product traceability system based on widely distributed databases. *Journal of Communications*, Vol. 2, No. 2, pp. 45-52
- Shu, H. C., Ha°kanson, E. H., & Mattiason, B. (1993). D-Lactic acid in pork as a freshness indicator monitored by immobilized D-lactate dehydrogenase using sequential injection analysis. *Analytica Chimica Acta*, 283, 727–737.
- Sivertsvik, M., Rosnes, J. T., & Bergslien, H. (2002). Modified atmosphere packaging. In T. Ohlsson & N. Bengtsson (Eds.), *Minimal processing technologies in the food industry* (pp. 61–86). Cambridge, UK:Woodhead Publishing Ltd...
- Smiddy, M., Papkovskaia, N., Papkovsky, D. B., & Kerry, J. P. (2002). Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties: impact of oxygen content on lipid oxidation. *Food Research International*, 35, 577–584.
- Smolander, M., Hurme, E., & Ahvenainen, R. (1997). Leak indicators for modified-atmosphere packages. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 101–106.
- Smolander, M., Hurme, E., Latva-Kala, K., Luoma, T., Alakomi, H. L., & Ahvenainen, R. (2002). Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 279–288.

- Smolander, M., Alakomi, H.-L., Ritvanen, T., Vainionpa`a` , J., & Ahvenainen, R. (2004). Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler cuts stored in different temperature conditions. A. Time-temperature indicators as quality-indicating tools. *Food Control*, 15, 217-229.
- Snow, M., Grecsek, H., & Life, P. (n.d.). G A S C H R O M A T O G R A P H Y / M A S S S P E C T R O M E T R Y Analysis of Food-Packaging Film by Headspace-GC / MS, (Table 2).
- Taoukis, P. S., & Labuza, T. P. (1989). Applicability of time temperature indicators as shelf-life monitors of food products. *Journal of Food Science*, 54, 783–788.
- Taoukis, P. S., & Labuza, T. P. (2003). Time-temperature indicators (TTIs). In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* (pp. 103–126). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd..
- Thompson, R. B., & Lakowicz, J. R. (1993). Fiber optic pH sensor based on phase fluorescence lifetimes. *Analytical Chemistry*, 65, 853–856..
- Trettnak, W., Gruber, W., Reiniger, F., & Klimant, I. (1995). Recent progress in optical sensor instrumentation. *Sensors and Actuators B*, 29, 219–225..
- Vainionpa`a` , J., Smolander, M., Alakomi, H.-L., Ritvanen, T., Rajama`ki, T., Rokka, M., & Ahvenainen, R. (2004). Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis. *Journal of Food Engineering*, 65, 273–280.
- van Dorp, C.A. (2003). A traceability application based on gozinto graphs, *EFITA 2003*, Debrecen, 2003.
- Virtanen J, Ukkonen L, Bjorninen T, Elsherbeni AZ, Sydanheimo L. 2011 *Inkjet-printed humidity sensor for passive UHF RFID systems. IEEE Trans. Instrum. Measure.* 60, 2768–2777. (doi:10.1109/TIM.2011.2130070) CrossRefGoogle Scholar.
- Want, R. (2004). The magic of RFID. *Association of Computing Machinery, ACM Queue*, 2. Available from <http://www.acmqueue.com>.
- Wolfbeis, O. S., Weis, L. J., Leiner, M. J. P., & Ziegler, W. E. (1988). Fibre-optic fluorosensor for oxygen and carbon dioxide. *Analytical Chemistry*, 60, 2028–2030.
- Wolfbeis, O. S., & List, H. (1995). Method for quality control of packaged organic substances and packaging material for use with this method. US Patent 5407829..
- Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70, 1–10.

- Yoon, S. H., Lee, C. H., Kim, D. Y., Kim, J. W., & Park, K. H. (1994). Time-temperature indicator using a phospholipids–phospholipase system and application to storage of frozen pork. *Journal of Food Science*, 59, 490-
- Yoshikawa, Y., Nawata, T., Goto, M., & Fujii, Y. (1987). Oxygen indicator. US Patent 4169811.
- Zarokostas N.; Dimitropoulos, P.D. & Soldatos, J. (2007). RFID middleware design for enhancing traceability in the supply chain management, *18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 1-4244- 1144-0/07, 2007.
- Zou Z, Baghaei-Nejad M, Tenhunen H, Zheng L-R. 2007 *An efficient passive RFID system for ubiquitous identification and sensing using impulse UWB radio. Elektrotech. Inf. 124, 397–403. (doi:10.1007/s00502-007-0483-y)* CrossRefGoogle Scholar.
- Zou Z. 2011 *Impulse radio UWB for the internet-of-things: a study on UHF/UWB hybrid solution. Doctoral dissertation, KTH, Sweden.*Google Scholar.
- Zou, Z., Chen, Q., Chen, Q., Uysal, I., Zheng, L., Iera, A., ... Zheng, L. (2014). Radio frequency identification enabled wireless sensing for intelligent food logistics. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0313>.
- Zuehlke, D. (2008). SmartFactory – from vision to reality in factory technologies. *Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control*, Seoul, Korea, July, 2008.