

18

APLICACIONES DE PELÍCULAS Y CUBIERTAS COMESTIBLES Y MÉTODOS COMBINADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES

Carlos Silvera Almitrán,¹ Daniela Escobar Gianni,²
Luis Repiso Ibáñez² y Rosa Márquez Romero²

Resumen

Se estudian los conceptos asociados con la elaboración y usos industriales de las películas flexibles comestibles, incluyendo las cubiertas que actúen en forma positiva sobre la vida útil y la calidad del alimento en términos generales. Se consideran las propiedades sensoriales, de barrera, así como la capacidad de incorporar y dosificar ingredientes con funcionalidad específica. Se revisa la modificación de esas propiedades por utilización de capas múltiples y la incorporación de nanocompuestos. Se presta atención a los riesgos aún pendientes de la aplicación de nanotecnologías. En cuanto a las aplicaciones industriales, se estudia el control de desarrollo microbiano en función de los ingredientes que conforman la estructura, las propiedades de barrera también asociadas a la vida útil del alimento protegido y los métodos combinados con procesos no térmicos.

Palabras clave: películas comestibles, cubiertas comestibles, bioprotección, nanocompuestos, actividad antimicrobiana, propiedades de barrera, propiedades mecánicas, estructuras poliméricas.

¹ Universidad Católica del Uruguay, Facultad de Ingeniería y Tecnologías. Av. 8 de Octubre 2801, Montevideo, Uruguay. Tel: 598 2 487 27 17 ext. 293.

² Laboratorio Tecnológico del Uruguay, Gerencia de Proyectos Alimentarios. Av. Italia 6201, Montevideo, Uruguay. Tel: 598 2 601 37 24 ext. 1164, 1289, 1363. Correo electrónico: <rmarquez@latu.org.uy>.

| Introducción

Las películas flexibles comestibles y las cubiertas aplicadas directamente al alimento, posibles de ser consumidas simultáneamente, se han convertido en una herramienta tecnológica útil para muchas aplicaciones en la industria alimentaria. Esto incluye la incorporación de ingredientes activos en la matriz polimérica, el aumento de la vida útil y seguridad alimentaria y el mejoramiento de atributos sensoriales y nutricionales (Rojas-Graü, Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2009).

Si bien las cubiertas comestibles se usan desde épocas muy antiguas para mantener la calidad de frutas y hortalizas frescas, así como quesos y carne, nuevas aplicaciones han surgido en los últimos años, tal es el caso de su uso en vegetales mínimamente procesados listos para consumo, donde las cubiertas contribuyen a proporcionar una calidad y frescura similares a las del producto fresco (Olivas, Dávila-Aviña, Salas-Salazar y Molina, 2008; Vargas, Pastor, Chiralt y otros, 2008).

Las cubiertas comestibles participan en la generación de un microclima que favorece la prolongación de la vida útil del alimento, debido a la modificación de la atmósfera por el control del intercambio gaseoso a través de la membrana, que retrasa la respiración y las reacciones oxidativas. Además, las cubiertas comestibles brindan al sistema alimenticio la posibilidad de incorporar ingredientes activos como colorantes, antioxidantes, conservantes, agentes de control del oscurecimiento químico o enzimático, condimentos y muchas otras opciones tecnológicas (Rojas-Graü, Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2009).

La presente revisión analiza y discute las aplicaciones de las películas y cubiertas comestibles, tomando en cuenta las propiedades químicas y físicas, las tecnologías de elaboración y las interacciones con otros procedimientos de protección de la vida útil o modificación de las características sensoriales o nutricionales de los alimentos. Merece una especial atención la utilización de métodos combinados, por ejemplo: nanotecnologías o campos eléctricos asociados a matrices poliméricas, por la potencial sinergia de los procedimientos con beneficiosos resultados (Arora y Padua, 2010; Brody, 2006; Brody, 2010; Sorrentino, Gorrasi y Vittoria, 2007), pero también por la necesidad de evitar riesgos por la aplicación de tecnologías que no estén lo suficientemente estudiadas desde el punto de vista de la inocuidad.

En esa orientación científico-tecnológica, los materiales que usualmente han sido utilizados para elaborar las matrices poliméricas —entiéndase como tales las proteínas, polisacáridos y lípidos— se han considerado como básicos, pero fundamentalmente se han atendido aquellas inclusiones o modificaciones a las estructuras primarias para mejorar las propiedades asociadas a la extensión de la vida útil de los alimentos, incluyendo métodos químicos, enzimáticos e incluso físicos, como irradiación, aplicados sobre las cubiertas comestibles (Bourtoom, 2009).

En esta revisión se ha procurado orientar el estudio hacia la inocuidad y hacia el futuro de la tecnología en cuestión, por lo que se ha privilegiado una óptica de fortalezas y debilidades desde el comienzo mismo de la redacción. De la misma manera, las áreas de énfasis conllevan en sí mismas las percepciones comprometidas en el enfoque técnico de los autores.

El capítulo tiene como propósito actualizar el conocimiento acerca de las películas y cubiertas comestibles y los modernos procedimientos e ingredientes utilizados para incrementar las propiedades funcionales para mejorar la vida útil de alimentos.

| Aplicaciones para prolongar la vida útil de alimentos

Las películas comestibles tienen un interesante potencial de uso en una gran cantidad de aplicaciones en contacto directo con el alimento, cubriendo la superficie externa del mismo, ayudando a separarlo del ambiente exterior, separando superficies internas para aislar la interacción entre componentes del alimento, o actuando como envoltura. De esta forma, pueden ser utilizados como empaque para pequeñas porciones de alimentos, y también en las interfaces heterogéneas de alimentos como pizzas y tartas, para la prevención del deterioro (Bourtoom, 2009). Las películas pueden actuar positivamente sobre la calidad y el tiempo de vida del alimento mediante la formación de barreras al oxígeno, aromas o humedad, incorporando aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos o mejorando la apariencia, estructura o facilidad para la manipulación vinculada a la logística de distribución comercial. El desarrollo de aplicaciones y estudios documentados de los últimos 20 años, permiten contar con una extensa variedad de películas con buenas propiedades mecánicas y de barrera (Daraba, 2008).

El concepto de *bioprotección* aplicado a la tecnología de envasado de alimentos involucra dos conceptos básicos: el carácter biodegradable amigable con el medio ambiente del envase secundario y el comestible que habilita al envase primario a estar en contacto con el alimento y posible de ser consumido como una parte integrante del mismo. Estas tendencias abren extensos campos de estudio para aspectos tan importantes como:

- La coordinación de propiedades entre el envase primario y el secundario para obtener el resultado de inocuidad alimentaria deseado.
- La opción, en los casos en que sea posible, de que el consumidor elija consumir o descartar el envase primario.
- La incorporación de propiedades nutricionales, sensoriales o vinculadas a la seguridad alimentaria en el envase primario. A modo de ejemplo, la incorporación de nutrientes, sabores, agentes texturales o conservantes en el envase primario.

Las películas flexibles comestibles deben cumplir con características específicas que dependen del alimento considerado y de sus procesos metabólicos, como:

- Propiedades sensoriales: las películas comestibles deben ser transparentes, insípidas e inodoras con excepción de aquellas cuya función sea proveer de sabor o color al alimento.
- Propiedades de barrera: las cubiertas deben tener una adecuada permeabilidad al vapor de agua (Sorrentino, Gorrasi y Vittoria, 2007) y a solutos, así como permeabilidad selectiva a gases y compuestos volátiles (Kester y Fennema, 1986; Oms-Oliu, Hertog, Soliva-Fortuny y otros, 2009; Ribeiro, Vicente, Teixeira y Miranda, 2007; Vargas, Pastor, Chiralt y otros, 2008).
- Propiedades compatibles con la incorporación de ingredientes con propiedades funcionales (Chidanandaiah, Keshri y Sanyal, 2009; Guillard, Issoufov, Redl y Gontard, 2009).

La coordinación entre el carácter comestible del envase primario y la nanotecnología en el secundario, se potencia para mejorar las propiedades de barrera manteniendo intactas las propiedades sensoriales del alimento evitando la pérdida de aromas al exterior y el ingreso de gases, vapores o compuestos aromáticos desde el exterior (Brody, 2006). El trabajo de diseño con multicapas es un procedimiento que ha demostrado gran eficiencia para la obtención de las propiedades funcionales (Phan, Debeaufort, Luu y Voilley, 2008; Rudra, Dave y Haynie, 2006).

Aunque estas tecnologías aún tienen escasa aplicación en alimentos, están siendo estudiadas, como es el caso de la electrodeposición capa por capa, la cual se realiza alternando la inmersión de sustratos en soluciones de polielectrolitos de carga opuesta con pasos de enjuagues intermedios, lo cual produce capas ultrafinas de polielectrolitos sobre las superficies cargadas. Esta nueva generación de recubrimientos comestibles está siendo diseñada especialmente para permitir la incorporación y/o liberación prolongada de antioxidantes, vitaminas, nutraceuticos y agentes antimicrobianos.

| Aplicación de la nanotecnología

Al margen de que los nanocompuestos pueden ser utilizados para obtener “nanorredes” que impidan la contaminación o dificulten el crecimiento microbiano, otros horizontes se abren a estas tecnologías por la aplicación de nanosensores que denuncian la presencia o ausencia de alguna funcionalidad indeseable, como la presencia de organismos patógenos o alimentos deteriorados (Arora y Padua, 2010).

Sin embargo, no puede hablarse aún de aplicaciones comerciales, sino de orientaciones tecnológicas y tendencias. Los nanocompuestos aplicados a alimentos o a envases en contacto con alimentos, aún no están suficientemente estudiados cuando se refiere a las implicaciones de salud y seguridad tanto para los consumidores como para el personal obrero que fabrica las películas, teniendo en cuenta que todavía conocemos muy poco acerca de las propiedades de estas partículas (Brody, 2010; Sorrentino, Gorrasi y Vittoria, 2007).

En la Unión Europea se han establecido fuertes críticas a los eventuales peligros asociados al uso de nanocompuestos en contacto con alimentos y ciertas críticas a la relucancia de las empresas comerciales a proveer información al respecto. Esta posición ha sido liderada por Lord Krebs, del Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de los Lores de Inglaterra. Sin embargo, quienes se oponen a esta posición sostienen que la industria podría proveer mayor información, ya que esta tecnología está en la “infancia” de las aplicaciones a alimentos (Harrington, 2010).

Se han instaurado, entonces, controversias en el uso de nanocompuestos por la industria alimentaria con las consecuentes barreras éticas y legales (Oberdörster, Oberdörster y Oberdörster, 2005). Hasta el momento, no hay regulaciones alimentarias claras para el uso de nanopartículas, por lo que se trata de un tema que tendrá un importante desarrollo conceptual y legal en los próximos años (Sorrentino, Gorrasi y Vittoria, 2007).

La aplicación de nanocompuestos de grado alimenticio en las películas comestibles, tiene un futuro promisorio debido a que se ha encontrado que impactan positivamente en las propiedades mecánicas, con el aumento de la resistencia de los películas y también mejorando las propiedades de barrera (Moura, Aouada, Avena-Bustillos y otros, 2009; Sothornvit, Rhim y Hong, 2009). También las nanopartículas pueden ser utilizadas como portadores de agentes antimicrobianos y aditivos (Sorrentino, Gorrasi y Vittoria, 2007; Sothornvit, Rhim y Hong, 2009).

| Los materiales estructurales de las películas y cubiertas comestibles

Las películas flexibles comestibles pueden conformarse a partir de materiales tan variados como biopolímeros naturales (Hambleton, Debeaufort, Beney y otros, 2008; Sztuka y Kołodziejska, 2008) compuestos por polisacáridos como pectina, derivados de almidones, quitosano, derivados de celulosa y carragenina, entre otros (Carneiro da Cunha, Cerqueira, Souza y otros, 2009; Cerqueira, Sousa-Gallagher, Macedo y otros, 2010; Del-Valle, Hernández-Muñoz, Guarda y otros, 2005; Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009; Hambleton, Fabra, Debeaufort y otros, 2009; Mali, Grossmann, García y otros, 2005; Rodríguez,

Osés, Ziani y Maté, 2006); proteínas de origen animal o vegetal, incluyendo caseína, colágeno, zeína (Hoffman, Han y Dawson, 2001; Mastromateo, Barbuzzi, Conte y Del Nobile, 2009; Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2008), gelatina, proteína de soya, gluten de trigo, gelatina y aislados proteicos de diverso origen (Osés, Fernández-Pan, Ziani y Maté, 2008); y lípidos como aceites, grasas y ceras (cera de abeja y cera candelilla, entre muchas otras) (Bravin, Peressini y Sensidoni, 2006; Liu, Kerry y Kerry, 2006; Saucedo-Pompa, Jasso-Cantú, Ventura-Sobrevilla y otros, 2007); así como poliésteres proteicos y lipídicos (Chidanandaiah, Keshri y Sanyal, 2009), emulsiones y laminados.

La producción de películas y cubiertas comestibles a partir de las propias frutas es una manera interesante de usar el puré de la fruta fresca y disminuir las enormes pérdidas poscosecha que se dan en algunos casos, como el de las frutas tropicales en Brasil (Azeredo, 2010). De esta forma, se pueden aplicar cubiertas que actúan como envases primarios en diversos tipos de alimentos como frutas frescas, procesadas, quesos y nueces, entre otros, incorporando color y aroma a la superficie del alimento y mejorando la eficiencia protectora del envase secundario sintético. La mayor limitante de su uso está dada por las pobres propiedades mecánicas y de barrera de los biopolímeros cuando se comparan con los polímeros sintéticos. Una alternativa para solucionar esto la constituyen los rellenos nanométricos, como las fibras de celulosa que han demostrado ser refuerzos efectivos a los biopolímeros, aunque aún está pendiente realizar estudios acerca de sus efectos en la salud humana, como se ha mencionado previamente.

Un ejemplo interesante a citar es la aplicación del puré de fruta como base para la formación de una cubierta comestible de mango (Sothornvit y Rodsamran, 2008). El puré de mango se utilizó para recubrir mangos mínimamente procesados como envase primario, utilizando a su vez bolsas de celofán como envase secundario. El recubrimiento logró aumentar la vida útil del producto de 2 a 5 días y de 4 a 6 días cuando se almacenó a 30 y a 5°C, respectivamente. La principal limitante de esta aplicación fue la solubilidad de la película de mango dado su carácter hidrófilo. Esto hace pensar en la posibilidad de aplicar este tipo de cubiertas en alimentos donde esto no sea un problema, como los alimentos congelados y secos.

| Control del desarrollo microbiano

Entre los muchos esfuerzos realizados durante los últimos 15 años, el uso de películas comestibles como agentes de control del desarrollo microbiano ha sido uno de los más investigados. Se han utilizado fundamentalmente dos procedimientos principales para hacer efectivo este control de contaminantes microbianos en alimentos:

- 1) Incorporación de agentes antimicrobianos convencionales a la matriz polimérica (Jagganath, Radhika, Nanjappa y otros, 2007; Joerger, 2007; Mathew y Abraham, 2008; Valencia-Chamorro, Palou, Del Río y Pérez-Gago, 2008).
- 2) Generación de una matriz polimérica superficial bioactiva que dificulta la proliferación de los microorganismos. A modo de ejemplo, en las películas formadas con quitosano, la red bioactiva se forma, entre otras cosas, por la presencia de un grupo amino en la posición C2, actuando sobre las capacidades biológicas, afectando los procesos metabólicos y de crecimiento microbiano (Chung y Chen, 2008; Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009).

Si bien el mecanismo que regula la actividad antimicrobiana del quitosano está aún en discusión de ajuste fino, está claro que la carga positiva en el C2 del monómero de glucosamina es más soluble a un pH superior a 6, lo que permite una mejor actividad antimicrobiana que la quitina, reaccionando con cargas negativas de las membranas celulares provocando la pérdida de constituyentes intracelulares de los contaminantes biológicos (Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009).

La actividad antimicrobiana de los quitosanos se ha logrado aumentar por la combinación de almidones a la estructura del biopolímero de cobertura, así como por la incorporación de agentes activos específicos como el ácido ferúlico, aceite esencial de ajo, nisina y sorbato de potasio, siendo posible, además, optimizar la actividad biocida favoreciendo la migración de la glucosamina protonada hacia el interior de la membrana celular del cultivo microbiano, por diversos métodos establecidos (Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009; Fernández-Saiz, Lagaron y Ocio, 2008; Mathew y Abraham, 2008; Pranoto, Rakshit y Salokhe, 2005).

La incorporación de agentes antimicrobianos ha sido reportada como moderadamente efectiva (McCormick, Han, Sheldon y Dawson, 2005), hasta muy exitosa (Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009; Kristo, Koutsoumanis y Biliaderis, 2008; Lungu y Johnson, 2005), dependiendo de los alimentos estudiados, el material biopolimérico en contacto con el alimento y el agente antimicrobiano utilizado.

Estudios sistematizados y comparativos para cuantificar la efectividad del procedimiento en términos generales, permiten estimarla en dos reducciones logarítmicas, por lo que su uso se aconsejaría preferentemente para ser utilizado dentro del concepto tecnológico de métodos combinados para cooperar con la inocuidad alimentaria.

Las uvas de mesa constituyen un ejemplo interesante al cual se le ha aplicado una cobertura novedosa con base en gel de *Aloe vera*. Esta aplicación logró retrasar los cambios relacionados con las pérdidas de calidad poscosecha de la uva cv. Crimson Seedless y extender su vida de anaquel de 7 hasta 35 días a 1°C. A la vez, este recubrimiento comestible fue capaz de reducir el recuento microbiano inicial tanto de mesófilos aerobios como de

hongos y levaduras, además de controlar el pardeamiento del raquis, disminuir la deshidratación y mantener el aspecto visual de la vaina de la uva, sin detrimento alguno de su sabor y aroma característicos (Valverde, Valero, Martínez-Romero y otros, 2005).

Cuando se utilizan mezclas de algunos agentes antimicrobianos se obtienen mejores resultados, llegándose a valores de 7 a 9 reducciones logarítmicas en valores reportados desde el año 2000 hasta el presente (Joerger, 2007; Chi, Zivanovic y Penfield, 2006).

Los estudios llevados a cabo recientemente tienden a buscar la optimización de la bioactividad de la película mediante el ajuste fino de los distintos parámetros que afectan el crecimiento microbiano. Esto induce a pensar que existe una plataforma de conocimiento respecto a la tecnología de formación de las películas comestibles, a la incorporación de agentes antimicrobianos (Guillard, Issoufov, Redl y Gontard, 2009) y diseño de la estructura espacial de la red biopolimérica, y que la investigación se orienta hacia la obtención, paso a paso, de mejoras orientadas al uso de las películas comestibles con la finalidad de controlar la contaminación microbiana (Valencia-Chamorro, Pérez-Gago, Del Río y Palou, 2009). Los mecanismos preferentes pasan por reducir la transferencia de humedad y oxígeno, disminuir la respiración y retardar la producción de etileno en vegetales además de los mencionados anteriormente (Coma, 2008; Fernandez-Saiz, Lagaron y Ocio, 2008; Ribeiro, Vicente, Teixeira y Miranda, 2007; Sathivel, Liu, Huang y Prinyawiwatkul, 2007).

La utilización de galactomananos en películas comestibles es un procedimiento en vías de crecimiento, por lo menos en cuanto al interés despertado en los centros de investigación en alimentos a partir de los trabajos en medicina para la detección precoz de aspergilosis por presencia antigénica de estos azúcares en suero de la sangre en pacientes infectados. Los galactomananos, principalmente diterpenos furanoides, presentes en varias leguminosas, han demostrado propiedades de interesante aplicación para las películas comestibles por su doble carácter de compuesto apropiado para regular la estructura de la película, sus propiedades gelificantes y por su participación en la inhibición del crecimiento fúngico (Cerqueira, Lima, Teixeira y otros, 2009; Cerqueira, Sousa-Gallagher, Macedo y otros, 2010; Rojas-Graü, Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2009).

| Propiedades funcionales

La investigación realizada en la formación de cubiertas por deposición sobre el alimento por diversos métodos, ha incorporado conocimiento sobre otros aspectos vinculados a la vida útil de los alimentos. Entre éstos tenemos al gradiente de humedad a través de la cobertura, al espesor y su relación con la permeabilidad al vapor de agua, y a las diversas propiedades reológicas vinculadas a la estructura de una película comestible. La mencionada deposición es frecuentemente llevada a cabo tanto por atomización como por

rociado o cortina líquida o semilíquida. Estos procedimientos han sido exitosamente aplicados a alimentos panificados, cereales extruidos, productos cárnicos o frutas y hortalizas. Las frutas y hortalizas se caracterizan por ser alimentos altamente perecederos, debido a los numerosos y acelerados cambios fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos que sufren durante su almacenamiento, los que inducen y aceleran el proceso de maduración, senescencia y reducen la vida útil. Estos cambios son acompañados de repercusiones económicas poscosecha, debido a la pérdida de peso y deterioro causados principalmente por microorganismos. También, existe una preocupación creciente por parte de los consumidores respecto a la inocuidad de los alimentos, que los lleva a evitar el uso de químicos como forma de conservación; pero lamentablemente, a medida que aumenta la disponibilidad de alimentos frescos, también se incrementan las enfermedades de origen alimentario. Todo este panorama hace necesario un esfuerzo continuo en el procesamiento, preservación, distribución y comercialización en todo el mundo de la manera de proveer alimentos frescos de elevada calidad e inocuidad para los consumidores (Valverde, Valero, Martínez-Romero y otros, 2005).

Las propiedades funcionales dependen también del método que se utilice para la formación de la estructura en red polimérica. El moldeo por compresión presenta la ventaja de involucrar menos tiempo y menos incertidumbre para la formación de las películas comparado con el método de *casting*. Por otro lado, mejora las propiedades mecánicas de las películas aumentando su estrés máximo y su elongación, disminuyendo la permeabilidad al vapor de agua y la solubilidad de las películas (Escobar, Sala, Silveira y otros, 2009).

La protección de las propiedades sensoriales asociadas a la estructura del alimento, fundamentalmente el carácter crujiente, es una de las interesantes aplicaciones de las cubiertas comestibles en productos como galletas, bizcochos o pastas, *snacks* y cereales para el desayuno. Las isotermas de sorción, con el modelo B.E.T, han mostrado ser un eficiente indicio para medir la estabilidad de estos alimentos a distintas condiciones ambientales (Bravin, Peressini y Sensidoni, 2006).

Algo menos numerosas en estos últimos años, aunque igualmente interesantes y prometedoras, son las investigaciones publicadas en torno a la aplicación de cubiertas comestibles en productos empanados. Un estudio interesante al respecto se hizo incorporando los ingredientes para la formación de la cobertura en la premezcla de empanado de papas rebozadas fritas, estudiando el efecto de la cobertura en el contenido de humedad y grasa del producto final (Usawakesmanee, Chinnan, Wuttijumng y otros, 2008). Esta investigación se hizo utilizando como base para la formación de la cobertura hidroxipropilmetilcelulosa, metilcelulosa y gluten de trigo, siendo los dos primeros los que permitieron reducir más la pérdida de humedad y la absorción de grasa en las muestras. También analizaron la aplicación de la premezcla más óptima en camarones, favoreciendo

que el producto final tuviera mayor humedad y menor cantidad de grasa que los productos no tratados, además de ser aceptables para los consumidores. Esta resulta una manera fácil de introducir en los procesos de producción de este tipo de alimentos la aplicación de cubiertas comestibles, como beneficio tanto para la industria de alimentos como para los consumidores.

Las propiedades de barrera (Dhingra, Singh, Patil y Uppal, 2008; Olivas y Barbosa, 2005) y antioxidantes (Lin, Wang y Weng, 2009) de las películas comestibles, al igual que la capacidad de la liberación controlada por membranas semipermeables, usan con frecuencia materias primas derivadas de residuos industriales de otros procesos más complejos, por ejemplo, la elaboración de aceites a partir de oleaginosas (Beaulieu, Park, Mims y Kuk, 2009) o proteínas lácteas (Dragich y Krochta, 2010; Hernández-Izquierdo y Krochta, 2008; Olivas, Dávila-Aviña, Salas-Salazar y Molina, 2008; Rojas-Graü, Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2009; Vargas, Pastor, Chiralt y otros, 2008).

Un aspecto de importancia no menor para incentivar el estudio del carácter semipermeable de estas barreras y con importancia comercial, son los trabajos de protección a la transferencia lateral de aromas entre distintos productos, que dificulta la logística de distribución de los alimentos a lo largo de toda la cadena productiva hasta llegar al consumidor final (Hambleton, Debeaufort, Beney y otros, 2008; Hambleton, Fabra, Debeaufort y otros, 2009; Schou, Longares, Montecinos-Herrero y otros, 2005). La pérdida de aromas en vegetales frescos luego de los manejos posteriores a la cosecha y logística de distribución hasta el consumidor final son, a menudo, causa de insatisfacción de los consumidores y suelen preceder a la pérdida del aspecto visual. Las pérdidas de la calidad sensorial en las frutas y hortalizas frescas cortadas pueden mermar la oferta de productos atractivos a los consumidores. Es así como tienen lugar cambios metabólicos por interacción con los envases y las preparaciones preliminares como el pelado, que retira las cubiertas naturales protectoras de las características aromáticas y visuales de estos alimentos. La determinación de la influencia de los procesos tecnológicos mencionados en elaboración industrial de cuarta gama, de empaque y tratamientos poscosecha, pueden orientar futuras tendencias de la elaboración y el consumo de alimentos (Forney, 2008; Rojas-Graü y Martín-Belloso, 2008).

Las propiedades de barrera a la transferencia de gases y vapores se mantiene como uno de los importantes desafíos de la ciencia de los alimentos asociada a la conservación de éstos; y muchos son los compuestos que optimizan las funciones de barrera y permiten desarrollar películas a la medida de las necesidades. El comportamiento no lineal de las difusividades, isotermas de sorción y las variaciones del estado físico dificulta, por ejemplo, la elaboración de modelos matemáticos de aplicación de las Leyes de Fick y otros diseños que intentan hacer una predicción tecnológicamente aplicable a la vida útil de los alimentos protegidos con películas comestibles. Algunos métodos no destructivos permiten acceder

a métodos de validación de aquellas propiedades y la comprensión de la transferencia de humedad en estos sistemas alimentarios (Bourlieu, Guillard, Vallès-Pamiès y otros, 2009). Las técnicas analíticas para medir las principales funcionalidades de la cobertura y la validación de los resultados, son un componente no menor de los esfuerzos de investigación (Hernández-Izquierdo y Krochta, 2008; Hu y Jiang, 2007; Lin y Zhao, 2007).

El control de humedad y transferencia de vapor de agua es un tema relevante para el uso potencial de las barreras comestibles, tanto desde el punto de vista de los procedimientos de formación de la película hasta los ingredientes activos. En cuanto a los ingredientes activos, además de los tradicionales hidrocoloides a base de carbohidratos, proteínas y compuestos de base lipídica, se están estudiando cada vez más nuevos compuestos con funcionalidad específica de barrera para el vapor de agua, así como innovadores procedimientos para modificar las características funcionales de las películas formadas con ingredientes tradicionales. En aquel rumbo, vinculados a nuevos compuestos, se destacan poliésteres como el ácido poliláctico (PLA), el polihidroxitirato y la policaprolactona (Sorretino, Gorrasi y Vittoria, 2007; Turhan, Erdohan, Ayana y Erdogdu, 2007), así como el uso de metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa (Valencia-Chamorro, Pérez-Gago, Del Río y Palou, 2009), interesantes compuestos con propiedades especiales de gelificación térmica, sobre todo en combinación con componentes lipídicos como cera de abejas o *shellac*. La tecnología de formación de películas en base a hidrocoloides, particularmente pectinas, por extrusión presenta propiedades microestructurales compatibles con actividad antimicrobiana y textural (Liu, Jin, Liu y otros, 2008).

En cuanto a los novedosos procedimientos de manipular a los ingredientes más tradicionales de formación de películas, en particular se destaca el trabajo con proteínas, debido a que las posibilidades se multiplican por la innumerable cantidad de arreglos y reacciones laterales de las cadenas de los aminoácidos. Por ello, las proteínas de trigo, zeína, proteína de soya, proteínas miofibrilares y de suero lácteo, han sido utilizadas como ingredientes básicos para la formación de películas comestibles mediante moldeo y compresión, así como por extrusión. Las comparaciones entre las propiedades funcionales de la película formada en función de las materias primas, la formulación básica de la cobertura, el procedimiento y las condiciones de elaboración, permiten obtener los objetivos de las deseadas propiedades mecánicas, térmicas, propiedades de barrera y propiedades microestructurales (Hernández-Izquierdo y Krochta, 2008).

Varios hidrocoloides tienen aplicaciones cuyo uso, marcado por el procedimiento de elaboración de la matriz, resulta interesante. Las matrices a base de carragenina están íntimamente ligadas en su funcionalidad con el proceso térmico en la elaboración de películas (Karbowiak, Debeaufort y Voilley, 2007).

Las diferentes características de las películas producidas, permiten regular procesos metabólicos de respiración en vegetales o de reacciones biológicas adversas en productos

lácteos o cárnicos. Este último aspecto es de particular interés, pues durante el almacenamiento de quesos o productos cárnicos secos, como el salami, tienen lugar algunas reacciones biológicas que, involucrando microorganismos o enzimas, afectan propiedades sensoriales de aroma, gusto y palatabilidad. La concentración de oxígeno y la temperatura de la cámara de maduración y de almacenamiento son determinantes de las características sensoriales del producto final. Los productos consumen oxígeno y liberan CO₂ durante su ciclo de vida útil, por lo que ésta puede ser simultáneamente prolongada, a la vez que se protege el perfil de identidad sávido-aromática y la textura (Abd El-Salam, El-Shibiny y Salem, 2009; Cerqueira, Sousa-Gallagher, Macedo y otros, 2010).

Se han estudiado fuentes alternativas de componentes para las películas comestibles con extracciones de polímeros tanto de origen vegetal como animal. Los extractos mucilaginosos de cactus y los quitosanos (Casariego, Souza, Vicente y otros, 2008) son algunos de estos ingredientes utilizados para incrementar las propiedades de barrera (Del-Valle, Hernández-Muñoz, Guarda y otros, 2005; Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009; Mestrallet, Nepote, Quiroga y Grosso, 2009; Olivas, Dávila-Aviña, Salas-Salazar y Molina, 2008; Valverde, Valero, Martínez-Romero y otros, 2005). La síntesis microbiana de aminoácidos, como por ejemplo, poli-(ϵ -lisina), permite acceder a una interesante herramienta para modificar las propiedades de las membranas en condiciones de inocuidad alimentaria (Shih, Shen y Van, 2006; Shon y Haque, 2007). En ocasiones, el mismo alimento a ser protegido provee el ingrediente principal para la elaboración de la película. Tal es el caso del suero de leche utilizado para proteger productos lácteos como quesos, o películas de mango maduro para proteger trozos de mango fresco que luego son envasados en celofán y mantenidos en refrigeración a 5°C. El carácter fuertemente hidrófilo de la película elaborada con tejido vegetal de mango abre oportunidades de investigación para modificaciones estructurales que permitan su aplicación a un universo más amplio de alimentos (Sothornvit y Rodsamran, 2008).

La aplicación de estos ingredientes a películas en frutas y hortalizas mínimamente procesadas a frutas frescas cortadas, ha tenido una difusión sostenida durante la última década en productos tan variados como papas, mangos, fresas (frutillas), piña (ananá), melones y tomates, todos ellos en rodajas o cubos, así como cítricos en gajos (Olivas y Barbosa, 2005).

Además de las frutas, otros vegetales también son matrices interesantes para la aplicación de películas comestibles. Tal es el caso del espárrago, el cual presenta una vida útil muy corta debida a la alta tasa respiratoria que se incrementa después de su cosecha con cambios fisiológicos y bioquímicos que tienen una rápida influencia en su composición llevando a una pérdida de calidad, principalmente debida a una mayor dureza, pérdida de agua y síntesis de antocianinas. Existen estudios realizados en este tipo de matriz, encontrando que las cubiertas comestibles a base de carboximetilcelulosa tienen un impacto favorable en la calidad de los espárragos retardando la pérdida de humedad, reduciendo el endurecimiento en su parte basal y disminuyendo el desarrollo de color púrpura (Tzoumaki, Biliaderis y Vasilakakis, 2009).

Por otra parte, el quitosano es otra fuente natural para la elaboración de películas. El quitosano es el derivado N-deacetilado en forma incompleta de la quitina de crustáceos, dando lugar a sales aminadas solubles. Se trata de un producto altamente viscoso, con características funcionales con aportes a propiedades gelificantes, antioxidantes y antimicrobianas (Beverly, Janes, Prinyawiwatkul y No, 2008; Casariego, Souza, Vicente y otros, 2008; No, Meyers, Prinyawiwatkul y Xu, 2007), con interesantes valores experimentales de humectabilidad y adhesividad, que deben ser ajustados a las características del alimento a recubrir. La películas a base de quitosano pueden proveer varias propiedades deseables protectoras en alimentos frescos cortados o mínimamente procesados (Azeredo, Mattoso, Avena-Bustillos y otros, 2010; Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2008). También ha sido demostrado su potencial para aumentar la calidad y la vida útil de aves y productos marinos (No, Meyers, Prinyawiwatkul y Xu, 2007). El uso de quitosano como parte de la matriz polimérica presenta actividad antimicrobiana, pero cuando se combina con EDTA puede actuar como un agente quelante. Además, la adición de antimicrobianos naturales como los aceites esenciales de clavo y tomillo, son interesantes aplicaciones en una importante variedad de alimentos (Hosseini, Razaki, Mousavi y otros, 2008). El uso de biocatalizadores, arcillas modificadas y otros novedosos sistemas asociados, por ejemplo, a la liberación controlada de aditivos, están siendo ampliamente estudiados (Dutta, Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2009; Fernández-Saiz, Lagaron y Ocio, 2008; Yoon y Deng, 2006). La liberación controlada de aditivos permite no sólo “dosificar” los aditivos, sino que también los concentra localmente en la superficie con una muy importante disminución en la cantidad del aditivo incorporada al alimento total. Interesantes resultados se obtuvieron por la liberación controlada de ácido sórbico y antioxidantes aplicados a proteger productos derivados de cereales de la humectación precoz, actuando como barrera para frutas frescas y legumbres cortadas, donde se mejoró el brillo del producto. En las matrices estudiadas se necesitan muy pequeñas cantidades de los aditivos para concentrarlos en la superficie activa, tanto desde el punto de vista biológico por la contaminación, como químico, por la oxidación (Guillard, Issoufov, Redl y Gontard, 2009).

| Métodos combinados para mejorar las propiedades de películas y cubiertas comestibles

Cada vez con mayor frecuencia se están combinando métodos físicos no térmicos con las tecnologías de elaboración de membranas semipermeables comestibles, con la finalidad de modificar sus propiedades funcionales. La combinación de métodos para alargar la vida útil de alimentos tiene dos orientaciones básicas vinculadas a los temas de películas comestibles: mejorar las propiedades de barrera de las mismas y obtener beneficios complementarios para optimizar la calidad del alimento.

Se ha constatado que la presencia de campos eléctricos moderados durante la preparación de películas comestibles a base de quitosanos pueden influenciar las propiedades de barrera (García, Pinotti, Martino y Zaritzky, 2009; Souza, Cerqueira, Casariego y otros, 2009), probablemente por la dispersión uniforme del calor durante el proceso de formación de la película (Lei, Zhi, Zhang y otros, 2007). También produce cambios estructurales, permitiendo el alineamiento de las cadenas poliméricas en la misma dirección, dando como resultado una estructura más regular. Este cambio afecta directamente las propiedades mecánicas, ya que se incrementa la flexibilidad de las películas, la tensión máxima soportada por las mismas y disminuye la solubilidad en agua, siendo esta última muy importante cuando se trabaja con productos de alta humedad (García, Pinotti, Martino y Zaritzky, 2009; Souza, Cerqueira, Martins y otros, 2010). En la práctica, los cambios en las propiedades inducidas por la aplicación de los campos eléctricos moderados, se traducen en un mejoramiento de la vida útil del alimento debido a una disminución en la permeabilidad al vapor de agua y a la moderación de la respiración de frutas y hortalizas frescas (Bravin, Peressini y Sensidoni, 2006; Casariego, Souza, Vicente y otros, 2008; Mathew y Abraham, 2008; Souza, Cerqueira, Casariego y otros, 2009).

De la misma manera que el calentamiento óhmico, otros procesos no térmicos pueden asociarse a la modificación de las propiedades estructurales y funcionales de las cubiertas. La irradiación de películas comestibles, principalmente para aquellas de base proteica, es un procedimiento que está siendo estudiado, fundamentalmente por medio de agentes de entrecruzamiento de polímeros proteicos y radiación ionizante. También la radiación gamma tiene un efecto sobre las cubiertas proteicas causando cambios estructurales por oxidación de aminoácidos constituyentes con efectos de fragmentación, entrecruzamientos, agregaciones y oxidaciones (Bourtoom, 2009). Estudios específicos sobre las propiedades de industrialización del trigo por modificación del gluten por irradiación gamma permiten esperar interesantes propiedades de aplicaciones prácticas (Lee, Lee y Song, 2005).

En otros casos hay complementación entre la tecnología de cubiertas flexibles y la irradiación de frutas y hortalizas. Se están llevando a cabo estudios de procedimientos combinados entre la irradiación de alimentos para aumentar la vida útil, desinfección e inactivación de brotes. El uso de barreras poliméricas comestibles puede cumplir papeles relevantes cuando se combina con otros tratamientos de conservación. Algunas orientaciones de investigación a futuro pasan por incluir a la irradiación como uno de los componentes integrados al manejo poscosecha (Wall, 2008).

Estudios recientes han explorado el efecto de nuevas tecnologías como conservantes naturales, atmósferas modificadas innovadoras, tratamientos térmicos de baja intensidad, luz ultravioleta, pulsos luminosos, ozonización (Rojas-Graü y Martín-Belloso, 2008),

algunos de ellos asociados a películas comestibles, sin embargo, todos estos procesos deberán de tomar en cuenta no sólo la preservación de la calidad, sino también una buena protección de la calidad nutricional del producto.

Una interesante aplicación tecnológica de las membranas comestibles está en la ayuda tecnológica para mejorar la eficiencia de la deshidratación osmótica (OM) de cilindros de papa. Combinando OM, una poderosa herramienta en términos de transferencia de masa, con los procedimientos de mínimo proceso y la refrigeración moderada, se obtiene una secuencia de barreras que, incorporando innovación tecnológica, pueden mejorar significativamente las propiedades funcionales del alimento (Mitrakas, Koutsoumanis y Lazarides, 2008).

| ¿Qué opinan los consumidores?

La aplicación de películas comestibles a los alimentos es una tecnología muy antigua utilizada ampliamente en la historia de la humanidad. Sin embargo, se le considera un tópico de estudio moderno y con interesantes aplicaciones futuras. En los últimos años se ha incrementado el uso de estas membranas para proteger al alimento del medio ambiente, para preservar la calidad sensorial, nutricional y mantener su inocuidad. La cobertura de naranjas o manzanas con ceras, así como el procedimiento de engrasar salamis luego de obtenidas las características sensoriales propias de la maduración, o la protección de los quesos para evitar el crecimiento fúngico en la cáscara, están integradas a la cultura alimentaria de distintos pueblos y se les considera como prácticas amigables con el consumo.

La percepción de nuevas tecnologías no es tan fácilmente aceptada por el consumidor moderno. Algunos estudios ya se han realizado para evaluar la aceptabilidad de varios desarrollos, aunque queda mucho trabajo por realizar en el futuro en esta dirección, con el fin de orientar la investigación hacia prácticas tecnológicas acordes a las demandas de los consumidores y su percepción, tanto desde el punto de vista de la aptitud sensorial como nutricional. Estos últimos conceptos se ven reforzados por la actitud de desconfianza y rechazo de algunas innovaciones, donde la adición de algunos compuestos químicos o tratamientos drásticos pueden llegar a preocupar al consumidor y provocar el rechazo del producto. Los estudios sistematizados han puesto de manifiesto el interés con perfil de preocupación de los consumidores por los productos que son recubiertos por películas comestibles, la seguridad de los productos que componen la cobertura, las cualidades sensoriales, los motivos por los cuales se recubren los alimentos y su incidencia en el costo final (Wan, Lee y Lee, 2007).

| Tendencias futuras

Actualmente se desarrollan películas flexibles y cubiertas comestibles con nuevas propiedades de barrera a partir de diferentes fuentes naturales. Uno de los puntos focales sobre los cuales se concentran los estudios actuales van dirigidos a los nanocompuestos, sobre todo en lo que se refiere a la incorporación de nutrientes, compuestos bioactivos y optimización de las propiedades de barrera (Bouwmeester, Dekkas, Noordam y otros, 2009; Rojas-Graü, Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2009).

La microencapsulación de nutrientes junto a las nanotecnologías permite incorporar componentes activos, relevantes para el sistema complejo alimento-nutriente, y activar su liberación controlada.

En una suerte de retorno a la simplicidad, el uso de puré de frutas como ingrediente conformador de la estructura de la película está siendo considerado como una oportunidad para futuros desarrollos, aprovechando la presencia de biopolímeros como pectinas, almidón y derivados de celulosa. Estudios realizados con purés y concentrados de banana y mango, demostraron que tales materias primas pueden actuar como envase primario en contacto con el alimento para frutas mínimamente procesadas, quesos, nueces y productos de confitería, pero es necesario involucrar una mayor cantidad de esfuerzos tecnológicos e investigación aplicada (Azeredo, Matosso, Wood y otros, 2009; Azeredo, Mattoso, Avena-Bustillos y otros, 2010; Sothornvit y Rodsamran, 2008).

La profundización de los estudios de las propiedades duales de estructura y funcionalidad antimicrobiana, estará seguramente en la agenda y en las propuestas de investigación de uso de galactomananos, mucílagos de cactus y quitosanos.

Finalmente, pero no por eso menos importante, los procedimientos físicos de modificación de las estructuras poliméricas conforman una batería de herramientas para modificar la funcionalidad de las películas. Campos eléctricos, irradiación y otros procedimientos no térmicos permiten obtener propiedades de barrera, reológicas y antimicrobianas a la medida de las necesidades de la aplicación en los distintos alimentos.

| Conclusiones

El uso de las películas y cubiertas comestibles abre opciones de aplicaciones industriales en productos tan diversos como quesos, productos cárnicos, poscosecha de frutas y hortalizas, frutas mínimamente procesadas y alimentos elaborados de composición heterogénea.

La investigación ha puesto de manifiesto que esas opciones incluyen tecnologías de alta complejidad y simultáneamente otras de gran simplicidad. Esto obliga a quienes desarrollen películas comestibles a pensar en que no es suficiente con que los ingredientes lo

sean. Los procedimientos de elaboración, las incorporaciones y las tecnologías de modificación de estructuras obligan a que los investigadores, la industria y las autoridades nacionales e internacionales mantengan una atenta observación sobre el tema, obligando a que no sólo estén enumerados los ingredientes, sino que además sean obligatorios los ensayos de inocuidad de la película a aplicar.

En todos los casos habrá que considerar los temas de seguridad e inocuidad como prioritarios, antes de avanzar por terrenos del conocimiento que exigen un equilibrio muy delicado entre los beneficios y los eventuales costos de salud pública y sociales.

Es necesario que el cuerpo docente se dirija hacia los puestos más avanzados del peligro que constituye la incertidumbre permanente del mundo

MARTÍN HEIDEGGER

| Referencias

- Abd El-Salam, M. H., S. El-Shibiny y A. Salem (2009), "Factors Affecting the Functional Properties of Whey Protein Products: A Review", *Food Reviews International*, 25 (3): 251-270.
- Arora, A. y G. W. Padua (2010), "Review: Nanocomposites in Food Packaging", *Journal of Food Science*, 75 (1): 43-49.
- Azeredo, H. M. C. (2010), "Edible Films and Coatings from Tropical Fruits", *The World of Food Science*.
- Azeredo, H. M. C., L. H. C. Mattoso, R. J. Avena-Bustillos, G. C. Filho, M. L. Munford, D. Wood y T. H. McHugh (2010), "Nanocellulose Reinforced Chitosan Composite Films as Affected by Nanofiller Loading and Plasticizer Content", *Journal of Food Science*, 75 (1): N1-N7.
- Azeredo, H. M. C., L. H. C. Mattoso, D. Wood, T. G. Williams, R. J. Avena-Bustillos y T. H. McHugh (2009), "Nanocomposite Edible Films from Mango Puree Reinforced with Cellulose Nanofibers", *Journal of Food Science*, 74 (5): N31-N35.
- Beaulieu, J. C., H. S. Park, A. G. B. Mims y M. S. Kuk (2009), "Extension of Green Bell Pepper Shelf Life Using Oilseed-Derived Lipid Films from Soapstock", *Industrial Crops and Products*, 30: 271-275.
- Beverly, R. L., M. E. Janes, W. Prinyawiwatkul y H. K. No (2008), "Edible Chitosan Films on Ready-to-Eat Roast Beef for the Control of *Listeria monocytogenes*", *Food Microbiology*, 25 (3): 534-537.
- Bourlieu, C., V. Guillard, B. Vallès-Pamiès, S. Guilbert y N. Gontard (2009), "Edible Moisture Barriers: How to Assess of their Potential and Limits in Food Products Shelf-Life Extension?", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49 (5): 474-499.
- Bourtoom, T. (2009), "Edible Protein Films: Properties Enhancement", *International Food Research Journal*, 16: 1-9.
- Bouwmeester, H., S. Dekkers, M. Noordam, W. Hagens, A. Bulder, C. de Heer, C. ten Voorde., S. Wijnhoven y A. Sips (2009), *Health Impact of Nanotechnologies in Food Production*, Institute of Food safety (RIKILT) y National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Report 2007.014.

- Bravin, B., D. Peressini y A. Sensidoni (2006), "Development and Application of Polysaccharide-Lipid Edible Coating to Extend Shelf-Life of Dry Bakery Products", *Journal of Food Engineering*, 76: 280-290.
- Brody, A. L. (2010), "Packaging and the Science of Tiny", *Food Technology*, 64 (2): 74-76.
- Brody, A. L. (2006), "Nano and Food Packaging Technologies Converge", *Food Technology*, 60 (3): 92-94.
- Carneiro da Cunha, M. G., M. A. Cerqueira, B. W. S. Souza, P. Souza, J. A. Teixeira y A. A. Vicente (2009), "Physical Properties of Edible Coatings and Films Made with a Polysaccharide from *Anacardium occidentale L.*", *Journal of Food Engineering*, 95: 379-385.
- Casariogo, A., B. W. S. Souza, A. A. Vicente, J. A. Teixeira, L. Cruz y R. Díaz (2008), "Chitosan Coating Surface Properties as Affected by Plasticizer, Surfactant and Polymer Concentrations in Relation to the Surface Properties of Tomato and Carrot", *Food Hydrocolloids*, 22: 1452-1459.
- Cerqueira, M. A., A. M. Lima, J. A. Teixeira, R. A. Moreira y A. A. Vicente (2009), "Suitability of Novel Galactomannans as Edible Coatings for Tropical Fruits", *Journal of Food Engineering*, 94: 372-378.
- Cerqueira, M. A., M. J. Sousa-Gallagher, I. Macedo, R. Rodríguez-Aguilera, B. W. S. Souza, J. A. Teixeira y A. A. Vicente (2010), "Use of Galactomannan Edible Coating Application and Storage Temperature for Prolonging Shelf-Life of 'Regional' Cheese", *Journal of Food Engineering*, 97: 87-94.
- Chi, S., S. Zivanovic y M. P. Penfield (2006), "Application of Chitosan Films Enriched with Oregano Essential Oil on Bologna-Active Compounds and Sensory Attributes", *Food Science and Technology International*, 12 (2): 111-117.
- Chidanandaiah, R. C. Keshri y M. K. Sanyal (2009), "Effect of Sodium Alginate Coating with Preservatives on the Quality of Meat Patties During Refrigerated (4 ± 1°C) Storage", *Journal of Muscle Foods*, 20: 275-292.
- Chung, Y. C. y C. Y. Chen (2008), "Antibacterial Characteristics and Activity of Acidsoluble Chitosan", *Bioresource Technology*, 99 (8): 2806-2814.
- Coma, V. (2008), "A Review: Bioactive Packaging Technologies for Extended Shelf Life of Meat-Based Products", *Meat Science*, 78 (1): 90-103.
- Daraba, A. (2008), "Future Trends in Packing: Edible, Biodegradable Coats and Films", *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 9 (32): 654-664.
- Del-Valle, V., P. Hernández-Muñoz, A. Guarda y M. J. Galotto (2005), "Development of a Cactus-Mucilage Edible Coating (*Opuntia ficus indica*) and its Application to Extend Strawberry (*Fragaria ananassa*) Shelf Life", *Food Chemistry*, 91: 751-756.
- Dhingra, D., J. Singh, R. T. Patil y D. S. Uppal (2008), "Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review", *Journal of Food Science and Technology*, 45 (3): 209-217.
- Dragich, A. M. y J. M. Krochta (2010), "Whey Protein Solution Coating for Fat-Uptake Reduction in Deep-Fried Chicken Breast Strips", *Journal of Food Science*, 75 (1): 43-49.
- Dutta, P. K., S. Tripathi, G. K. Mehrotra y J. Dutta (2009), "Perspectives for Chitosan Based Antimicrobial Films in Food Applications", *Food Chemistry*, 114: 1173-1182.
- Escobar, D., A. Sala, C. Silvera, R. Harispe y R. Márquez (2009), "Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador", *INNOTEC*, 4: 33-36.

- Fernández-Saiz, P., J. M. Lagaron y M. J. Ocio (2008), "Optimization of the Biocide Properties of Chitosan for its Application in the Design of Active Films of Interest in the Food Area", *Food Hydrocolloids*, 23 (3): 913-921.
- Forney, C. F. (2008), "Flavour Loss During Postharvest Handling and Marketing of Fresh-Cut Produce", *Stewart Postharvest Review*, 4 (3): 1-10.
- García, M. A., A. Pinotti, M. Martino y N. Zaritzky (2009), "Electrically Treated Composite Films Based on Chitosan and Methylcellulose Blends", *Food Hydrocolloids*, 23: 722-728.
- Guillard, V., V. Issoupov, A. Redl y N. Gontard (2009), "Food Preservative Content Reduction by Controlling Sorbic Acid Release from a Superficial Coating", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10: 108-115.
- Hambleton, A., F. Debeaufort, L. Beney, T. Karbowiak y A. Voilley (2008), "Protection of Active Aroma Compound Against Moisture and Oxygen by Encapsulation in Biopolymeric Emulsion-Based Edible Films", *Biomacromolecules*, 9 (3): 1058-1063.
- Hambleton, A., M. J. Fabra, F. Debeaufort, C. Dury-Brun y A. Voilley (2009), "Interface and Aroma Barrier Properties of Iota-carrageenan Emulsion-Based Films Used for Encapsulation of Active Food Compounds", *Journal of Food Engineering*, 93 (1): 80-88.
- Harrington, R. (2010), "Food Packaging Sector Responds to Nanotech Criticism", *Food Production Daily*.
- Hernández-Izquierdo, V. M. y J. M. Krochta (2008), "Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation- A Review", *Journal of Food Science*, 75 (2): 30-39.
- Hoffman, K. L., L. Y. Han y P. L. Dawson (2001), "Antimicrobial Effects of Corn Zein Films Impregnated with Nisin, Lauric Acid, and EDTA", *Journal of Food Protection*, 64: 885-889.
- Hosseini, M. H., S. H. Razavi, S. M. A. Mousavi, S. A. S. Yasaghi y A. G. Hasansaraei (2008), "Improving Antibacterial Activity of Edible Films Based on Chitosan by Incorporating Thyme and Clove Oils and EDTA", *Journal of Applied Science*, 8 (16): 2895-2900.
- Hu, W. y Y. Jiang (2007), "Quality Attributes and Control of Fresh-Cut Produce", *Stewart Postharvest Review*, 3 (2): 1-9.
- Jagganath, J. H., M. Radhika, C. Nanjappa, H. S. Murali y A. S. Bawa (2007), "Antimicrobial, Mechanical, Barrier, and Thermal Properties of Starch-Based, Neem (*Melia azadirachta*) Extract Containing Film", *Journal of Applied Polymer Science*, 101: 3948-3954.
- Joerger, R. D. (2007), "Antimicrobial Films for Food Applications: A Quantitative Analysis of their Effectiveness", *Packaging Technology and Science*, 20: 231-273.
- Karbowiak, T., F. Debeaufort y A. Voilley (2007), "Influence of Thermal Process on Structure and Functional Properties of Emulsion-Based Edible Films", *Food Hydrocolloids*, 21 (5-6): 879-888.
- Kester, J. J. y O. R. Fennema (1986), "Edible Films and Coatings: A Review", *Food Technology*, 40: 47-59.
- Kristo, E., K. P. Koutsoumains y C. G. Biliaderis (2008), "Thermal, Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of Sodium Caseinate Films Containing Antimicrobials and their Inhibitory Action on *Listeria monocytogenes*", *Food Hydrocolloids*, 22 (3): 373-386.
- Lee, S. L., M. S. Lee y K. B. Song (2005), "Effect of Gamma-Irradiation on the Physicochemical Properties of Gluten Films", *Food Chemistry*, 92: 621-625.
- Lei, L., H. Zhi, Z. Zhang Xiujin, I. Takasuke y L. Zaigui (2007), "Effects of Different Heating Methods on the Production of Protein-Lipid Film", *Journal of Food Engineering*, 82: 292-297.

- Lin, L. S., B. J. Wang y Y. M. Weng (2009), "Preservation of Commercial Fish Ball Quality with Edible Antioxidant-Incorporated Zein Coatings", *Journal of Food Processing and Preservation*, 33 (5): 605-617.
- Lin, D. y Y. Zhao (2007), "Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6 (3): 60-75.
- Liu, L. S., T. Jin, C. K. Liu, K. Hicks, A. Mohanty, R. Bhardwaj y M. Misra (2008), "A Preliminary Study on Antimicrobial Edible Films from Pectin and other Food Hydrocolloids by Extrusion Method", *Journal of Natural Fibers*, 5 (4): 366-382.
- Liu, L., J. F. Kerry y J. P. Kerry (2006), "Effect of Food Ingredients and Selected Lipids on the Physical Properties of Extruded Edible Films/Casings", *International Journal of Food Science and Technology*, 41 (3): 295-302.
- Lungu, B. y M. G. Johnson (2005), "Fate of *Listeria monocytogenes* Inoculated onto the Surface of Model Turkey Frankfurter Pieces Treated with Zein Coatings Containing Nisin, Sodium Diacetate, and Sodium Lactate at 4°C", *Journal of Food Protection*, 68: 855-859.
- Mali, S., M. V. E. Grossmann, M. A. García, M. N. Martino y N. E. Zaritzky (2005), "Mechanical and Thermal Properties of Yam Starch Films", *Food Hydrocolloids*, 19: 157-164.
- Mastromatteo, M., G. Barbuzzo, A. Conte y M. A. del Nobile (2009), "Controlled Release of Thymol from Zein Based Film", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10 (2): 222-227.
- Mathew, S. y T. E. Abraham (2008), "Characterisation of Ferulic Acid Incorporated Starch-Chitosan Blend Films", *Food Hydrocolloids*, 22 (5): 826-835.
- McCormick, K. E., I. Y. Han, B. W. Sheldon y P. L. Dawson (2005), "In-package Pasteurization Combined with Biocide-impregnated Films to Inhibit *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* in Turkey Bologna", *Journal of Food Science*, 70: 53-57.
- Mestrallet, M. G., V. Nepote, P. R. Quiroga y N. R. Grosso (2009), "Effect of Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) and Algarrobo (*Prosopis spp.*) Pod Syrup Coatings on the Sensory and Chemical Stability in Roasted Peanut Products", *Journal of Food Quality*, 32: 334-351.
- Mitrakas, G. E., K. P. Koutsoumains y H. N. Lazarides (2008), "Impact of Edible Coating with or Without Anti-microbial Agent on Microbial Growth during Osmotic Dehydration and Refrigerated Storage of a Model Plant Material", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9 (4): 550-555.
- Moura, M. R., F. A. Aouada, R. J. Avena-Bustillos, T. H. Mc Hugh, J. M. Krochta y L. H. C. Mattoso (2009), "Improved Barrier and Mechanical Properties of Novel Hydroxypropyl Methylcellulose Edible Films with Chitosan/Tripolyphosphate Nanoparticles", *Journal of Food Engineering*, 92: 448-453.
- No, H. K., S. P. Meyers, Prinyawiwatkul y Z. Xu (2007), "Applications of Chitosan for Improvement of Quality and Shelf Life of Foods: A Review", *Journal of Food Science*, 72: 87-100.
- Oberdörster, G., E. Oberdörster y J. Oberdörster (2005), "Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles", *Environmental Health Perspectives*, 113 (7): 823-839.
- Olivas, G. I. y G. V. Barbosa-Cánovas (2008), "Alginate-Calcium Films: Water Vapor Permeability and Mechanical Properties as Affected by Plasticizer and Relative Humidity", *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, Food Science and Technology*, 41: 359-366.
- Olivas, G. I. y G. V. Barbosa-Cánovas (2005), "Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45: 657-670.

- Olivas, G. I., J. E. Dávila-Aviña, N. A. Salas-Salazar y F. J. Molina (2008), "Use of Edible Coatings to Preserve the Quality of Fruits and Vegetables During Storage", *Stewart Postharvest Review*, 3: 6.
- Oms-Oliu, G., M. L. A. T. M. Hertog, R. Soliva-Fortuny, O. Martín-Belloso y B. M. Nicolai (2009), "Recent Developments in the Use of Modified Atmosphere Packaging for Freshcut Fruits and Vegetables", *Stewart Postharvest Review*, 5 (4): 1-11.
- Osés, J., I. Fernández-Pan, K. Ziani y J. I. Maté (2008), "Use of Edible Films Based on Whey Protein Isolate to Protect Foods Rich in Polyunsaturated Fatty Acids", *European Food Research and Technology*, 227 (2): 623-628.
- Phan, T. D., F. Debeaufort, D. Luu y A. Voilley (2008), "Moisture Barrier, Wetting and Mechanical of Shellac/Agar or Shellac/cassava Starch Bilayer Bio-membrane for Food Applications", *Journal of Membrane Science*, 325 (1): 277-283.
- Pranoto, Y., S. K. Rakshit y V. M. Salokhe (2005), "Enhancing Antimicrobial Activity of Chitosan Films by Incorporating Garlic Oil, Potassium Sorbate and Nisin", *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, Food Science and Technology*, 38 (8): 859-865.
- Ribeiro, C., A. A. Vicente, J. A. Teixeira y C. Miranda (2007), "Optimization of Edible Coating Composition to Retard Strawberry Fruit Enescence", *Postharvest Biology and Technology*, 44 (1): 63-70.
- Rodríguez, M., J. Osés, K. Ziani y J. I. Maté (2006), "Combined Effect of Plasticizers and Surfactants on the Physical Properties of Starch Based Edible Films", *Food Research International*, 39 (8): 840-846.
- Rojas-Graü, M. A. y O. Martín-Belloso (2008), "Current Advances in Quality Maintenance of Fresh-Cut Fruits", *Stewart Postharvest Review*, 4 (2): 1-8.
- Rojas-Graü, M. A., R. Soliva-Fortuny y M. Martín-Belloso (2009), "Edible Coatings to Incorporate Active Ingredients to Fresh-Cut Fruits: A Review", *Trends in Food Science y Technology*, 20: 438-447.
- Rudra, J. S., K. Dave y D. T. Haynie (2006), "Antimicrobial Polypeptide Multilayer Nanocoatings", *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 17 (11): 1301-1315.
- Sathivel, S., Q. Liu, J. Huang y W. Prinyawiwatkul (2007), "The Influence of Chitosan Glazing on the Quality of Skinless Pink Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) Fillets During Frozen Storage", *Journal of Food Engineering*, 83 (3): 366-373.
- Saucedo-Pompa, S., D. Jasso-Cantú, J. Ventura-Sobrevilla, A. Sáenz-Galindo, R. Rodríguez-Herrera y C. N. Aguilar (2007), "Effect of Candelilla Wax with Natural Antioxidants on the Shelf Life Quality of Fresh-Cut Fruits", *Journal of Food Quality*, 30 (5): 823-836.
- Schou, M., A. Longares, C. Montesinos-Herrero, F. J. Monahan, D. O'Riordan y M. O'Sullivan (2005), "Properties of Edible Sodium Caseinate Films and their Application as Food Wrapping", *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, Food Science and Technology*, 38 (6): 605-610.
- Shih, I. L., M. H. Shen y Y. T. Van (2006), "Microbial Synthesis of Poly(ϵ -lysine) and its Various Applications", *Bioresource Technology*, 97 (9): 1148-1159.
- Shon, J. y Z. U. Haque (2007), "Efficacy of Sour Whey as a Shelf-Life Enhancer: Use in Antioxidative Edible Coatings of Cut Vegetables and Fruit", *Journal of Food Quality*, 30 (5): 581-593.
- Sorrentino, A., G. Gorrasi y V. Vittoria (2007), "Potential Perspectives of Bio-nanocomposites for Food Packaging Applications", *Trends in Food Science y Technology*, 18: 84-95.
- Sothornvit, R., J. W. Rhim, S. I. Hong (2009), "Effect of Nano-Clay Type on the Physical and Antimicrobial Properties of Whey Protein Isolate/clay Composite Films", *Journal of Food Engineering*, 91: 468-473.

- Sothornvit, R. y P. Rodsamran (2008), "Effect of a Mango Film on Quality of Whole and Minimally Processed Mangoes", *Postharvest Biology and Technology*, 47: 407-415.
- Souza, B. W. S., M. A. Cerqueira, A. Casariego, A. M. P. Lima, J. A. Teixeira y A. A. Vicente (2009), "Effect of Moderate Electric Fields in the Permeation Properties of Chitosan Coatings", *Food Hydrocolloids*, 23: 2110-2115.
- Souza, B. W. S., M. A. Cerqueira, J. T. Martins, A. Casariego, J. A. Teixeira y A. A. Vicente (2010), "Influence of Electric Fields on the Structure of Chitosan Edible Coatings", *Food Hydrocolloids*, 24: 330-335.
- Sztuka, K. y I. Kołodziejska (2008), "Edible Films and Surface Coatings Made of Natural Polymers for Food Packaging. Part II. Modifications", *Polimery/Polymers*, 53 (10): 725-729.
- Tripathi, S., G. K. Mehrotra y P. K. Dutta (2008), "Chitosan Based Antimicrobial Films for Food Packaging Applications", *E-Polymers*, 93: 1-7.
- Turhan, K. N., Z. O. Erdohan Sancak, B. Ayana y F. Erdogdu (2007), "Optimization of Glycerol Effect on the Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Whey Protein-methylcellulose Films", *Journal of Food Process Engineering*, 30 (4): 485-500.
- Tzoumaki, M. V., C. G. Biliaderis y M. Vasilakakis (2009), "Impact of Edible Coatings and Packaging on Quality of White Asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) During Cold Storage", *Food Chemistry*, 117: 55-63.
- Usawakesmanee, W., M. S. Chinnan, P. Wuttijumnonng, A. Jangchud y N. Raksakulthai (2008), "Effect of Edible Coating Ingredients Incorporated into Predusting Mix on Moisture Content, Fat Content and Consumer Acceptability of Fried Breaded Product", *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30 (1): 25-34.
- Valencia-Chamorro, S. A., L. Palou, M. A. del Río y M. B. Pérez-Gago (2008), "Inhibition of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* by Hydroxypropyl Methylcellulose-Lipid Edible Composite Films Containing Food Additives with Antifungal Properties", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (23): 11270-11278.
- Valencia-Chamorro, S. M. B. Pérez-Gago, M. A. del Río y L. Palou (2009), "Effect of Antifungal Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC)-Lipid Edible Composite Coatings on Postharvest Decay Development and Quality Attributes of Cold-Stored 'Valencia' Oranges", *Postharvest Biology and Technology*, 54: 72-79.
- Valverde, J. M., D. Valero, D. Martínez-Romero, F. Guillén, S. Castillo y M. Serrano (2005), "Novel Edible Coating Based Aloe Vera Gel to Maintain Table Grape Quality and Safety", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 7807-7813.
- Vargas, M., C. Pastor, A. Chiralt, D. J. McClements y C. González-Martínez (2008), "Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48: 496-511.
- Wall, M. (2008), "Quality of Postharvest Horticultural Crops After Irradiation Treatment", *Stewart Postharvest Review*, 4 (2): 1-7.
- Wan, V. C. H., C. M. Lee y S. Y. Lee (2007), "Understanding Consumer Attitudes on Edible Films and Coatings: Focus Group Findings", *Journal of Sensory Studies*, 22 (3): 353-366.
- Yoon, S. Y. y Y. Deng (2006), "Claystarch Composites and Their Application in Papermaking", *Journal of Applied Polymer Science*, 100 (2): 1032-1038.