



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

ENVASES INTELIGENTES:

UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA INOCUIDAD ALIMENTARIA Y
DISMINUIR EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN CHILE

Proyecto de Tesis para optar al Título profesional de Ingeniero en Biotecnología

Tutor: Andrea Sepúlveda

Co tutor: Felipe Castro

Prof. Patrocinante: María Cecilia Gamboa

CATALINA PAZ CORTÉS TAPIA

Santiago de Chile

Marzo, 2017

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Hipótesis:	11
1.2. Objetivo (s):	12
1.2.1. General:	12
1.2.2. Específicos:	12
2. PLAN DE TRABAJO	13
3. METODOLOGÍA	14
4. CAPÍTULO 1: Inocuidad Alimentaria	17
4.1. Factores que afectan la inocuidad alimentaria	18
4.1.1. Deterioro en alimentos por presencia de microorganismos	25
4.2. Enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA's)	28
4.2.1. Antecedentes de ETA en Chile	33
5. CAPÍTULO 2: Pérdida y desperdicio de alimentos (PDA)	37
5.1. Antecedentes de PDA según grupo de alimentos	39
5.2. Antecedentes de PDA en la cadena de distribución	40
5.3. Estimación Desperdicio de alimentos en Chile	44
6. CAPÍTULO 3: Tecnología de Envasado Inteligente en alimentos	46
6.1. Tipos de envasado Inteligente	48
6.1.1. Identificación por radiofrecuencia (RFID)	49
6.1.2. INDICADORES	49
6.1.2.1. Indicadores de Fugas	50
6.1.2.2. Indicadores de frescura	51
6.1.2.3. Indicadores de tiempo-temperatura (TTI's)	52
6.1.2.4. Indicador de temperatura: Tinta termocrómica	53
6.1.2.5. Indicador de Humedad	55
6.1.3. SENSORES	56
6.1.3.1. Electrónica impresa	56
6.1.3.2. Nanotecnología con carbón	57
6.1.3.3. Fotónica de silicio	57
6.1.3.4. Biosensores	57
6.1.3.5. Sistemas de olfato	59
6.1.4. Aviso acústico	60
6.2. Desarrollo tecnológico de envases y su distribución en Chile	60
6.3. Tendencia en innovación de Tecnología inteligente para detectar deterioro en alimentos	61

7. CAPÍTULO 4: Análisis costo-efectivo de dispositivos inteligentes como indicador de caducidad	70
8. CAPÍTULO 5: Aplicación Biotecnológica en envasado inteligente	72
8.1. Indicadores de tiempo y temperatura (TTI)	72
8.2. Indicadores de Frescura y deterioro	73
8.3. Biosensores	75
8.3.1. Seguridad alimentaria	77
8.3.2. Calidad alimentaria	82
8.3.3. Control de procesos	84
8.4. Propuesta Envases Inteligentes	86
8.4.1. Propuesta para evaluar conservación de la cadena de frio	87
8.4.2. Propuesta para detectar presencia de <i>Salmonella spp.</i> y <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	88
8.4.3. Propuesta para detectar deterioro en alimentos	89
8.4.3.1. Carnes y productos cárneos	89
8.4.3.2. Leche y productos lácteos	93
8.4.3.3. Pescado y productos de pesca	96
9. CONCLUSIÓN	99
10. BIBLIOGRAFÍA	103
11. GLOSARIO	110
12. ANEXO	120
12.1. Apéndice A: Capítulo 1: Seguridad Alimentaria	120
12.2. Apéndice B: Capítulo 2: Perdida y Desperdicios de Alimentos (PDA)	121
12.3. Apéndice C: Capítulo 3: Tecnología de envasado inteligente en alimentos	124
12.4. Apéndice D: Capítulo 5: Aplicación biotecnológica en envasado inteligente	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Porcentaje de cada grupo <i>commodity</i> de alimento que se pierde y se desperdicia en todo el mundo.....	39
Figura 2: Cadena de valor de pérdidas y desperdicios de alimentos.	41
Figura 3: Pérdida y desperdicio de alimentos en cada etapa la cadena de valor de mariscos, frutas y vegetales, carnes y lácteos.....	42
Figura 4: Motivos del deshecho de alimentos en la fase de consumo en España.	43
Figura 5: Indicador de oxígeno..	51
Figura 6: Indicador de frescura. Sensor Q.	52
Figura 7: Indicadores de Tiempo-Temperatura Freshcheck®, Onvu® y TTsensorTM®.....	53
Figura 8: Tinta termocrómica en etiqueta de cervezas.	54
Figura 9: Indicadores de humedad. AGM Container® y Humonitor®	55
Figura 10: Tipos de interacción, detección, elemento de reconocimiento y sistema de transducción de un biosensor.	59
Figura 11: Envase que emite un aviso acústico	60
Figura 12: Número de patentes por año, de 1996 a 2015.....	63
Figura 13: Número de publicaciones por año, de 1996 a 2015.	64
Figura 14: Alimentos involucrados en brotes de ETA's notificados. Chile, año 2014	120
Figura 15: Lugar de consumo en brotes de ETA's notificados. Chile, año 2014.	121
Figura 16: CheckPack. Proyecto de producto de sistema olfativo con señal óptica integrada para detección de deterioro en productos alimenticios	125
Figura 17: Ventajas e inconvenientes de enzimas y anticuerpos como elementos de reconocimiento en biosensores.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores intrínsecos que influyen en el desarrollo microbiano en los alimentos.....	21
Tabla 2: Factores extrínsecos que influyen en el desarrollo microbiano en los alimentos	22
Tabla 3: Clasificación de los alimentos en base a su sensibilidad a la alteración.....	23
Tabla 4: Alteraciones que perjudican la calidad de los alimentos	23
Tabla 5: Principales formas de deterioro en algunos alimentos.....	24
Tabla 6: Agentes patógenos de interés en Alimentos	27
Tabla 7: Número de brotes y casos hospitalizados por brotes de ETA. Chile 2005-2013.....	34
Tabla 8: Estimación desperdicio de carnes, lácteos, frutas y verduras y pescados y mariscos en Chile. El precio utilizado para el cálculo de pérdida anual de cada alimento corresponde a precios al consumidor en supermercados de la RM de Chile.	45
Tabla 9: Número de patentes y publicaciones por jurisdicción.	62
Tabla 10: Número de patentes y publicaciones por empresa o centro investigativo solicitante. ...	64
Tabla 11: Solicitantes que desarrollaron tecnologías asociadas a TTi.....	65
Tabla 12: Solicitantes que desarrollaron tecnologías asociadas a indicadores de frescura o deterioro	66
Tabla 13: Principales áreas de aplicación de biosensores dentro del campo agroalimentario.	76
Tabla 14: Biosensores utilizados en la detección de antinutrientes y alérgenos.....	78
Tabla 15: Biosensores utilizados en la detección de biotoxinas.	80
Tabla 16: Biosensores utilizados en la detección de microorganismos patógenos.	81
Tabla 17: Biosensores utilizados para la detección de virus y protozoos	82
Tabla 18: Biosensores utilizados en la evaluación de la vida útil.....	84
Tabla 19: Análisis microbiológico requerido en leche y productos lácteos.....	94
Tabla 20: Resumen cifras recopiladas de PDA global.....	123
Tabla 21: Resumen de Envases inteligentes en el mercado	125

ABREVIATURAS

CITA: Centro de Innovación y Tecnología Alimentaria de La Rioja

CTIC: Centro Tecnológico de la Industria Cárnica en La Rioja

ETA: Enfermedades Transmitidas por los Alimentos

FAO: Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FDA: Food and Drug Administration – Estados Unidos de América

INFOSAN: Red Internacional de Autoridades en materia de Inocuidad de los Alimentos

ITENE: Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística

ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

OMS: Organización Mundial de la Salud (en inglés WHO)

PDA: Pérdida y Desperdicio de Alimento

PET: Politereftalato de Etileno

PEEK: Poliéter éter cetona

RIA: Revista de investigaciones agropecuarias

RSA: Reglamento Sanitario de los Alimentos

UE: Unión Europea

RESUMEN

Chile ha sido considerado potencia alimentaria por el mercado internacional ocupando los primeros lugares en exportación de alimentos, sin embargo hay ciertos problemas que aquejan a la industria, como la seguridad alimentaria y el desperdicio de alimentos, éste último producido en su mayoría en la etapa de distribución, *retail* y consumo de la cadena de producción. Los antecedentes obtenidos en este estudio evidencian el mismo objetivo para darle solución a dichos problemas que provocan la pérdida de miles de millones de pesos anuales. Los alimentos que causan mayores problemas de inocuidad y pérdida de capital por desperdicio son: los platos preparados, productos cárneos, lácteos, pescados y mariscos. Se estima que en Chile de toda la cadena de abastecimiento donde más se produce desperdicio es en la Fase de consumo, mismo lugar donde se generan los mayores brotes de ETA's (hogar, restaurantes y casinos) (Depto. Epidemiología MINSAL, Chile). Para ayudar en la mejora de estos problemas se ha hecho una prospección tecnológica de los envases inteligentes desarrollados en el mundo para la industria alimentaria, cuyo propósito es comunicar al consumidor, qué ha sucedido con el producto durante la cadena de distribución y por consiguiente evidenciar la caducidad del alimento por quiebre de la cadena de frío, o bien, por su estado microbiológico. A partir de la comprensión de cómo se produce el deterioro según grupo alimenticio, cuáles son los microorganismos causantes de enfermedades de transmisión alimentaria en Chile y qué es lo que gatilla la proliferación de estos microorganismos, fue posible proponer un envase inteligente que le proporcione al consumidor la información necesaria para que éste decida si consumir o no el alimento que adquirió. Dado que la principal causa de deterioro de alimentos perecibles se produce por contaminación microbiana y por la pérdida de la cadena de frío durante el almacenamiento, se propone, por un lado, un envase compuesto por un indicador de temperatura que detecte y comunique con un cambio de coloración en su etiqueta, si el alimento perdió la cadena de frío durante su transporte y/o almacenamiento, y una etiqueta con bases biotecnológicas que detecte la presencia del microorganismo más común causante de ETA's en Chile (*Salmonella spp.* y *Vibrio parahaemolyticus*) ya sea por detección del microorganismo o por algún metabolito producido por el mismo. El presente documento deja en manifiesto que es posible mejorar la inocuidad alimentaria y disminuir el desperdicio de alimentos en la cadena de abastecimiento a través de la utilización de envases inteligentes.

1. INTRODUCCIÓN

Chile ha sido considerado potencia alimentaria por el mercado internacional encontrándose en la posición 17 del ranking mundial de países exportadores de alimentos en el año 2010 (Universidad de Chile, 2015) por lo que parece interesante aplicar nuevas tecnologías en la industria de modo de mantener dicho nivel, o bien, potenciar una mejor posición en el ranking. Sólo en el año 2009 más de 11.200 millones de dólares se sumaron en la exportación de productos alimenticios y se pronostican más de 62.000 millones de dólares para el año 2030 (Gobierno de Chile, 2010), esperando que uno de cada tres chilenos trabaje en dicha industria (Gobierno de Chile, 2010), por lo que se ve una fuente factible para el crecimiento económico de Chile, instaurando el tema “Alimentos” como una de las políticas inmediatas de desarrollo nacional (Gobierno de Chile, 2010).

Por todo lo antes mencionado, en el año 2010 el Estado chileno insertó el plan Chile Potencia Alimentaria, buscando robustecer la capacidad competitiva del sector alimentario a través del fortalecimiento de las exportaciones de alimentos y monitoreando los aspectos relacionados con la cadena de distribución incluyendo la logística, marketing, I+D, introducción de nuevas variedades, empaques, trazabilidad y aspectos sanitarios (Gobierno de Chile, 2010). Es decir, se está llevando a cabo una fuerte inversión en la industria alimentaria de modo que representantes del sector público, privado y académico han trabajado en la creación de una Agenda Alimentaria para enfrentar un desarrollo sostenido y coherente de este sector, abarcando desde el productor hasta el consumidor tanto nacional como extranjero, la protección del medio ambiente, la inocuidad de los alimentos y los crecientes requerimientos de trazabilidad (Universidad de Chile, 2015).

La industria alimentaria no solo es importantísima en términos económicos para el país, es indispensable considerar, entre otros aspectos, el desarrollo y la innovación científico-tecnológica aplicada al campo de los alimentos, así como la formación de recursos humanos calificados en todos los niveles de especialización. Los productos chilenos pueden obtener y mantener una alta reputación e imagen de excelencia sólo si se implementa y mantiene un Sistema de Seguridad Alimentaria confiable y efectivo (Universidad de Chile, 2015).

Dentro de los problemas más grandes detectados en la industria alimentaria chilena se encuentran la seguridad y el desperdicio de los alimentos, temas que serán abordados más a fondo en el primer y segundo capítulo del presente estudio.

Por un lado, las pérdidas y desperdicios de alimentos durante la cadena de suministro (desde la fase de producción hasta la de consumo) ha sido un tema de gran preocupación mundial, donde se destaca la participación de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), quienes han trabajado en una estrategia llamada “*Save food*” que busca minimizar la pérdida de los alimentos que son actualmente desaprovechados. Para ello, se han considerado aspectos sociales, culturales, estudios de factibilidad, y difusión de información sobre la producción y del consumo responsable de los alimentos (INTA, 2013). Por ejemplo, en la etapa de producción, donde se producen las pérdidas, es imprescindible la capacitación a los trabajadores respecto a políticas y prácticas agrarias. Y en la etapa de consumo, donde se produce el desperdicio, es fundamental la participación de cada consumidor al momento de decidir conscientemente si debe eliminar un alimento. Para esto último es necesario educar a la población y darle las herramientas apropiadas de manera de poder dirimir mejor al momento de eliminar un producto alimenticio.

Llevándolo a cifras, se estima que 1.300 millones de toneladas de alimento son eliminados por año, lo que equivale a 750.000 millones de dólares que se desechan anualmente (FAO, 2011). Si esto se desglosa en grupos de alimentos, es posible determinar, por ejemplo, que sólo en productos lácteos el 20% de lo producido es eliminado y que el 45% de lo producido en frutas y hortalizas a nivel mundial va a la basura (FAO, 2011).

Por otro lado, la pérdida y desperdicio de alimento conlleva a un importante derroche de recursos como agua, tierra, energía, mano de obra y capital, en donde se producen emisiones de gases de efecto invernadero innecesarias, contribuyendo así, al calentamiento global y al cambio climático (FAO). Es así como sólo en agricultura, según se menciona en un documento entregado por la FAO el año 2011, se utiliza un 10% de energía y un 70% del agua global para generar alimentos, lo que finalmente provoca un efecto negativo en el medio ambiente y en la biodiversidad (un ejemplo de este último es la deforestación generada para producir alimentos, en donde cerca de 1,4 billones de hectáreas son deforestadas con este fin). Como se mencionó anteriormente el 70% del agua global es utilizada para producir alimentos, y de ésta la FAO indica que el agua usada sólo en alimentos eliminados y desperdiciados equivale a la necesaria para 9 billones de personas

(250 mil millones m³), cifras alarmantes teniendo en consideración la alta preocupación por la escasez de agua global en el último tiempo.

Evaluando este desperdicio en el ámbito económico, en muchas ocasiones son eliminados alimentos que se encuentran en óptimas condiciones, lo que conlleva a una pérdida monetaria tanto para el productor de dicho alimento como para su consumidor, que no sólo pierde alimento ignorando su real estado, sino que finalmente el precio de éstos aumenta para contrarrestar la pérdida de ingresos del productor. También influye el hecho de que cuando el usuario se ha visto afectado por consumir productos previos a su fecha de vencimiento encontrándose en mal estado, los productores acortan arbitrariamente los plazos de vida útil del alimento favoreciendo el desperdicio de productos que se encuentran aptos para el consumo aunque la información plasmada en su envasado diga lo contrario.

Otro de los problemas de la industria alimentaria se relaciona con los riesgos en la salud debido a enfermedades transmitidas por los alimentos, infecciones o intoxicaciones alimentarias producidas por la ingesta de alimentos deteriorados o que contienen microorganismos patógenos que no pueden ser detectados por el consumidor a menos que se vean alteradas las características organolépticas del alimento.

Una de las alternativas que pueden ayudar a mejorar la seguridad alimentaria y disminuir el desperdicio de alimentos es entregarle al consumidor las herramientas necesarias para que éste decida si consumir o no el producto. Para eso se propone implementar un sistema de Envasado Inteligente, de manera que cada persona pueda detectar si el alimento que esta *ad portas* de consumir se encuentra en óptimas condiciones para su ingesta. De esta forma se disminuiría el riesgo de desarrollar una intoxicación alimentaria por presencia de microorganismos patógenos, se evitaría el desperdicio de alimentos que se encuentran en buen estado, serían mejor aprovechados los recursos naturales y disminuiría el impacto ambiental (Dr. Verghese, Dr. Lewis, Lockrey, & Dr. Williams, 2013).

En el tercer capítulo del presente documento se encuentra una prospección tecnológica de envases inteligentes desarrollados en la industria alimentaria y que pudiesen solventar los problemas de inocuidad y desperdicio de alimentos antes mencionados, donde se encuentra

información de las principales empresas, patentes y publicaciones relacionadas a envasado inteligente, de manera de evaluar la tendencia en innovación en esta materia.

Para determinar la costo-efectividad del envasado inteligente se realizó un análisis estimativo tomando como ejemplo los datos del costo actual de un envasado de carne molida versus aquel que contenga un dispositivo inteligente, el detalle de este análisis es posible encontrarlo en el cuarto capítulo del presente documento.

Dentro de las tecnologías de envasado inteligente, la biotecnología ha ido ganando terreno a través de los años (disciplina responsable de estudiar el uso de microorganismos o partes de ellos para detectar sustancias o metabolitos secundarios responsables del deterioro de los alimentos), siendo los biosensores una interesante alternativa para el análisis de la composición de los alimentos (glucosa, nutrientes, etc.), la seguridad alimentaria (detección de compuestos contaminantes, alérgenos, toxinas y microorganismos patógenos) como así también el control de procesos debido a ciertas características de estos dispositivos como: su especificidad, su alta sensibilidad, su corto tiempo de análisis, su capacidad de inclusión en sistemas integrados, su facilidad de automatización, su capacidad de trabajar en tiempo real y su bajo coste, entre otras (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

En el quinto capítulo titulado Aplicaciones biotecnológicas de envasado inteligente, se abordará esta tecnología junto con la aplicación de microorganismos en Indicadores de tiempo-temperatura e Indicadores de frescura y deterioro.

1.1. Hipótesis:

El uso de biotecnología en envases de alimentos podría ayudar a detectar la presencia de microorganismos y el quiebre de la cadena de frío en alimentos perecibles producidos en Chile.

1.2.Objetivo (s):

1.2.1. General:

Evaluar y determinar a través de criterios de costo-efectividad el uso de tecnologías inteligentes aplicables a envases usados en alimentos (Productos cárneos, lácteos y de pesca) que informen al consumidor el estado de deterioro de éste por quiebre de la cadena de frío o su estado microbiológico, de modo de poder utilizarlo en el envasado para evitar el desperdicio de alimentos y mejorar la seguridad alimentaria en Chile.

1.2.2. Específicos:

- Reconocer principales problemáticas en la industria alimentaria chilena, relacionadas al desperdicio de alimentos y la seguridad alimentaria, tomando en cuenta antecedentes de las principales pérdidas o ETA's según tipo de alimento y la fase de la cadena productiva en donde se producen mayormente.
- Realizar una vigilancia tecnológica de envasado inteligente existente utilizado mundialmente en alimentos envasados que permiten detectar y comunicar el quiebre en la cadena de frío o bien el estado microbiológico del alimento perecible.
- Determinar qué tipo de dispositivos es el más costo-efectivo para ser usado como indicador de caducidad en envases de lácteos, carne y pescado fresco-refrigerado en supermercado.
- Explorar herramientas biotecnológicas en envases inteligentes y desarrollar propuesta de envasado que ayude en la detección de microorganismos y/o quiebres en la cadena de frío.

2. PLAN DE TRABAJO

El desarrollo de la presente tesis se llevó a cabo por capítulos como se muestra a continuación:

El Capítulo 1, de Pérdida y desperdicio de alimentos (PDA) junto con el Capítulo 2, de Seguridad alimentaria son desarrollados de manera de marcar una pauta de los antecedentes de la problemática en la industria alimentaria que se desea abordar de manera de poder darles solución (respondiendo al primer objetivo). En el capítulo 3, 4 y 5 se responde a los demás objetivos planteados con anterioridad.

<u>PLAN DE TRABAJO DE TESIS</u>	2014												2015			
	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero			
ACTIVIDADES	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Capítulo 1: PDA																
PDA en el mundo y Latinoamérica, Chile.	X															
PDA según etapas en la cadena de valor y grupo de alimentos		X														
Estimación de desperdicio en Chile			X													
Noticias, que se está haciendo en el mundo para disminuir el desperdicio				X												
Capítulo 2: Seguridad alimentaria																
Factores que causan deterioro en alimentos: Factores abióticos y bióticos				X												
Intoxicación alimentaria por patógenos, alta concentración de MO, presencia de parásitos					X											
ETA's en Chile, agente causal, lugar de transmisión y alimentos involucrados característicos						X										
Noticias, que se está haciendo para mejorar la inocuidad alimentaria en el mundo					X											
Capítulo 3: Tecnología de Envase inteligente																
Definición y función							X									
Tipos y sus características							X									
Vigilancia tecnológica en envasado inteligente							X	X								
Tendencias de envasado inteligente en Carnes, lácteos y pescados y productos de pesca									X	X						
Capítulo 4: Análisis costo-efectivo de dispositivos inteligentes como indicador de caducidad																X
Capítulo 5: Aplicación biotecnológica en Envasado inteligente																
Indicador de tiempo-temperatura (TTI)												X				
Indicador de Frescura													X			
Biosensores														X		
Propuesta de etiqueta inteligente en carnes, lácteos y productos del mar.															X	

3. METODOLOGÍA

Capítulo 1 y 2:

La recopilación de antecedentes bibliográficos de los problemas detectados en la industria alimentaria se llevó a cabo a través de la búsqueda de información en fuentes primarias y secundarias provenientes de estudios publicados y de informes disponibles en páginas web de autoridades regulatorias de distintos países como OMS, FAO, FDA. Tras lo anterior, se redactó el capítulo 1 y 2 del presente documento seleccionando la información relacionada con los objetivos planteados y que fuera relevante para el estudio. Para el cálculo de la estimación de desperdicio de alimentos en Chile los valores de la cantidad de producción anual de cada alimento y su precio fueron obtenidos de la ODEPA. El cálculo de pérdida monetaria anual se realizó multiplicando la cantidad de producción anual, el precio y el porcentaje de desperdicio.

Capítulo 3:

Para desarrollar el tercer capítulo con la prospección tecnológica de envasado inteligente, se recopiló información publicada por destacados centros de investigación de dicha tecnología como ITENE y el centro tecnológico ainia, junto con antecedentes mencionados en variados artículos científicos referente al tema, incluyendo una sección de vigilancia tecnológica de envases inteligentes utilizando para ello el software PatBase que cuenta con un extenso directorio de patentes a nivel mundial y que permite, a través de un análisis profundo de éstas, determinar los países en donde se presentan un mayor número de registros de la invención, los centros tecnológicos relacionados e investigadores destacados. Además es posible determinar las tecnologías emergentes y en tendencia, de tal manera que se pueda direccionar las investigaciones o desarrollos tecnológicos hacia las invenciones más promisorias y utilizadas en la industria.

Para la búsqueda de patentes se utilizaron las siguientes palabras:

TAC=("gas indicator" or "freshness indicator" or "intelligent packaging" or "smart packaging" or "time temperature indicator" or "ink that change color" or "RFID in food packaging" or "detecting perishable goods" or "nose system" or "biosensor label" or "biosensor tag" or "smart

ink label" or "indicator sensing volatiles amines" or "indicator for perishable products" or "pathogen detecting device" or "detection of food spoilage") and food)

Tras los datos recopilados en PatBase respecto a las empresas que desarrollan mayor cantidad de innovación en Tecnologías inteligentes para envasado se realizó una búsqueda y análisis de información en fuentes primarias y secundarias proveniente de estudios publicados y de informes disponibles en páginas web, seleccionando la información más relevante. Finalmente, se realizó un análisis integrado de manera de obtener conclusiones y levantar algunas recomendaciones generales para la difusión de tecnologías más efectivas para prevenir y reducir el desperdicio de alimentos y posibles enfermedades transmitidas por microorganismos presentes en éste.

Capítulo 4:

Para el análisis de costo-efectividad se investigó el costo actual de un envase de carne molida que es vendido en un supermercado (esta información fue obtenida a partir del estudio previo realizado por Fundación Chile en asociación con Coexpan-Coembal Chile y con el co-financiamiento de Innova Corfo, en el proyecto “Desarrollo de una nueva línea de envases sustentables para comercialización de productos frescos-refrigerados”, cuya finalidad era desarrollar un prototipo de envasado que extendiera la vida útil de productos frescos-refrigerados, como carne molida, utilizando un material reciclado. El resultado del proyecto contó con la elaboración de un envase diseñado para conservar productos cárnicos con material 100% reciclado y reciclable, junto con tecnologías que permiten extender la vida útil del producto en 8 días en comparación con el envasado tradicional y reducir en un 69% los costos del nuevo producto envasado).

Los distintos valores que tiene una etiqueta inteligente de tipo TTi en el mercado se compararon con el costo del envasado de carne tradicional. Para que la tecnología sea costo-efectiva se tomó el valor de la etiqueta actual como el costo máximo que puede tener una etiqueta inteligente para que el productor pueda llevar a cabo el cambio sin tener que realizar una inversión extra y por ende sea costo-efectiva.

Este análisis se puede llevar a cabo con diferentes productos alimenticios, sólo se requiere saber el costo total y parcial de su envasado.

Capítulo 5:

Para el desarrollo del capítulo 5, de aplicación biotecnológica en envasado inteligente, se seleccionaron las tecnologías mencionadas en el capítulo 3 que tuvieran características biotecnológicas y que pudiesen ser aplicadas en la propuesta de envase inteligente entregada. Es decir, TTi, Indicador de frescura y deterioro, y biosensor. Donde se especificó la función y característica biotecnológica de cada uno de ellos, dando ejemplos de empresas que los llevaron al mercado.

El envase inteligente propuesto para la detección de quiebre en la cadena de frío consta de una etiqueta TTi, cuyos materiales fueron seleccionados a partir de los antecedentes mencionados en la patente n° ES-2376559_B1.

El envase propuesto para detectar presencia de *Salmonella* spp. y *Vibrio parahaemolyticus* en los alimentos consta de una matriz que contiene sustancias que detectan específicamente dichos microorganismos. La sustancia para detectar *Salmonella* spp. fue seleccionada tras la búsqueda de patentes que tuvieran relación con kits de detección de dicho microorganismo. En el caso de *Vibrio parahaemolyticus* la información de la sustancia de detección específica se obtuvo a partir de un estudio de la FDA publicado en el año 2012.

El envase que se ha propuesto para la detección del deterioro en alimentos depende del tipo de alimento envasado, para aquellos que protegen productos cárneos se optó por el monitoreo de compuestos volátiles producidos por los microorganismos causantes del deterioro, los materiales y reactivos para dicho envase fueron seleccionados de información entregada en artículos científicos y patentes. Para el caso de productos lácteos se optó por el monitoreo del pH, al ser el ácido acético un metabolito común, para ello fueron seleccionados reactivos propuestos con anterioridad en artículos científicos que utilizaron indicadores que cambian de color tras la disminución del pH. El envase para productos de pesca propuesto consta del monitoreo de compuestos volátiles producidos por microorganismos característicos de dicho alimento, estos materiales y reactivos fueron seleccionados a partir de información recopilada de artículos científicos y patentes encontrados en la web.

4. CAPÍTULO 1: Inocuidad Alimentaria

La Calidad de los alimentos, asociada tanto a sus cualidades nutritivas y organolépticas como a sus efectos sobre la salud, constituye una prioridad para el sector de la alimentación desde los comienzos de la historia. Por su parte la seguridad alimentaria pasa a ser el eje principal sobre el que se desarrollan las políticas alimentarias, priorizando el incremento en la eficacia de los sistemas de control con el fin de garantizar el grado más alto de seguridad en los alimentos mediante la reducción efectiva de los riesgos (Universidad de Chile, 2015). La inocuidad alimentaria es uno de los factores más importantes que se deben evaluar a la hora de investigar los problemas que aquejan a la industria alimenticia puesto que los alimentos que son consumidos a diario no se encuentran libres de microorganismos o parásitos desde su origen, por lo que se requieren de ciertas medidas que permitan mantener, de cuna a tumba, la inocuidad de los alimentos establecidos en el comercio.

A pesar de que los gobiernos están haciendo lo posible por mejorar la seguridad alimentaria, las enfermedades causadas por el consumo de productos en mal estado siguen constituyendo un importante problema de salud tanto en los países en vías de desarrollo como en los países desarrollados (INFOSAN, OMS, FAO, 2006).

La OMS se refiere a la inocuidad alimentaria como “todas las medidas encaminadas a garantizar que los alimentos no causarán daño al consumidor si se preparan y/o ingieren según el uso al que estén destinados”. Por eso en Chile existe la Comisión Regional de Inocuidad, entidad que se enfoca en distintas fases, como: capacitación, producción, transporte, extracción y proceso, almacenamiento y comercialización de manera de lograr mantener la inocuidad alimentaria en toda la cadena.

La garantía de inocuidad alimentaria no sólo previene al consumidor de riesgos sustanciales para su salud sino que también alivia las grandes cargas económicas que esto conlleva para las diversas comunidades y naciones del mundo (Organización Mundial de la Salud, 2007), pasando por los productores de dichos alimentos que deben responder al consumidor por el producto en

mal estado, como también, los empleadores de cada consumidor que deben prescindir de sus servicios laborales hasta su recuperación en caso de encontrarse indispuestos.

Tomando en cuenta que la calidad de los alimentos es representada por 4 características principales: inocuidad, nutrición, características organolépticas y comerciales (Instituto de Salud Pública, Gobierno de Chile, 2014), el consumidor sólo se encontrará satisfecho si el producto que desea adquirir cumple con estas 4 características. Pero, ¿Cómo se pueden ver afectadas estas características? Estas características pueden verse mermadas a través de la cadena de valor, ya sea por malas prácticas en la etapa productiva como en su transporte y almacenamiento, pero además debido a que cada alimento tiene una vida útil donde transcurrida ésta se pueden perder las características organolépticas o nutritivas del alimento de manera natural, como parte de su ciclo, es por ello que, idealmente, todos los alimentos percederos deberían declarar su vida de anaquel, indicando claramente la fecha de expiración en los empaques y un dispositivo que abale el estado de dicho alimento, dado que éste puede estar dentro de su fecha de expiración pero haber sido expuesto a condiciones no adecuadas para su conservación y haber perdido algunas de sus características esenciales.

4.1. Factores que afectan la inocuidad alimentaria

El SEREMI de agricultura de la quinta región ha publicado una serie de causas que afectan la inocuidad de los alimentos en el transcurso de la cadena de abastecimiento y que por ende no permiten que llegue un producto de buena calidad al consumidor (SEREMI de Agricultura, 2014), dentro de ellas se destacan:

- Prácticas agrícolas inadecuadas.
- Falta de higiene en las fases de la cadena alimentaria.
- Ausencia de controles preventivos en las operaciones de elaboración y preparación de los alimentos.
- Utilización inadecuada de productos químicos.
- Contaminación de las materias primas, los ingredientes y el agua.
- Almacenamiento inadecuado.
- Aumento de la resistencia bacteriana a los antibióticos.

- Cambios en los estilos de vida de las personas, ej.: Viajes.
- Creciente comercialización de los alimentos.

Para poder mejorar la inocuidad alimentaria en el país es necesario evaluar los puntos críticos y las variables que se pueden presentar en el transcurso de la cadena de valor (accidental o natural) y que pudiesen provocarle daño al consumidor.

Los peligros más destacados en los alimentos se encuentran representados en 3 variables principales: físicas, químicas y biológicas (SEREMI de Agricultura, 2014).

- Físicos: vidrio, metales, madera, piedras u otros objetos que pudiesen generarle un daño físico al consumidor.
- Químicos: asociados a medicamentos veterinarios, dioxinas, plaguicidas y fertilizantes, micotoxinas o toxinas marinas, metales pesados, aditivos alimentarios.
- Biológicos: Incluye virus, bacterias, parásitos patógenos, toxinas naturales, toxinas microbianas, metabolitos tóxicos de origen microbiano.

La pérdida de inocuidad de los alimentos puede ser provocada por variados factores, por un lado se encuentran los *factores Abióticos* que dependen de las condiciones medio ambientales en que se encuentra el alimento (Físico: humedad, temperatura, luz, pH, oxígeno; Bioquímico: oxidación de lípidos, pardeamiento; Químico: tóxicos naturales, contaminantes y aditivos), y por otro lado están los *factores Bióticos*, que corresponden a organismos vivos capaces de contaminar alimentos inocuos (factores microbiológicos y parasitológicos) (Universidad de los Andes de Venezuela, 2015). De éstos, los principales factores causantes de la alteración de los alimentos son: el crecimiento y la actividad de microorganismos (bacterias, levaduras, mohos), la actividad enzimática y otras reacciones químicas del propio alimento, la infestación por plagas principalmente insectos, parásitos y roedores (Ulloa, 2007)

En los alimentos existe una gran diversidad de microorganismos. En general, el número y tipo de microorganismos presentes en un producto alimenticio determinado están influenciados por: el medio ambiente del cual fue obtenido el alimento, la calidad microbiológica del alimento en su estado fresco o antes de ser tratado, las condiciones higiénicas bajo las cuales el alimento fue

manipulado y tratado, las condiciones de envasado, transporte y almacenamiento para mantener la microbiota a un nivel bajo (Modulo 4: Microorganismos de alteración o deterioro, 2015).

Cabe señalar que los microorganismos, como ya se ha dicho antes, están presentes en todas partes y pueden ser parte de la flora normal de piel, manos, cavidad oral, tracto gastrointestinal, vías respiratorias, oído externo, conjuntivas, vías genitourinarias, de tal manera que es posible fácilmente contaminar un alimento. Como también existe microbiota asociada a la materia prima como parte de su hábitat natural, a través del aire, suelo, agua, heces, manipulación, utensilios, etc., por ejemplo, levaduras y hongos sobre las frutas, estafilococos en la piel de los mamíferos, *Pseudomonas* y *Alteromonas* en la piel de los pescados, corinebacterias en leche de vaca, etc. y dependiendo de las condiciones éstos se desarrollarán y conllevarán al aumento de la contaminación, provocando que se alteren los alimentos con mayor rapidez (Modulo 4: Microorganismos de alteración o deterioro, 2015).

Es importante destacar que generalmente los factores que afectan la inocuidad de los alimentos no actúan aisladamente, es decir varios parámetros en conjunto causan al deterioro del alimento puesto que deben existir ciertas condiciones ambientales para que un microorganismo u otro se desarrolle en una matriz determinada; las bacterias, los insectos y la luz, por ejemplo, pueden actuar simultáneamente para deteriorar un alimento en el campo o en un almacén, incluso generando una simbiosis entre organismos para su supervivencia y su desarrollo, en donde el calor, la humedad y el aire afectan a la vez la multiplicación y la actividad de las bacterias así como la actividad química de las propias enzimas del alimento (Ulloa, 2007)

En la **Tabla 1 y 2** se encuentran los factores de riesgo intrínsecos (que se encuentran en los propios alimentos) y extrínsecos (provenientes del medio) que influyen en el desarrollo microbiano del alimento, respectivamente, mencionando también las características que deben tener para su proliferación.

Tabla 1: Factores intrínsecos que influyen en el desarrollo microbiano en los alimentos (Universidad de los Andes de Venezuela, 2015).

Factores	Características														
Disponibilidad de nutrientes	La disponibilidad de nutrientes en un alimento es un factor limitante en el desarrollo microbiano, pues la proliferación del microorganismo dependerá de la concentración de nutrientes presente en el alimento.														
Incidencia del pH	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de Bacterias: 4,5-9,0 (Siendo el óptimo: 6,5-7,5, excepto bacterias acéticas y lácticas que se desarrollan en un pH 3,5) • Desarrollo de Hongos ácido resistentes: 4,0-6,0 (para mohos valores extremos de 2 a 11) • Desarrollo de Levaduras: 2,0-9,0 														
Potencial REDOX	<p>Determina la facilidad con que el medio pierde (Eh-) o gana (Eh+) electrones al interactuar con un microorganismo, siendo fundamental para la detección de microflora en el alimento. El crecimiento microbiano se puede dar en un amplio rango de potencial redox:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Aerobios estrictos y facultativos</u>: necesitan oxígeno como aceptor final de electrones y un elevado Eh (Ej.: estrictos: <i>Pseudomonas</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Micrococcus</i>; facultativos: enterobacterias, <i>Staphylococcus</i>) • <u>Anaerobios estrictos</u>: necesitan potenciales redox bajos (<i>Clostridium</i>, <i>Propionibacterium</i>) • <u>Microaerófilos o aerotolerantes</u>: incapaces de respiración aerobia crecen en presencia de aire (Ej.: <i>Lactobacillus</i>, <i>Streptococcus</i>, <i>Pediococcus</i>). 														
Actividad del agua	<p>Valores mínimos de A_w para el crecimiento de microorganismos en los alimentos:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Microorganismo</th> <th>A_w</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bacterias</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>Bacterias halófilas</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>Levaduras</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Levaduras osmófilas</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>Hongos</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>Hongos Xerófitos</td> <td>0,65</td> </tr> </tbody> </table>	Microorganismo	A_w	Bacterias	0,91	Bacterias halófilas	0,75	Levaduras	0,88	Levaduras osmófilas	0,60	Hongos	0,80	Hongos Xerófitos	0,65
Microorganismo	A_w														
Bacterias	0,91														
Bacterias halófilas	0,75														
Levaduras	0,88														
Levaduras osmófilas	0,60														
Hongos	0,80														
Hongos Xerófitos	0,65														
Componentes antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> • Primera barrera: estructuras constituidas por macromoléculas, bastante resistente a las agresiones físicas, químicas o biológicas • Segunda barrera: una de las funciones del pardeamiento enzimático en vegetales. Liberación de enzimas y sustratos por rotura de tejidos, pero con fines específicamente antimicrobianos. Ej. Producción de isotiocianatos en mostaza o rábano picantes en especies del género <i>Allium</i> productoras de tiosulfatos (alicina), gopipol en semillas de algodón (antibacteriano y antifúngico). Presencia de otros compuestos activos (timol, eugenol, aldehído cinámico, ácido benzoico) 														

Tabla 2: Factores extrínsecos que influyen en el desarrollo microbiano en los alimentos
(Universidad de los Andes de Venezuela, 2015).

Factores	Características																
Humedad relativa	La humedad relativa es muy sensible a la temperatura, tiende a aumentar con temperaturas bajas y a disminuir con temperaturas altas. $HR=Aw$																
Temperatura	<p>Los microorganismos se desarrollan a una temperatura determinada según su especie, las bacterias Gram + presentan mayor resistencia que las Gram -, y a su vez en forma esporulada que en vegetativa.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Clasificación</th> <th>T° mínima (°C)</th> <th>T° óptima (°C)</th> <th>T° máxima (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Termófilos</td> <td>40 - 45</td> <td>55 - 75</td> <td>60 - 90</td> </tr> <tr> <td>Mesófilos</td> <td>5 - 15</td> <td>30 - 40</td> <td>40 - 47</td> </tr> <tr> <td>Psicrófilos</td> <td>-5 - 5</td> <td>12 - 15</td> <td>15 - 20</td> </tr> </tbody> </table>	Clasificación	T° mínima (°C)	T° óptima (°C)	T° máxima (°C)	Termófilos	40 - 45	55 - 75	60 - 90	Mesófilos	5 - 15	30 - 40	40 - 47	Psicrófilos	-5 - 5	12 - 15	15 - 20
Clasificación	T° mínima (°C)	T° óptima (°C)	T° máxima (°C)														
Termófilos	40 - 45	55 - 75	60 - 90														
Mesófilos	5 - 15	30 - 40	40 - 47														
Psicrófilos	-5 - 5	12 - 15	15 - 20														
Composición de la atmósfera	<p>El desarrollo microbiano en el alimento también depende de la presencia y concentración de gases en la atmósfera. Por ejemplo, la presencia de CO₂ para algunos microorganismos tiene un efecto letal, y para otros es necesario para vivir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensibles a CO₂: mohos y bacterias Gram -. • Resistentes a CO₂: Gram + y algunas levaduras. 																

Todos los alimentos presentan distintos grados de deterioro según el tiempo de exposición al factor que le genera la alteración, lo que conlleva a la pérdida de sus características organolépticas, del valor nutritivo, de su estado higiénico y de su aspecto agradable al consumidor. El deterioro en los alimentos es un tema que está relacionado directamente con la vida útil de cada producto y comprende todo cambio que los convierta en inadecuados para su consumo. El grado de deterioro y cuánto tiempo es necesario para que se lleve a cabo dependerá de cada alimento, pues cada uno tiene una determinada sensibilidad a la alteración (**Tabla 3**) clasificándose como perecibles, semiperecibles y no perecibles según las características fisiológicas y estructurales de cada alimento. Otro factor a considerar son los efectos que se producen al ser sometidos a ciertos factores de riesgo para su deterioro.

Tabla 3: Clasificación de los alimentos en base a su sensibilidad a la alteración. (Fuente: Manual de tecnologías de envasado activo inteligente, facultad de recursos naturales, Universidad Católica de Valparaíso, oficina de transferencia tecnológica. 2000)

Clasificación	Característica
Alimentos Perecibles	<ul style="list-style-type: none"> - Se deterioran con rapidez - La forma de deterioro es distinta y depende del producto - Temperaturas bajas disminuyen el rápido deterioro - Dando un adecuado manejo y envasado su vida útil puede ser extendida.
Alimentos semiperecibles	<ul style="list-style-type: none"> - Deterioro más lento que los perecibles - Deterioro más lento debido a inhibidores naturales o agregados - Si se manipulan o almacenan debidamente permanecen sin alteración bastante tiempo.
Alimentos no perecibles	<ul style="list-style-type: none"> - Estables - No se alteran a no ser que se manipulen inadecuadamente

La disminución en la calidad de los alimentos puede ser apreciada por la pérdida de las características organolépticas de éste, que se manifiestan en ciertas alteraciones químicas, bioquímicas, físicas y microbiológicas (**Tabla 4**) que perjudican dicha calidad y lo hacen menos atractivo y seguro para el consumidor.

Tabla 4: Alteraciones que perjudican la calidad de los alimentos (Fuente: Manual de tecnologías de envasado activo inteligente, facultad de recursos naturales, Universidad Católica de Valparaíso, oficina de transferencia tecnológica. 2000)

Alteraciones químicas y bioquímicas	Alteraciones físicas	Alteraciones microbiológicas
<ul style="list-style-type: none"> • Pardeamiento no enzimático • Pardeamiento enzimático • Hidrólisis • Oxidaciones • Degradación de pigmentos naturales • Modificación de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de aroma • Pérdida o captación de agua • Magulladuras • Aplastamiento • Marchitamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Pudrición • Presencia de especies patógenas • Infecciones • Posible toxicidad

Cada alimento tiene características específicas (factores intrínsecos) que los hacen más o menos vulnerables a contaminaciones o condiciones ambientales, por lo que es necesario separarlos por grupos alimenticios con características comunes para poder determinar las causas del deterioro en cada caso. En la **Tabla 5** se muestran ejemplos de productos alimenticios según su clasificación por sensibilidad al deterioro y de qué modo se altera cada uno bajo el supuesto de un envase intacto.

Tabla 5: Principales formas de deterioro en algunos alimentos. (Fuente: Manual de tecnologías de envasado activo inteligente, facultad de recursos naturales, Universidad Católica de Valparaíso, oficina de transferencia tecnológica. 2000)

Producto alimenticio	Modo de deterioro (suponiendo envase intacto)
Perecible	
<i>Leche líquida y productos lácteos</i>	Crecimiento bacteriano, sabor oxidado, rancidez
<i>Productos frescos de panadería</i>	Crecimiento microbiano, pérdida de humedad, rancidez oxidativa
<i>Carne roja fresca</i>	Crecimiento bacteriano, pérdida del color rojo
<i>Carne de pollo fresca</i>	Crecimiento bacteriano
<i>Pescado fresco</i>	Crecimiento bacteriano
<i>Frutas y vegetales frescos</i>	Respiración, cambios en la composición, pérdida de nutrientes, machucones, marchitamiento, crecimiento microbiano.
Semiperecible	
<i>Alimento snack frito</i>	Rancidez, pérdida de crujencia, ruptura
<i>Queso</i>	Rancidez, pardeamiento, cristalización de lactosa, crecimiento de mohos.
<i>Helado</i>	Granulosidad, causada por hielo o cristalización de lactosa, textura.
No perecibles	
<i>Alimentos deshidratados</i>	Pardeamiento, rancidez, pérdida de color, textura y nutrientes
<i>Leche en polvo descremada</i>	Deterioro del sabor, pérdida de solubilización y nutrientes
<i>Cereales para el desayuno</i>	Rancidez, pérdida de crujencia y nutrientes, ruptura.
<i>Pasta</i>	Cambios de textura, enranciamiento, pérdida de calidad en vitaminas y proteínas, ruptura.
<i>Jugos concentrados congelados</i>	Pérdida de vitaminas, sabor y color, crecimiento de levaduras

Producto alimenticio	Modo de deterioro (suponiendo envase intacto)
No perecibles	
<i>Frutas y vegetales congelados</i>	Pérdida de nutrientes, textura, sabor, olor o color, y formación de hielo en el envase
<i>Carne, pollo y pescado congelado</i>	Rancidez, desnaturalización proteica, cambios de color, quemadura por frío, endurecimiento.
<i>Alimentos convenientes congelados</i>	Depende de lo que contenga la porción
<i>Frutas y vegetales enlatados</i>	Pérdidas de sabor, textura, color y nutrientes.
<i>Café</i>	Rancidez, pérdida de color y olor
<i>Té</i>	Pérdida de sabor, absorción de olores extraños.

Las alteraciones en los alimentos pueden ser muy diversas, encontrándose como señales más comunes del deterioro las siguientes (Universidad Nacional de Ingeniería Norte, 2010):

- Olor anormal, generalmente debido a bacterias aerobias en la superficie
- Aparición de mohos en la superficie con aspecto inicial de manchas
- Deterioro profundo por acción de microorganismos anaerobios facultativos
- Decoloración causada por alteraciones.

4.1.1. Deterioro en alimentos por presencia de microorganismos

Primero que todo es importante señalar que la presencia de microorganismos en los alimentos no siempre es nociva para la salud, sino que en algunas ocasiones incluso son utilizadas técnicas microbiológicas para darle ciertas características deseadas a un producto alimenticio, pero que al perder las condiciones ideales de almacenamiento, como la cadena de frío, comienzan estos microorganismos a proliferar y como consecuencia se produce un cambio en las características sensoriales del alimento, produciendo compuestos con mal olor; por ejemplo aminas y sulfuros en carne o trimetilamina en pescados, alterar la apariencia de los alimentos por cambios de color o decoloración, modificar la consistencia haciendo los alimentos visiblemente viscosos o con desarrollo micelial, provocar cambios en la textura; tales como reblandecimiento de las verduras debido a enzimas pectinolíticas, o leche hilante por contaminación con microorganismos

esporulados, alterar el sabor, generalmente añadiendo sabores debido a la liberación de ciertas sustancias metabólicas, o algunas veces, a través de la remoción de ciertos componentes del alimento que utilizan en su metabolismo como azúcares que se transforman en ácidos (Modulo 4: Microorganismos de alteración o deterioro, 2015).

En Chile, la intoxicación alimentaria a causa de patógenos involucra la ingesta de algunas bacterias, virus, protozoos, parásitos y priones presentes, cada uno en un determinado tipo de alimento según su requerimiento para proliferar y sobrevivir. Una vez dentro del organismo estos patógenos deben adaptarse al nuevo ambiente, por lo que en algunos casos metabolizan toxinas o modifican el metabolismo humano para sobrevivir al nuevo hábitat, lo que conlleva a la aparición de ciertos síntomas desagradables en el cuerpo. Tomando en cuenta la ruta de incorporación del patógeno a través de alimentos, se ve afectada la vía digestiva, por lo que el cuadro clínico característico de una Enfermedad de Transmisión Alimentaria (ETA) se manifiesta como gastroenteritis, diarrea, vómitos, etc. En la **Tabla 6** se encuentran algunos agentes patógenos de interés en la industria alimentaria, la matriz en donde generalmente se desarrollan, y los síntomas o cuadro clínico que se manifiesta una vez consumido el alimento. De allí es posible desprender que los patógenos que desembocan en una ETA provienen generalmente de alimentos en base a carnes, lácteos y mariscos.

Tabla 6: Agentes patógenos de interés en Alimentos (Fuente: Revista Nutrición, INTA, Enero 2014)

Bacterias	Matriz alimentaria	Cuadro clínico
<i>Salmonella spp.</i>	Carne de pollo, res, cerdo, leche, lácteos, huevos.	Gastroenteritis aguda, jaqueca, dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos, deshidratación severa, en algunos casos puede llegar a causar la muerte.
<i>Listeria monocytogenes</i>	Carne de res, leche, lácteos, quesos, embutidos, pescados.	Meningoencefalitis aguda con o sin septicemia, fiebre súbita, cefalea intensa, náuseas, vómitos, delirio y coma (en personas de edad avanzada, niños e inmunodeprimidos) aborto.
<i>Escherichia coli O157:H7</i>	Carne de res.	Diarrea puede ser sanguinolenta y fiebre, SHU (síndrome hemolítico urémico), fallas renales en niños pequeños.
<i>Campylobacter jejuni</i>	Carne de aves, leche, lácteos, agua contaminada.	Dolor abdominal, fiebre, diarrea profusa acuosa o sanguinolenta, vómitos, síndrome de Guillian Barré.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Leche, lácteos, quesos.	Intoxicación con náuseas severas, calambres, vómitos, diarrea.
<i>Clostridium perfringens</i>	Carne de res, cerdo, aves.	Dolor abdominal, diarrea, náuseas.
Virus		
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Mariscos crudos, camarones, jaibas y moluscos, agua de mar.	Gastroenteritis, diarrea, calambres abdominales, náuseas, vómitos, dolores de cabeza.
Virus Hepatitis tipo A	Mariscos, productos frescos, agua.	Fiebre, náuseas, ictericia, dolor abdominal. Puede causar pérdida permanente de función hepática.
Protozoos		
<i>Toxoplasma gondii</i>	Carne y cerebro de res, ovinos y cerdos.	En mujeres embarazadas: lesiones orgánicas en el feto. Encefalitis grave, corioretinitis.
Parásitos		
<i>Trichinella spiralis</i>	Carne de cerdo	Gastroenteritis febril con edema periorbitario, mialgias y postración.
<i>Taenia saginata</i> <i>Taenia solium</i>	Carne de res Carne de cerdo	Dolor abdominal, caquexia, dolores de cabeza, desorientación convulsiones, pérdida parcial de memoria, muerte.
<i>Echinococcus granulosus</i>	Carne de res, ovinos y cerdo.	Quistes pulmonares, hepáticos, síndrome tumoral, doloroso y de hipersensibilidad, ictericia, fiebre, shock anafiláctico.
<i>Fasciola hepática</i>	Hígado de res y ovinos, agua contaminada.	Fiebre (40.42°C), dolor abdominal, problemas gastrointestinales, pérdida del apetito, flatulencias, náuseas, diarrea, anemia, ascitis, ictericia, colangitis, colecistitis.

En resumen, un alimento se considera descompuesto o deteriorado cuando para los consumidores es inaceptable debido a sus características sensoriales, las cuales generalmente incluyen la apariencia, el sabor, el olor y la textura del alimento. Las características sensoriales son subjetivas y dependen de consideraciones culturales o de la agudeza de cada consumidor para percibir cambios (Modulo 4: Microorganismos de alteración o deterioro, 2015).

Que ocurran o no estas alteraciones dependerá de los factores extrínsecos e intrínsecos del alimento incluyendo su microbiota. Dependiendo de estas condiciones se desarrollarán diferentes microorganismos, pudiendo causar alteración o deterioro. Tales microorganismos pueden estar presentes en la materia prima o tener acceso al alimento en alguna etapa del proceso de producción; es difícil evitar su presencia y una vez contaminado el alimento, si éste se mantiene por periodos largos bajo condiciones adecuadas para la multiplicación microbiana, finalmente será inaceptable para el consumidor (Modulo 4: Microorganismos de alteración o deterioro, 2015).

Como se mencionó con anterioridad el consumo de alimentos que se encuentran deteriorados repercute en la salud de los seres humanos causando intoxicaciones o infecciones alimentarias con consecuencias incluso mortales en algunos casos. Estas intoxicaciones o infecciones transmitidas por alimentos se les denomina ETA's y se describen a continuación.

4.2. Enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA's)

Las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA's) abarcan un amplio espectro de enfermedades causadas por la ingesta de un alimento contaminado o alterado que provoca un efecto nocivo en la salud del consumidor y que pueden afectar a una sola persona o a un grupo de ellas, pudiendo llegar a generarse una epidemia y/o la muerte en el peor de los casos. Las ETA's pueden ser causadas por una multitud de microorganismos o sustancias químicas en cantidades que afectan a la salud del consumidor, es decir, se desarrollan por contaminación química (por presencia de toxinas provenientes de soluciones químicas) o biológica (por desarrollo de hongos, virus, parásitos y bacterias).

La Organización mundial de la salud (OMS) define las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA's) como enfermedades de carácter infeccioso o tóxico que son causadas por el consumo de alimentos o de agua contaminada. Son llamadas así porque el alimento actúa como vehículo de transmisión de organismos dañinos y sustancias tóxicas. El problema de las ETA's no se limita sólo al daño físico que causan, que en algunas ocasiones puede ser fatal, sino también al impacto socioeconómico negativo que conlleva implícitamente. Por ejemplo, una persona enferma además de representar un peligro como vector de contaminación, presenta una baja en el rendimiento de sus actividades laborales, causa su inasistencia al trabajo o estudio y frena la generación de riqueza, incurre en gastos medicinales, ya sea por el servicio público o privado al que tenga acceso, con un impacto negativo que afecta sensiblemente la economía nacional, especialmente en los casos en que el sistema social de salud no sea adecuado (Kopper, Calderón, Schneider, Domínguez, & Gutiérrez, 2009).

Las ETA's pueden ser desarrolladas por infección (causadas por organismos vivos que ingresan al organismo y ocasionan trastornos en su funcionamiento por producción de toxinas en el intestino) o por intoxicación alimentaria (donde la toxina ya se encuentra en el alimento) esta infección o intoxicación puede ser causada por microorganismos (bacterias que ingresan al organismo causando trastornos metabólicos e inflamación en los tejidos gastrointestinales ej.: Salmonelosis, listeriosis, botulismo. Toxinas de: *S. aureus* o causada por virus presentes en los alimentos ingeridos ej.: hepatitis A y rotavirus), o parásitos (generalmente en niños, causada por protozoos que ingresan al organismo como huevos que están presentes en los alimentos mal cocidos ej. productos cárnicos, vegetales mal lavados que han estado en contacto con heces de algún organismo infectado) (Ministerio de salud, Gobierno de Chile, 2014).

Las características de estas infecciones es que muchas veces pueden contagiarse de persona a persona después de que uno haya sido contagiado. La mayoría de las ETA's producen un cuadro clínico que involucra trastorno gastrointestinal, también síntomas como fiebre, fatiga, malestar intestinal, deshidratación, desnutrición, dolor de cabeza, vomito diarrea. En cuanto al periodo de incubación para que los síntomas aparezcan puede ir de 2 a 24 horas después de haber ingerido el alimento. El brote en sí, se presenta 3 días hasta 1 semana después de la ingesta. Los brotes por ETA corresponden al episodio en el cual dos o más personas presentan sintomatología similar,

caracterizada por vómito, diarrea, fiebre, dolor abdominal, cefalea, pudiendo además presentar reacciones alérgicas, deshidratación, síntomas neurológicos y otras complicaciones, después de ingerir alimentos o agua del mismo origen y donde la evidencia epidemiológica o el análisis de laboratorio determine que éstos son los causantes de la enfermedad (Ministerio de salud, Gobierno de Chile, 2014).

La salud y la vida de las personas dependen en gran parte de la calidad nutricional de los alimentos que consumen diariamente, la contaminación de los alimentos puede ocurrir por múltiples factores, desde el campo hasta la mesa del consumidor, y en cualquier momento de la cadena alimenticia. Muchos brotes ocurren por los manipuladores de alimentos, tanto del nivel comercial como domiciliario. Los brotes estudiados a la fecha, reflejan que el mayor porcentaje se asoció a la inadecuada manipulación de alimentos durante su comercialización y preparación doméstica, por lo tanto, se deben reforzar las medidas de higiene durante la preparación de los alimentos (Ministerio de salud, Gobierno de Chile, 2014).

No es raro que, en determinadas situaciones, aunque un grupo de personas haya comido lo mismo, algunas sufran una toxiinfección alimentaria y otras no. Las consecuencias no son iguales para todas (Pelayo, 2015). Hay quienes sufren leves molestias gastrointestinales, mientras que otras incluso han necesitado hospitalización. La gravedad de la toxiinfección depende de varios factores, como el microorganismo o contaminante, su cantidad y proporción respecto al total de alimento ingerido y el estado de salud de la persona (Pelayo, 2015). Este último punto es muy importante, puesto que el cuerpo debe enfrentarse a una agresión externa y no todos los organismos responden igual al agente patógeno que ingresa al sistema.

En la población existen algunos grupos de alto riesgo a contraer estas enfermedades, ya que son más susceptibles y vulnerables a los peligros alimentarios, son personas que, por diferentes motivos, pueden tener menor capacidad de defensa frente a un agente contaminante en un alimento, dentro de ellas se encuentran lactantes y niños pequeños, embarazadas, pacientes inmunodeprimidos, ancianos y viajeros o turistas (Organización Mundial de la Salud, 2007), como así también personas que padezcan alergia a ciertos compuestos presentes en determinados alimentos.

En el caso de lactantes y niños pequeños su organismo y sistema inmunitario (respuesta contra las infecciones) todavía no están plenamente desarrollados y la protección que ofrece la flora intestinal no es tan eficaz como en los adultos por lo que en ocasiones es incapaz de hacer frente a una potencial infección. Por otro lado, los tóxicos, además de tener un mayor efecto sobre sus tejidos en formación, son más difíciles de eliminar a través de unos órganos todavía en fase de maduración. La consecuencia directa es que estos pueden acumularse, con repercusiones más graves que en un adulto (Organización Mundial de la Salud, 2007).

Las personas de edad avanzada son más vulnerables a las enfermedades transmitidas por los alimentos, así como la gravedad de sus consecuencias ya que las defensas naturales contra la enfermedad disminuyen con la edad. Al encontrarse en la tercera edad las personas tienen un organismo vulnerable por un sistema inmune debilitado, como así también enfermedades crónicas asociadas y unas funciones vitales en general más deterioradas. Por otro lado, también corren mayor riesgo de padecer defectos de la visión que alteran su capacidad para determinar si los alimentos están bien cocinados o si las superficies donde se manipulan se encuentran completamente limpias (Organización Mundial de la Salud, 2007).

En el caso de embarazadas los cambios hormonales del embarazo alteran el sistema inmunitario materno, con la consiguiente disminución de su función y el aumento de la vulnerabilidad a las enfermedades transmitidas por los alimentos. Además, el feto en desarrollo es vulnerable a patógenos alimentarios que pueden no causar enfermedad en la embarazada. Por ejemplo, *Listeria monocytogenes* y *Toxoplasma gondii* pueden causar partos prematuros, abortos, muerte fetal o malformaciones fetales sin que la madre presente síntomas (Organización Mundial de la Salud, 2007). Por otro lado, el bebé en gestación es, en ocasiones, muy vulnerable a ciertas sustancias u organismos que podrían alterar su buen desarrollo. Contraer algunas enfermedades de transmisión alimentaria, como la toxoplasmosis, así como intoxicarse por sustancias químicas o exceder la ingesta de contaminantes de esta naturaleza durante el embarazo puede tener graves consecuencias (Pelayo, 2015).

Los pacientes inmunodeprimidos sometidos a tratamientos antineoplásicos, trasplantados o con enfermedades crónicas como la infección por VIH/SIDA tienen un sistema inmunitario debilitado que los vuelve especialmente propensos a contraer enfermedades transmitidas por los alimentos. En estos pacientes, las infecciones bacterianas producen a menudo complicadas secuelas, e incluso la muerte (Organización Mundial de la Salud, 2007).

Los turistas o viajeros internacionales contraen a menudo diarreas por consumo de alimentos contaminados. Las alteraciones inmunitarias, los cambios dietéticos y climáticos, el estrés, los conocimientos limitados sobre los problemas y las tradiciones sociales locales son algunos de los factores que aumentan la complejidad del problema. Considerando que la microbiota del país visitado por lo general es diferente a la del país residente es difícilmente reconocida por el sistema inmune y, por ende, difícil de combatir y eliminar por el organismo (Organización Mundial de la Salud, 2007).

Las personas alérgicas e intolerantes a ciertas sustancias alimenticias conforman un grupo de riesgo especial, ya que un alimento que para el resto de la población es saludable, sin contaminantes de naturaleza química o biológica, para ellos constituye un motivo de alteración o enfermedad. Además de la sustancia desencadenante de la alergia (alérgeno), hay que tener en cuenta también su cantidad (umbral de reacción) y las circunstancias específicas en cada caso, como reacciones cruzadas con otros alimentos o medicamentos (Pelayo, 2015).

Los brotes por ETA generan pérdidas económicas que incluyen costo médico, hospitalario, en fármacos, pérdidas en productividad que se traducen en pérdidas al empleador del consumidor (ausentismo, licencias médicas, mal rendimiento en el trabajo) (Quintana & Unidad Inteligencia Alimentaria Fundación Chile, 2011). Por otro lado, los costos asumidos por los productores incluyen las pérdidas en ventas porque los consumidores se abstienen de adquirirlos por el desprestigio de los productos, del fabricante y la consiguiente pérdida de valor de las marcas comerciales (Quintana & Unidad Inteligencia Alimentaria Fundación Chile, 2011). El valor específico de la pérdida económica total causado por ETA's no es fácil de estimar, puesto que la gran mayoría de los casos no son notificados. Un ejemplo de la variación que los datos pueden proporcionar es el de los Estados Unidos, donde el número anual de casos de ETA varía entre 6,5

y 33 millones lo que conlleva a un costo de 9,3-12,9 mil millones de dólares anuales (Quintana & Unidad Inteligencia Alimentaria Fundación Chile, 2011).

4.2.1. **Antecedentes de ETA en Chile**

En el sector agropecuario y pesquero ocurren ciertas consecuencias si es que se desarrolla un brote por intoxicación alimentaria, estos impactos negativos son (SEREMI de Agricultura, 2014):

- Pérdida de confianza del comprador sobre la calidad de los productos.
- Pérdidas significativas de ingresos para los productores.
- Reclamos y devoluciones
- Cierre de plantas o Fábricas
- Sanciones regulatorias
- Demandas
- Desprestigio individual y colectivo
- Mala publicidad
- Mala imagen para el país

Es difícil detectar la magnitud real de brotes de ETA puesto que son pocas las personas que consultan a centros asistenciales por síntomas gastrointestinales (usualmente los reportes oficiales sólo representan a un pequeño porcentaje). Por otra parte, sólo a una fracción de estos consultantes se les extrae muestras clínicas para la determinación del agente causal, lo que complica el estudio de la inocuidad alimentaria en Chile. Sin embargo, es posible tener una información aproximada con los datos que se encuentran en el departamento de epidemiología del MINSAL y entidades como la OMS.

Tabla 7: Número de brotes y casos hospitalizados por brotes de ETA. Chile 2005-2013. (Fuente: Ministerio de Salud, Gobierno de Chile)

<i>Año</i>	N° Brotes	N° Hospitalizados
2005	581	158
2006	1.106	219
2007	1.035	117
2008	1.316	255
2009	910	199
2010	741	197
2011	974	250
2012	1.019	174
2013	1.164	156

Los brotes por ETA en Chile han fluctuado desde 581 brotes el año 2005, hasta 1.316 brotes notificados durante el 2008 (**Tabla 7**). Históricamente en Chile entre los años 2005 y 2010 se notificaron 5.689 brotes de ETA, de ello el 65% correspondió a “ETA bacteriana no especificada”, mientras que el 10% fue registrada como “Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso”. Es decir, 81% del total de brotes analizados no tuvo un diagnóstico etiológico preciso. Dentro de las etiologías más relevantes se destacan “Intoxicación alimentaria debido a *Vibrio parahaemolyticus*” y a “*Salmonella enteritidis*” con 9 y 3%, respectivamente (Olea , 2012).

Al analizar la ocurrencia de brotes por región durante el período 2005-2010, la Región Metropolitana registró el mayor número de brotes de ETA (3.066 brotes) seguido por la Región de Valparaíso (1.220 brotes), lo que representó 54 y 21% del total de brotes notificados en el país para dicho período, respectivamente. Los agentes etiológicos mayormente involucrados en ambas regiones fueron: *V. parahaemolyticus* (64%), *Salmonella spp.* (11%), *Shigella spp.* (6%) *Shigella sonnei* (5%). El único brote por *Listeria monocytogenes* ocurrido en el año 2008, afectó a 119 personas, mayoritariamente mujeres embarazadas, ancianos e inmunodeprimidos (Olea , 2012).

La sintomatología más frecuentemente reportada en ese periodo correspondió a diarrea y dolor abdominal (ambos en 73% de los casos), seguido por náuseas o vómitos (68%) y fiebre (19%). De acuerdo a la gravedad de los brotes notificados, el 97% correspondió a pacientes ambulatorios, 3,2% fueron hospitalizados y 0,1% falleció a causa de la ETA. El 64% de los brotes notificados durante el período en estudio reportó información respecto al alimento involucrado. De ellos, los pescados y productos de la pesca alcanzaron la mayor proporción (42%), y dentro de este grupo, 72% correspondió a moluscos bivalvos crudos (Olea , 2012).

De los brotes con información alimentaria, 21% registró consumo de comidas y platos preparados; los ocasionados por consumo de carnes o productos cárnicos alcanzaron a 11%, y de estos últimos, las carnes de aves fueron las causantes de 36% de los brotes. Respecto a la identificación del local de consumo de alimentos contaminados, esta información estuvo presente en 72% del total de brotes notificados. El mayor porcentaje lo obtuvo el hogar (29,3%) seguido de restaurantes (12,8%) y casinos (4,9%), orden que se mantiene en los análisis por año. En los cinco años analizados, sólo el 49% de los brotes registró el dato de pérdida de inocuidad del alimento. El proceso de manipulación del alimento fue la causa de 34,1% y la pérdida de inocuidad durante el proceso de producción dio cuenta de 11,3%. El año 2005 se registró el valor más alto para el proceso de manipulación comercial (59,2%); sin embargo, ese mismo año se registró el valor más bajo para el proceso de manipulación doméstica (13,1%) y para el proceso de producción (12,4%). La tendencia a lo largo de los años indica una disminución en la proporción de la pérdida de inocuidad atribuible a la manipulación comercial pero un aumento en el valor de manipulación doméstica y producción, alcanzando al año 2010 valores de 30,6- 26,1 y 18,1%, respectivamente (Olea , 2012).

Según el informe del departamento de epidemiología del Ministerio de Salud de Chile hasta la Semana 21 del año 2014 se notificaron 461 brotes de ETA (un 1% de los casos requirió hospitalización y no se registraron fallecidos), cifra menor a lo notificado a igual período del año 2013 (con 664 brotes). El mayor porcentaje de brotes notificados se concentró en las regiones más pobladas: Metropolitana, Valparaíso y Biobío (Ministerio de salud, Gobierno de Chile, 2014).

Los 461 brotes mencionados han afectado a un total de 2.768 casos, lo que significa un promedio de 6 casos por brote. Un 1,2% de los casos se hospitalizó y no se registran casos fallecidos a la fecha. Del total de brotes, en el 9% se logra identificar un agente, y de ellos, el 93% el agente identificado fue *Salmonella* spp, seguido de *Vibrio parahaemolyticus* (5%). El 98% de los brotes notificados se asoció a un tipo de alimento, siendo los más frecuentemente involucrados la comida y platos preparados (44%) y los productos del mar (26%) (Anexo, Apéndice A, **Figura 14**), mientras que el lugar de consumo del alimento se consigna en el 96% de los brotes y de estos, en el 51% de los brotes el lugar de consumo fue el hogar y en el 49% de los brotes un establecimiento de expendio y/o preparación de alimentos (Anexo, Apéndice A **Figura 15**). Parte de la investigación epidemiológica considera la identificación de la causa de la pérdida de la inocuidad alimentaria, lo cual se determinó en un 97% de los brotes. En su conjunto la manipulación comercial (41%) y manipulación doméstica (35%) concentran el 76% de las causas, mientras que en un 18,0% de los brotes no se logró determinar la causa. El almacenamiento, procesamiento industrial, transporte, producción primaria y materia prima registran un bajo porcentaje.

De ambos estudios (histórico desde el año 2005 y de las primeras 21 semanas del 2014) se puede desprender que *Salmonella* spp y *Vibrio parahaemolyticus* siguen siendo los microorganismos causales de la mayoría de los brotes registrados desde el año 2005 hasta el año 2014, que comidas y platos preparados junto con productos del mar son los alimentos que más actúan como vectores de agentes patogénicos y que el lugar de consumo con mayor índice de ETA es el hogar, siendo la manipulación la principal causa de la contaminación alimentaria. Por un lado *Vibrio parahaemolyticus*, se trata de una bacteria Gram negativa, halófila, que se encuentra naturalmente en ambientes marinos. Las infecciones producidas por este microorganismo se han asociado al consumo de pescados y mariscos crudos, semi-cocidos o recontaminados después de la cocción (Universidad Nacional de Ingeniería Norte, 2010). *Salmonella* spp en cambio es una bacteria que está propagada en los intestinos de las aves, reptiles y mamíferos. Puede propagarse a los seres humanos a través de toda una serie de alimentos diferentes de origen animal. En las personas con sistemas inmunológicos subyacentes de salud deficiente o debilitada, puede invadir la corriente sanguínea y ocasionar infecciones que ponen en peligro la vida. Los alimentos de mayor riesgo de contaminación por *Salmonella* spp. son por ejemplo: las carnes crudas, aves de corral,

pescado, camarón, huevo, leche, productos lácteos, ensaladas, entre otros (Universidad Nacional de Ingeniería Norte, 2010).

5. CAPÍTULO 2: Pérdida y desperdicio de alimentos (PDA)

Si bien es cierto la inocuidad alimentaria por décadas ha sido un tema de gran valor en la industria de los alimentos, actualmente lo es también el deshecho de alimentos a lo largo de toda la cadena de valor aun encontrándose en buen estado para ser consumidos. La pérdida y desperdicio de alimentos es un tema que ha despertado una gran preocupación en los últimos años debido a que genera un impacto económico, social (los alimentos se encuentran en buen estado para el consumo y aun así son eliminados) y medio ambiental pues estos alimentos consumen una gran cantidad de recursos naturales, como agua y tierra, lo que perjudica al medio ambiente y a la sustentabilidad de dichos recursos.

Según datos recopilados por la FAO el año 2011, cada año un tercio, aproximadamente, de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o se desperdicia en todo el mundo, lo que equivale a cerca de 1.300 millones de toneladas al año, significando un costo de unos 750.000 millones de dólares anuales.

Hoy en día el ser humano está tomando mayor conciencia ecológica y social, lo que se manifiesta en un gran interés por revertir esta situación desarrollando estrategias de intervención en las distintas etapas de la cadena alimentaria con ideas innovadoras para prevenir el desperdicio de alimentos, y entregar mayor información a los actores involucrados en la cadena de abastecimiento para evitar que eliminen alimento que se encuentra en buenas condiciones.

Un estudio realizado por la Confederación Española de Cooperativas de Consumidores y Usuarios (HISPACOOOP, 2012), revela que sólo en Europa se desperdician unos 89 millones de toneladas de alimentos, dentro de los países que más desperdician comida se encuentra Alemania que desperdicia 10,3 millones de toneladas de alimento, Holanda: 9,4 millones de toneladas, Francia: 9 millones de toneladas, Polonia: 8,9 millones de toneladas, Italia: 8,8 millones de

toneladas y finalmente España con 7,7 millones de toneladas de alimentos desperdiciados al año (Zudaire, 2014).

En España por ejemplo, más del 45% de estos alimentos podrían haberse consumido si su adquisición se hubiese planificado, gestionado y almacenado mejor. Aproximadamente el 30% de la comida empaquetada se tira antes de ser abierta y alrededor del 50% de los alimentos desperdiciados lo constituyen frutas y verduras, seguidos de sobras procedentes de platos cocinados en casa, casinos y/o comida rápida (Ministerio de Agricultura, Alimentación Y Medio Ambiente. España, 2013). Es decir, con un buen plan de manejo de los alimentos sería posible reducir de manera considerable el desperdicio de alimentos beneficiando económicamente a cada actor de la cadena alimenticia desde el productor hasta el consumidor de éste.

De toda la pérdida y desperdicio de alimentos a nivel mundial cerca de un 67 % ocurre en Asia y África. Mientras que América del Norte y Oceanía pierden y desperdician casi la mitad de lo que producen, 42% (Lipinski, y otros, 2013). Y entre un 30% y un 50% de los alimentos que son comestibles se convierten en residuos sin llegar al consumidor final.

Se estima que en América Latina las pérdidas y desperdicios llegan en promedio a valores de alrededor de 220 kg/año/persona, la gran mayoría de ellos generados en las etapas que van desde la producción a la venta minorista, y solo una menor proporción al consumo (INTA, 2013).

La FAO estima que el 6% de las pérdidas mundiales de alimentos se dan en América Latina y el Caribe y cada año la región pierde y/o desperdicia alrededor del 15% de sus alimentos disponibles, a pesar de que 47 millones de sus habitantes aún viven día a día con hambre.

La manera más eficiente de poder dirigir una posible solución a esta problemática es acotar la información analizando más detalladamente los porcentajes de PDA que se producen según grupo de alimentos, y así saber cuál se ve más afectado y también analizando por etapas de la cadena de abastecimiento, de modo de saber en qué periodo de dicha producción se está eliminando mayor cantidad de alimentos.

5.1. Antecedentes de PDA según grupo de alimentos

En América Latina y el Caribe, las principales pérdidas se producen en la cadena de las frutas y hortalizas y de los cereales debido a causas variadas que incluyen desde la falta de precisión en la programación del calendario de cosecha hasta el uso de técnicas y equipos inadecuados en la recolección y el almacenamiento (INTA, 2013).

La FAO en el año 2011 publicó un documento en donde se revela el porcentaje de pérdidas y desperdicio de alimentos a nivel mundial y por regiones según grupos alimenticios producidos, siendo el grupo de frutas y hortalizas el que genera mayor cantidad de PDA con un 45% por sobre el resto de los alimentos estudiados (**Figura 1**). Sin embargo en productos como carnes y pescados, a pesar de tener menor porcentaje de pérdidas (20 y 30% respectivamente), son productos con un mayor valor monetario, por lo que económicamente su desecho podría afectar mayormente a los actores de la cadena (**Figura 2**). De hecho, la carne representa alrededor del 4% de desperdicio total de alimentos, pero alrededor del 20% de los costos económicos totales de este desperdicio (INTA, 2013).



Figura 1: Porcentaje de cada grupo *commodity* de alimento que se pierde y se desperdicia en todo el mundo (INTA, 2013).

5.2. Antecedentes de PDA en la cadena de distribución

Las causas de las pérdidas o desperdicios de alimento son variadas y dependerán del nivel en que se encuentre cada país, del desarrollo tecnológico y económico de los productores en esta materia y del gusto del consumidor por el producto que desea adquirir ya que muchas veces los agricultores que abastecen a mercados de mayor valor generan muchos más desperdicios una vez que se realiza la clasificación de los productos, con alimentos que se descartan por imperfecciones, su talla o su forma, que no necesariamente afectan a la inocuidad de estos productos o disminuyen su nivel nutricional para la alimentación.

Los países en desarrollo o de bajos ingresos pierden o desperdician alimentos en gran medida por limitaciones en infraestructuras debido a malas instalaciones y servicios de transporte, también almacenaje, elaboración y envasado, además de carencias de capacidades humanas en la producción, cosecha, elaboración, transporte de alimentos, mecanismos de mercado, de los precios, así como en los marcos institucionales y legales, y finalmente a las reglas de etiquetado y fecha de caducidad arbitrarias o mal entendidas (FAO, 2011)

Los alimentos se pierden o desperdician en toda la cadena de suministro, desde la producción inicial hasta su consumo final en los hogares. Esta acción puede ser accidental o intencional, pero en última instancia conduce a una menor disponibilidad de alimentos para todos (FAO, 2014).

La cadena de distribución de un alimento consta de variadas etapas según el producto que se desea desarrollar, a grandes rasgos, como se muestra en la **Figura 2** se comienza por una fase de producción, luego manipulación y almacenamiento, procesamiento y empaque, distribución y *retail*, para llegar finalmente a la fase de consumo en donde el cliente adquiere el alimento.



Figura 2: Cadena de valor de pérdidas y desperdicios de alimentos (INTA, 2013).

Causas de PDA según Fase de la cadena de valor: En la *Fase de producción* de la cadena se pierde alimento por falta de tecnología, mala infraestructura, falta de recursos o el incumplimiento de estándares productivos, mientras que en la *Fase de manipulación y almacenamiento* los alimentos pueden ser contaminados por pestes, hongos, parásitos, etc. que aceleran su deterioro o bien patógenos que ponen en riesgo la salud humana (Lipinski, y otros, 2013). En la *Fase de Procesamiento y empaque* se pueden generar procesos ineficientes que no le den al alimento las condiciones ideales para su conservación (Lipinski, y otros, 2013).

La pérdida de alimentos durante su *distribución* generalmente se debe a un tema estético, en donde el producto que no cumple con los requisitos visuales del consumidor no es comprado por el *retail*, o bien el alimento no es vendido antes de la fecha de vencimiento (Lipinski, y otros, 2013). La pérdida alimentaria en la etapa de *Consumo* se debe a un tema estético como se mencionó anteriormente, y también por su eliminación al haber pasado su fecha de caducidad (Lipinski, y otros, 2013).

La PDA ocurre en todos los eslabones de la cadena alimentaria, pero ¿Cuál es la etapa en donde se produce mayor cantidad de desperdicio? En la **Figura 3** se encuentra un mapa conceptual de PDA en cada etapa de la cadena de abastecimiento para los 4 grupos de alimentos que generan mayores pérdidas económicas, y por lo tanto son de interés para la industria: Mariscos, frutas y verduras, carnes y lácteos. Lo más concluyente de estas cifras, es que en cada caso la mayor cantidad de PDA se produce en la Etapa de consumo para los 4 grupos estudiados. Es importante

recaltar que estos porcentajes fueron calculados para USA, Canadá, Australia y Nueva Zelanda, pero como no se encuentra este tipo de información en Chile se tomaron estos antecedentes para realizar un estimativo del desperdicio en la etapa de consumo de Chile.

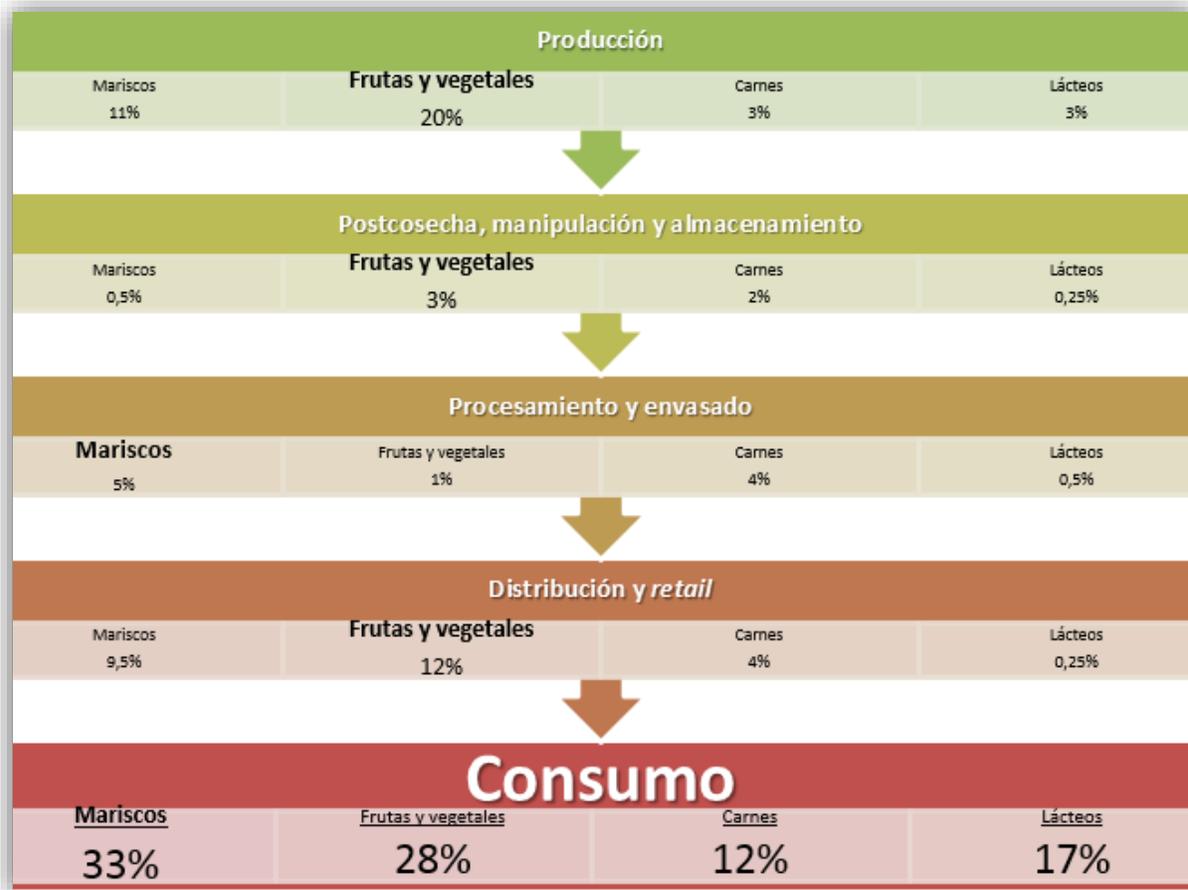


Figura 3: Perdida y desperdicio de alimentos en cada etapa la cadena de valor de mariscos, frutas y vegetales, carnes y lácteos. Los grupos que se encuentran en letra negrita corresponden a aquellos que generan la mayor cantidad de PDA según etapa de la cadena y los que se encuentran subrayados corresponden a la etapa de la cadena de cada alimento en que existe mayor PDA (Gunders, 2012)

Otras fuentes como la FAO también concluyen lo mismo, es decir del total de alimentos que se pierden y desperdician en un año en los países industrializados más del 40% de las pérdidas son a nivel de *retail* y de consumidor (222 millones de toneladas), mientras que los países en vías de

desarrollo como, África subsahariana y América Latina, más del 40% de las pérdidas son durante la postcosecha, manipulación y procesamiento del alimento (230 millones de toneladas).

Por otro lado, la Comisión Europea cuantificó en el año 2010 que el 42% de las pérdidas y desperdicio de alimentos en la Unión Europea se producen en los hogares, un 39% en el procesado, un 14% en la restauración y un 5% en la distribución.

Los hogares son el origen de cerca del 42% de las pérdidas y desperdicios alimenticios en países desarrollados. Según un estudio de la Confederación Española de Cooperativas de Consumidores y Usuarios (HISPACOO, 2012) y avalado por el Instituto Nacional de Consumo de España, la mayoría de los hogares bota los alimentos en el hogar porque sobran de las comidas (86,4%) y por encontrarse deteriorados por su mala conservación o por el exceso de tiempo de almacenamiento (63,6%), mientras que para productos caducados y con fecha de consumo expirada 28,5% y 9,6% respectivamente (**Figura 4**).



Figura 4: Motivos del deshecho de alimentos en la fase de consumo en España (HISPACOO).

En síntesis, la mayoría de las pérdidas de alimentos se produce en las fases de post-producción, recolección, transporte y almacenamiento, mientras que el desperdicio de alimentos es sobre todo un problema en las fases de comercialización y consumo en los países más desarrollados, por lo que es necesario desarrollar ideas innovadoras para evitar este desperdicio y pérdida de alimentos en buen estado.

Dentro de las soluciones que se manejan internacionalmente para atacar la pérdida y desperdicio de alimento la FAO expresa que es necesario realizar una gestión a nivel de todos los actores del sistema agroalimentario global, es decir a nivel de producción primaria, manipulación de postcosecha, procesamiento, distribución, ventas, y consumo.

El deshecho de alimentos por una administración inconsciente por parte del consumidor (Ej.: eliminación de alimentos olvidados, que sobran de las comidas, mal preparados que no gustan, etc.) sólo tendría solución con iniciativas sociales que le permitan desarrollar conciencia del almacenamiento y la preparación de los alimentos, evitando así el desperdicio de éstos. Sin embargo, hay cierta información del alimento que no puede ser apreciable por el consumidor, como la presencia de microorganismos nocivos para la salud que por lo general se encuentran en bajas concentraciones y no desarrollan características organolépticas indeseables fácilmente detectables. Por lo que independiente de las medidas tomadas por el consumidor para evitar la PDA al momento de eliminar el producto envasado existiría la disyuntiva de si el producto se encuentra o no apto para su consumo.

La vida útil de los alimentos se estipula muchas veces de manera arbitraria y es informada al consumidor destacando en su envase la fecha en que fue elaborada y una fecha estimativa de su expiración. La fecha de vencimiento es sólo una advertencia o consejo al usuario de que el alimento ya está por descomponerse o deteriorarse, pero no significa fehacientemente que se encuentre en mal estado y, por otro lado, que el alimento se encuentre dentro de la fecha que el envase indica como óptimo para el consumo, tampoco significa que éste se encuentre en buenas condiciones pues puede contener algún patógeno característico del alimento que eventualmente podría provocar una intoxicación alimentaria al consumidor una vez que sea ingerido.

5.3. Estimación Desperdicio de alimentos en Chile

En la **Tabla 8** se encuentra el resumen del valor monetario de los alimentos que son desperdiciados en la etapa de consumo como carnes, lácteos, frutas y verduras y pescados y productos del mar.

Tomando en cuenta que en Chile no existe esta información se calculó un estimativo del desperdicio de alimentos.

Considerando que cada producto tiene un distinto valor *per se* y varía según lugar de comercialización, fueron seleccionados al azar algunos tipos de alimentos pertenecientes a cada grupo y se obtuvo, de cada uno, el precio al consumidor en supermercados de la Región Metropolitana de Chile.

Tabla 8: Estimación desperdicio de carnes, lácteos, frutas y verduras y pescados y mariscos en Chile. El precio utilizado para el cálculo de pérdida anual de cada alimento corresponde a precios al consumidor en supermercados de la RM de Chile. (Fuente: ODEPA, diciembre 2014)

<i>Grupo de alimento</i>	<i>% Desperdicio</i> <i>(Etapa de consumo)</i> <i>(Gunders, 2012)</i>	<i>Perdida monetaria anual</i> <i>(\$ mil millones/año)</i>
<i>Carnes</i>	12%	Aves (pollo entero): \$ 170,1 Cerdo (lomo): \$ 385,4 Bovino (lomo liso): \$ 206,4
<i>Lácteos</i>	17%	Leche: \$ 315,4 Yogurt: \$ 50,7 Queso: \$ 32,6
<i>Frutas y Verduras</i>	28%	Tomate Industrial: \$ 74,2
<i>Pescados y mariscos</i>	33%	Salmon: \$ 1.372,7

6. CAPÍTULO 3: Tecnología de Envasado Inteligente en alimentos

El envasado alimenticio contribuye a garantizar la seguridad y calidad de los alimentos, y para ello tiene ciertas funciones básicas: protección (mecánica, química y microbiana), comunicar, informar, transportar, preservar, facilitar el uso, contener, impactar. Sin embargo, el consumidor se ha vuelto más exigente y requiere un envasado que cumpla con ciertas características como asepsia, mayor información del alimento, mayor protección, utilizar materiales biodegradables, buen diseño y llamativo, no utilizar exceso de material, un modelo cómodo para almacenar y servir el producto. Y, por otro lado, también se han vuelto más conscientes del daño provocado por el hombre en el medio ambiente, por lo que requiere la generación de una nueva tecnología en envasado que permita cumplir con los requisitos de todos los actores de la cadena de distribución, a partir del desarrollo de una tecnología de envasado innovadora y creativa que garantice seguridad alimenticia, calidad y trazabilidad del alimento (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014). Idealmente un envasado costo-eficiente cuya finalidad es economizar procesos, resolver temas de seguridad y calidad en la cadena de suministro del producto y reducir sus pérdidas, siendo una buena alternativa para disminuir la PDA en la etapa de distribución, *retail* y de consumo de la cadena de valor del alimento.

Las tecnologías de envasado se pueden clasificar de la siguiente manera:

Envasado activo, definido legalmente como un sistema en donde el producto, el envase y su ambiente interactúan permitiendo la extensión de la vida útil del alimento. Por lo que es una extensión de la función de protección tradicional del envase de alimentos, y ha sido diseñado con un componente que permite la liberación o absorción de sustancias indeseadas, dentro, en el envase, o que se encuentre en el ambiente que rodea al alimento (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

Envasado inteligente, a grandes rasgos, se le llama a aquel sistema en que el envase le da información al consumidor respecto al alimento que está adquiriendo. Si lo llevamos al ámbito de la inocuidad alimentaria el envasado inteligente es necesario para detectar patógenos humanos de manera de alertar al consumidor de su contaminación, por otro lado, el envasado activo es

necesario para prevenir o reducir el crecimiento de estos patógenos en el envase (Charles L. Wilson, 2007).

Ambos sistemas de envasado pueden trabajar sinérgicamente y generar un **envasado ingenioso**, cuya característica es el monitoreo de cada cambio que pueda desarrollarse en el producto y a su vez que se produzca la extensión de su vida útil por la presencia de un principio activo en el envase (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

La elección del envasado para un determinado alimento depende de variados factores, dentro de los que destacan la legislación de cada país, lo que sucede en el mercado global, extensión de la vida útil del alimento, conveniencia, tener un alimento seguro y saludable, responder con preocupaciones medio ambientales, autenticidad y desperdicio de los alimentos (Realini & Marcos, 2014), y para su desarrollo es importante tomar en cuenta el costo de producción del envase, las características del alimento que se desea envasar, de los problemas que se quieren solucionar en la cadena de abastecimiento y de las tecnologías desarrolladas hasta la fecha que permitan ayudar a generar el nuevo envase.

El envasado inteligente es un sistema que le entrega al consumidor información útil de las propiedades y/o estado del alimento envasado, su procesamiento, calidad, manejo, transporte y/o almacenamiento. Contiene un componente que permite monitorear la condición del envase (integridad) o del medioambiente que rodea el alimento (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014). La tecnología innovadora de envasado inteligente fundamentalmente debe considerar dos aspectos: por un lado estar de acuerdo con la regulación, por lo que los sistemas pueden colocarse en la superficie externa del envase y separarse del alimento mediante una barrera funcional situada dentro de los materiales u objetos en contacto con los alimentos, lo que impide que las sustancias no autorizadas por el RSA (Reglamento Sanitario de los Alimentos) en caso de potencialmente existir en el nuevo envase, tengan contacto directo con los alimentos; y por el otro, generar un beneficio tal que no sea tan doloroso invertir capital extra en éste por parte de los productores. Es importante acotar que en Chile existe poca regulación al respecto por lo que los mayores referentes de regulación son tomados de la Unión Europea (1935/2004) y FDA [CFR 21] en caso de encontrar vacíos en el RSA.

En otras palabras, un envase inteligente es una extensión de la función de comunicación del envase tradicional, se comunica con el consumidor por su habilidad de sensar, detectar o grabar cambios en el producto o su ambiente.

Una gran variedad de sensores han sido desarrollados para informar la condición del alimento. Se pueden basar en reacciones químicas, enzimáticas, inmunoquímicas o mecánicas. Estos sensores pueden ser colocados dentro o fuera del envase para detectar y comunicar condiciones e historia de temperatura/tiempo, niveles de CO₂ y O₂, deterioro o filtración del envase, frescura y madurez, crecimiento microbiano, identificación de patógenos humanos (Charles L. Wilson, 2007).

6.1. Tipos de envasado Inteligente

Existen variados tipos de dispositivos inteligentes, y según sus características se pueden utilizar en variadas funciones dentro de la cadena de suministro del alimento. Por un lado se encuentran los dispositivos que se usan para almacenar y transmitir datos, como los de identificación por radiofrecuencia, que no solo benefician al consumidor, sino que también permitirían la detección de desastres generados durante la cadena de suministro de cuna a tumba, contribuyendo a mejorar los puntos de control en el proceso como HACCP Y QACCP (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014). También se encuentran aquellas tecnologías que informan mediante un cambio de color en el envase si ocurren determinadas alteraciones ambientales externas (como la temperatura) advirtiéndolo de un error. Ejemplo de estos últimos son: tintas termocromáticas, biosensores, indicadores de tiempo-temperatura, de frescura y vida útil, de humedad y de fugas de O₂ y CO₂, etc. (ITENE, 2010, 2011, 2012). Generalmente, se pueden encontrar en forma de etiquetas en el envase, las cuales actúan por diferentes reacciones de tipo físico-química o enzimática dependiendo del dispositivo (DIDT, Innovación y desarrollo Tecnológico)

6.1.1. **Identificación por radiofrecuencia (RFID)**

Se agrupa bajo el termino de identificación automática junto con el código de barras, QR, tintas magnéticas, reconocimiento de voz, biométrica, etc.

Esta tecnología es muy útil en redes de producción como la cadena de valor del alimento y no proporcionan información cualitativa ni cuantitativa. Se aplica básicamente para identificación, automatización, prevención antirrobo o protección contra la falsificación (ITENE; Inmaculada Lorente Gomez, 2011).

Tipos: *Activo* (utiliza una batería interna para que corra el microchip y para que emita una señal al lector, tiene un rango de lectura mayor, pero es más caro que el pasivo), *Semi-pasivo* (usa batería para mantener la memoria en la etiqueta y ayuda a extender el rango de transmisión al lector) y *Pasivo* (la etiqueta no tiene batería y utiliza ondas electromagnéticas emitidas por un lector) (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

Casos de éxito: tapón de corcho para botellas de vino con tecnología RFID, entrega información sobre: fecha de embotellado, tipo de uva, grado alcohólico, etc. Es un sistema en patente (Lab ID. Compañía aérea British Airways, Vitsab®) para comprobar el grado de frescura de los alimentos que se sirven a bordo del avión, mediante etiquetas indicadoras aplicadas a las bandejas.

6.1.2. **INDICADORES**

A diferencia de los sensores, los indicadores no entregan información cuantitativa (ej.: concentración, temperatura) y no almacenan datos de medida ni tiempo. Sin embargo, proporcionan información inmediata visual, cualitativa o semi-cuantitativa acerca del alimento envasado por cambio de color, un aumento en la intensidad del color o una tinción a lo largo de una línea recta (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

En la mayoría de los casos el requerimiento básico de un indicador es que el color, o los cambios de intensidad, o difusiones son irreversibles. Los indicadores junto con RFID flexible son las tecnologías actuales más viables comercialmente para ser integrados en un envasado inteligente (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

6.1.2.1. Indicadores de Fugas

Permiten avisar al consumidor de la presencia de perforaciones o soldaduras no herméticas en el envase, basado en la sensibilidad de la tinta o de diferentes pigmentos a la concentración del aire. La integridad del envase es un requerimiento esencial para mantener la calidad y seguridad de productos alimenticios en envasado con atmosfera modificada (MAP). Es una alternativa no invasiva para determinar la integridad del envase. Proveen información cualitativa o semi-cuantitativa acerca de concentraciones de gas (CO₂, O₂, vapor de agua, etanol, etc.) alteradas a través de cambios colorimétricos. (Vu y Won, 2013) Los más utilizados son los indicadores de oxígenos (**Figura 5**) y los indicadores de CO₂.

Existentes en el mercado:

Para detectar O₂ están UPM® Indicador, Ageless eye® Mitsubishi, también existen indicadores de fuga para líquidos y gel. Son pocos los indicadores de detección de CO₂, por lo general, se basan en una matriz polimérica que mide pH por la producción de ácido ascórbico con dióxido de carbono y agua: Cryovac y Sealed Air (Kuswandi, y otros, 2011).

Presencia de fugas: Ageless Eye. Cuando el porcentaje atmosférico de oxígeno es menor al 0,1% tiene un color rosa pero en presencia de oxígeno (a partir del 0,5%) el color de la etiqueta se vuelve azul. Un sistema adecuado para ver si un envasado en ausencia de oxígeno sigue manteniendo la atmósfera inicial.

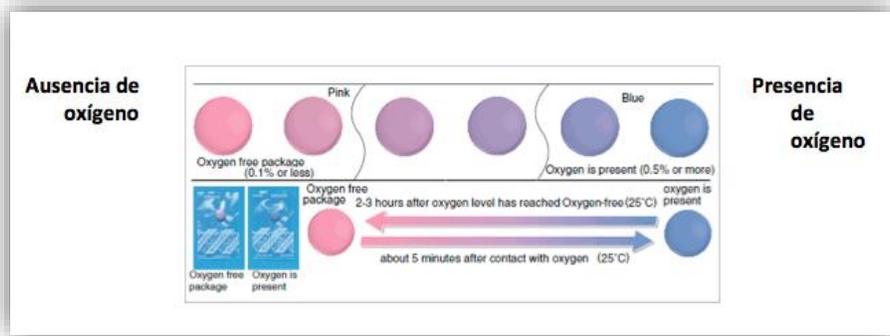


Figura 5: Indicador de oxígeno. El círculo rosado en la etiqueta manifiesta ausencia de fuga de oxígeno, y azul cuando se exponga a presencia de oxígeno (CITA-CTIC, Laura Guttierrez).

6.1.2.2. Indicadores de frescura

Proveen información inmediata de la calidad del producto, por crecimiento microbiano o cambios químicos en un producto alimenticio. La calidad microbiológica puede ser determinada visualmente a través de reacciones entre metabolitos generados en el crecimiento microbiano pudiendo ser usados para proporcionar una vida útil estimada de productos perecederos (Kuswandi, y otros, 2011). Los metabolitos que son utilizados para detectar alimentos deteriorados son: ácidos orgánicos, etanol, aminas, compuestos volátiles nitrogenados, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico (Quezada, 2013).

Existentes en el mercado: Ripesense®, Freshtag®, SensorQ®, Traceo®, Avery Denison®, eO®, Toxin guard®, Vitsab® (CITA-CTIC, Laura Guttierrez) (ITENE; Inmaculada Lorente Gomez, 2011)

Por ejemplo, Ripesense® cambia de color según la atmósfera que se crea en el envase por medio de la fruta, indicando si está en un estado de menor o mayor maduración. Sensor Q (**Figura 6**) va cambiando de color naranja a marrón según avanza el crecimiento microbiano de la carne.

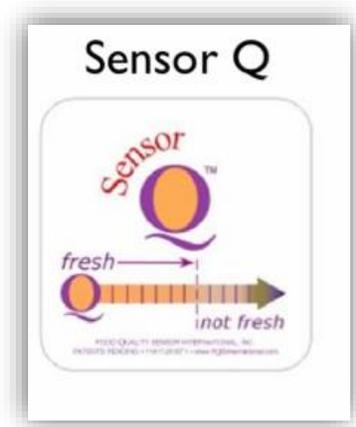


Figura 6: Indicador de frescura. Sensor Q, en estado óptimo para el consumo el envase es color naranja y a medida que se deteriora se torna marrón (CITA-CTIC, Laura Guttierrez).

6.1.2.3. Indicadores de tiempo-temperatura (TTI's)

La temperatura es usualmente el factor medio ambiental más importante en el deterioro del alimento. Los TTI's proveen información visual del efecto acumulativo de la temperatura durante su distribución y almacenaje. Así es posible advertir abusos en la temperatura en alimentos refrigerados o congelados. (Pavelková, 2013). Son etiquetas simples y baratas que cambian de color si la cadena de frío se ha roto, o si el alimento lleva mucho tiempo esperando a ser consumido. Por tanto, servirán para saber si ese producto se debe adquirir (en el caso de estar en el mercado) o si permaneció olvidado en el hogar.

Existentes en el mercado: Checkpoint®, Onvu®, Freshcheck®, TTsensorTM®, Warmmark®, 3M MonitorMark®, Timestrip® (ITENE, Nuria Herranz, 2010) (**Figura 7**)

Nestlé ha usado las etiquetas inteligentes Timetrip® en el envase de sus salsas listas para usar Maggi® (ITENE, Nuria Herranz, 2010).

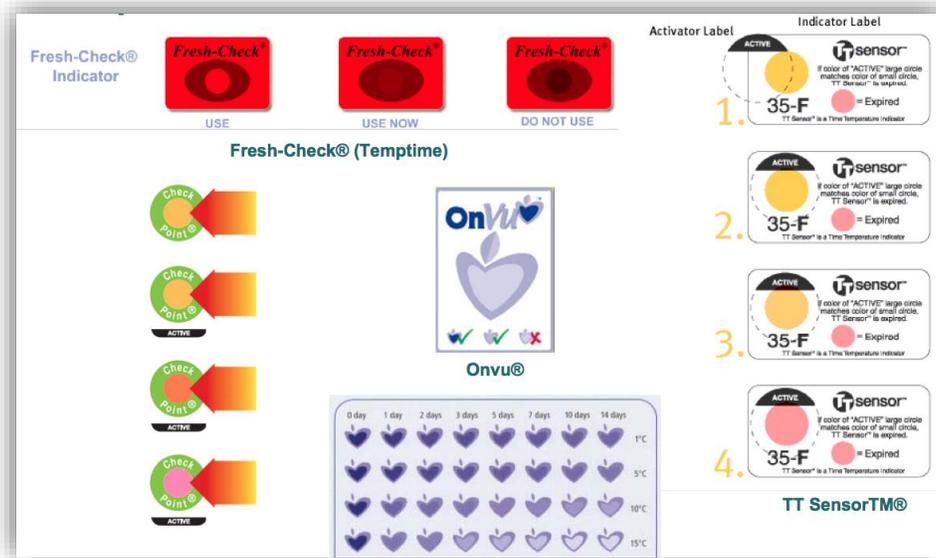


Figura 7: Indicadores de Tiempo-Temperatura Freshcheck®, Onvu® y TTsensor™. Los dispositivos están activados para cambiar de color de forma irreversible según el tiempo y la temperatura a la que ha estado sometido el producto. El cambio de color en la etiqueta marca si el producto es apto para el consumo o no (CITA-CTIC, Laura Guttierrez) (ITENE; Inmaculada Lorente Gomez, 2011).

Productos que utiliza el indicador de frescura Fesh-Check®: bandeja termoformada de plástico con 4 lonchas de jamón Superior Braised Ham Slices

6.1.2.4. Indicador de temperatura: Tinta termocrómica

La tinta termocrómica es una tinta dinámica especializada que cambia de color al ser expuesta a diferentes temperaturas, este cambio de color puede ser reversible o irreversible.

La tinta irreversible es invisible hasta ser expuesta a cierta temperatura en donde se desarrolla un color intenso que permanecerá constante o cambiará de color dejando una indicación de cambio de temperatura permanente.

La tinta reversible cambia de color cuando es calentada y vuelve a su color original cuando baja la temperatura (Sarley, 2011). Esta tinta puede ser utilizada para realizar envasado inteligente,

por ejemplo, asegurando a los consumidores que su bebida está perfectamente refrigerada o para alertar que el envase dentro del microondas detectó la temperatura deseada o está muy caliente. Además de incorporarse al envasado, se suele usar en accesorios, como tazas y vasos.

- Cold Activated Thermochromic Ink: es usado en etiquetas y envasado para crear un cambio de color cuando se enfría (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).
- Touch Activated Thermochromic Ink: se convertirá transparente cuando sea frotado o tocado para revelar una imagen u otro color impreso debajo (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).
- Touch Activated Liquid Crystal Ink: cambiará de color en el espectro visible si se tocó o frotó (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).
- High Temperature Thermochromic Ink: se diseñó para cambiar de color debajo del umbral del dolor alertando al consumidor y usuarios que no es seguro (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).



Figura 8: Tinta termocrómica en etiqueta de cervezas (CITA-CTIC, Laura Guttierrez).

Ejemplo de producto que ocupa el Indicador de frío en el mercado: cerveza Carling, bebida Coors light, muestra una pequeña área termocrómica que al llegar a 6°C se torna azul (**Figura 8**) También en Chocolates Dars se encuentra una etiqueta que mide la temperatura óptima para su consumo.

6.1.2.5. Indicador de Humedad

Contienen materiales con componentes que cambian de color dependiendo de la humedad, como el cloruro de cobalto (que cambia de color azul lavanda a rosa cuando aumenta la humedad, **Figura 9** Humonitor®) o cloruro de cobre (que cambia de color amarillo a verde cuando aumenta la humedad).

Existen marcadores reversibles (que vuelven al color inicial si la humedad regresa al estado inicial o se seca) o la irreversible, que indica que el producto ha superado un umbral definido, y por tanto, la posibilidad de que se haya deteriorado sin cambiar de color en caso de que disminuya la humedad.

Existentes en el mercado: Humonitor®, AGM container®. (**Figura 9**)



Figura 9: Indicadores de humedad. AGM Container® y Humonitor® (ITENE; Inmaculada Lorente Gomez, 2011)

6.1.3. SENSORES

Considerada la tecnología más prometedora del envasado inteligente, actualmente se utilizan para medir temperatura, humedad, nivel de pH, exposición a la luz y sensores químicos. Estos últimos han recibido mayor atención en los últimos años para monitorear la calidad del alimento e integridad del envase. La parte que sensa de un sensor químico se denomina *receptor* y es usualmente un químico selectivo capaz de detectar la presencia, actividad, composición o concentración de analitos químicos o gases específicos por absorción de superficie lo que genera un cambio en el receptor el cual es observado y convertido en una señal denominada *transductor*, el cual es activo si requiere energía o pasivo si no (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014)

Los sensores químicos pequeños y flexibles son interesantes para el desarrollo de envasado de alimento inteligente, son capaces de monitorear **compuestos volátiles orgánicos** y **moléculas de gases** relacionados con deterioro alimenticio y fugas en el envase para evaluar la calidad del producto y la integridad del envasado por ejemplo si tiene atmosfera modificada.

A continuación, se encuentra el estado del arte del envasado inteligente basado en sensores.

6.1.3.1. Electrónica impresa

Utiliza sustratos flexibles como: poliamida, PEEK, PET, poliéster conductivo transparente, acero y papel. Con tinta eléctricamente funcional.

Gasta menos tiempo y material. Técnicas de impresión: Gravure printing (tiene potencial de producción en masa), ink-jet (aplicable a actividades de desarrollo e investigación), screen printing. La impresión de sensores químicos despierta un gran interés en la industria de envasado y la industria textil (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

6.1.3.2. Nanotecnología con carbón

Hallazgos importantes:

- Ammu et al. 2012 demostraron por primera vez que nanotubos de carbono pueden ser impresos en PET y papel para producir sensores químicos para detectar gases de Cl_2 y NO_2 a niveles de concentración de sub-ppm.
- Se demostró un prototipo de método rápido, versátil y simple para la fabricación de un sensor químico selectivo de nanotubos de carbono y grafito en la superficie del papel. Este método es basado en la abrasión mecánica de lápices que contienen nanomateriales de carbono (NC) y pequeñas moléculas que interactúan con gases específicos. (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014)
- Abdella et al. 2013 demostraron la implementación de la impresión de sensores de gas basados en nanotubos de carbono (CNT, por sus siglas en inglés) con respuesta inmediata a NH_3 y CO_2 . (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014)

6.1.3.3. Fotónica de silicio

Sensor cuyo transductor de silicio tiene una señal de salida óptica, y no eléctrica como los anteriormente mencionados. Por lo que no requiere suministro eléctrico y puede ser motorizado usando luz infrarroja, visible o UV. Recientemente una prueba concepto de un sensor químico basado en fotónica de silicio se elaboró para detectar gas amoniacó con un límite de detección de 5ppm a temperatura ambiente. (Yebo et al 2012) En CheckPack (mayor información en Anexo, Apéndice C), se desarrollará un sensor químico basado en fotónica de silicio para medir concentraciones de compuestos orgánicos volátiles y CO_2 en el espacio cabeza del alimento envasado (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & De Meulenaer, 2014).

6.1.3.4. Biosensores

En organismos vivos los componentes biológicos como células, anticuerpos o enzimas funcionan como sensores naturales. Últimamente la biotecnología busca purificar y aislar algunos componentes para utilizarlos como biosensores. La diferencia entre un biosensor y un sensor

químico es que el receptor contiene componentes biológicos para la detección de analitos químicos.

Componentes biológicos: DNA, RNA, enzimas, fagos, anticuerpos o antígenos, organelos, microorganismos como bacterias, levaduras, hongos, células animales y vegetales, tejido biológico.

Los biosensores pueden ser aplicados para identificar y medir alérgenos y analitos como azúcar, aminoácidos, alcoholes, lípidos, nucleótidos, etc. Y encuentran aplicación en: medicina, fármacos, alimentos, procesos de control, monitoreo medioambiental, defensa y seguridad, pero la mayoría del mercado se dispone (sobre 13 billones de dólares) en diagnóstico médico y sensores de glucosa para personas con diabetes (Turner, 2012).

Existen múltiples elementos de reconocimiento y sistemas de transducción y su elección depende de las características del compuesto a analizar. Por ejemplo, cuando se trata de detectar una sustancia alérgena por lo general se utilizan anticuerpos como herramienta biológica, mientras que la elección del transductor está condicionada por el tipo de elemento de reconocimiento elegido, ya que éste determina cuál será la variación en las propiedades físico-químicas que ocurra como consecuencia de la interacción. Estos dispositivos pueden clasificarse en función del tipo de interacción que se establece entre el elemento de reconocimiento y el analito; el método utilizado para detectar dicha interacción; la naturaleza del elemento de reconocimiento; o del sistema de transducción (**Figura 10**).

<p>Tipo de interacción</p> <ul style="list-style-type: none"> · Biocatalítica. · Bioafinidad. 	<p>Detección de la interacción</p> <ul style="list-style-type: none"> · Directa. · Indirecta.
<p>Elemento de reconocimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> · Enzima. · Orgánulo, tejido o célula completa. · Receptor biológico. · Anticuerpo. · Ácidos nucleicos. · PIM, PNA, aptámero. 	<p>Sistema de transducción</p> <ul style="list-style-type: none"> · Electroquímico. · Óptico. · Piezoeléctrico. · Termométrico. · Nanomecánico.

Figura 10: Tipos de interacción, detección, elemento de reconocimiento y sistema de transducción de un biosensor (*González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005*).

La mayoría de los biosensores desarrollados para aplicaciones en la industria alimenticia a investigaciones son pruebas de concepto preliminares y requieren más investigación para integrarlos en envasado de alimentos.

En el año 2011, Flex Alert una compañía de investigación y desarrollo de Scheelite Technologies LLC, presentó un biosensor flexible comercialmente disponible para la detección de patógenos en cereales frutas percederas y producción de vino (Scheelite Technologies, 2011) (mayor información acerca de Flex Alert en Anexo, Apéndice C).

6.1.3.5. Sistemas de olfato

Los procesos de producción de un alimento (maduración, fermentación, cocción, etc.) o su deterioro son generalmente asociados con la presencia de ciertos gustos, olores y sabores. Desde que fueron diseñados biosensores y sensores químicos individuales para ser altamente selectivos o sensibles para una limitada selección de compuestos, se requiere un sistema capaz de detectar cualquier compuesto presente en el olor. Este sistema imita o sobrepasa el olfato humano, generando una respuesta única a gustos, olores y sabores.

6.1.4. Aviso acústico

En la **Figura 11** se muestra un envase que emite un aviso acústico cuando la preparación que se introduce al microondas está preparada. Desarrollado por la empresa noruega TORO.

Existen variados centros de investigación alrededor del mundo que han desarrollado nuevas tecnologías para envasado inteligente como: Flex Alert, ITENE, AINIA, AIDO, Fraunhofer, NOFIMA mat, Plant and Food Research y Wageningen UR entre otras (para mayor información ver Anexo, Apéndice C).



Figura 11: Envase que emite un aviso acústico cuando la preparación que se introduce al microondas está preparada.

6.2. Desarrollo tecnológico de envases y su distribución en Chile

En Chile, uno de los centros encargados del desarrollo de nuevas tecnologías de envasado es el Laboratorio de Envases (LABEN) de la Universidad de Santiago de Chile, la cual ha sido creada con el apoyo del Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico FONDEF, y cuya misión fundamental es actuar como laboratorio de apoyo a través de la generación y transferencia de información técnica (Laben Chile, 2014). Las principales Áreas de Investigación están relacionadas con Envases Activos, Interacción Envase/Alimento, Nanotecnología y Envases

Biodegradables. Sin embargo, el envase inteligente propiamente tal no es un área que maneje este centro, solo tienen antecedentes de lo que sucede en el extranjero.

El Centro de Investigación de Polímeros Avanzados (CIPA) es otro referente de investigación en envases, es un centro de carácter regional cuya misión es contribuir al desarrollo y competitividad del sector polimérico regional y nacional, a través de la generación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico. Sus líneas de investigación incluyen: 1) desarrollo de polímeros con aplicaciones médicas, agrícolas y energéticas, 2) obtención de materiales poliméricos con aplicaciones medioambientales, 3) biopolímeros termoplásticos, 4) materiales termoplásticos compuestos, 5) síntesis y caracterización de adhesivos para madera y 6) reciclaje de polímeros (Quiénes somos: CIPA, 2015).

Monde Packaging and Promotions es una empresa Chilena que comercializa, entre otras cosas, una etiqueta inteligente denominada *Coolvu*®, esta etiqueta indica el nivel de frescura en que se encuentra el alimento a partir de un cambio en su coloración (El color azul permanece oscuro durante un período de tiempo predeterminado siempre que el producto haya estado expuesto a temperaturas de refrigeración óptimas, en caso de sobrepasar las temperaturas, el color se vuelve más claro y puede quedarse completamente transparente si las condiciones son desfavorables). Cada etiqueta es “*seteada*” según la temperatura ideal para la mantención del alimento que se desea evaluar. Dentro de los productos que pueden llevar esta etiqueta se encuentran: Carnes y pescados, productos lácteos como leche, queso fresco, yogurt, etc., platos preparados como pizza, arroz, sushi, pastas, etc., productos pre-empaquetados frescos como frutas, verduras, etc.

6.3. Tendencia en innovación de Tecnología inteligente para detectar deterioro en alimentos

Para describir una tendencia en innovación tecnológica de envasado inteligente se llevó a cabo un estudio de vigilancia tecnológica con la ayuda del software PatBase, donde se llevó a cabo una búsqueda y análisis de las patentes y publicaciones relacionadas a esta tecnología.

La vigilancia tecnológica llevada a cabo determinó que, de las 12 jurisdicciones más representativas arrojadas por el sistema, Estados Unidos (US) fue el país que registró un mayor número de solicitudes de patentes relacionadas, seguido por la WO¹ (con 56 y 32 aplicaciones como se muestran en la **Tabla 9**). En relación a las publicaciones Estados Unidos junto con la oficina de patentes Europea lideran la cantidad de artículos de tecnología en envasado inteligentes publicados hasta la fecha, con 70 y 48 artículos respectivamente (**Tabla 9**).

Tabla 9: Número de patentes y publicaciones por jurisdicción. Siendo seleccionadas por la base de datos 25 jurisdicciones (Fuente: PatBase)

<i>Jurisdicción</i>	<i>N° Patentes</i>	<i>N° Publicaciones</i>
<i>Estados Unidos (US)</i>	56	70
<i>WIPO (WO)</i>	32	44
<i>Oficina de Patente Europea (EP)</i>	28	48
<i>Japón (JO)</i>	22	27
<i>China (CN)</i>	22	30
<i>Australia (AU)</i>	17	27
<i>Canadá (CA)</i>	16	21
<i>Alemania (DE)</i>	15	16
<i>Korea del Sur (KR)</i>	10	12
<i>Nueva Zelanda (NZ)</i>	8	8
<i>Reino Unido (GB)</i>	8	12
<i>India (IN)</i>	6	6

La continuidad del desarrollo de patentes y publicaciones se estudió a partir del gráfico que se muestra en la **Figura 12 y 13**. La **Figura 12** muestra la cantidad de patentes relacionadas a

¹) El código “WO” se utiliza en relación con la publicación internacional en el marco del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT), de solicitudes internacionales presentadas en cualquier Oficina receptora del PCT, así como en la publicación de los depósitos internacionales de dibujos y modelos industriales en virtud del Arreglo de La Haya relativo al Depósito Internacional de Dibujos y Modelos Industriales. A este respecto, se hace referencia al código INID (33) indicado en las normas ST.9 y ST.80 de la OMPI. El código “WO” es también el código adecuado que deberá utilizarse respecto de los registros internacionales de marcas en virtud del Arreglo de Madrid y el Protocolo de Madrid concerniente al Registro Internacional de Marcas. El código “IB” se utiliza en relación con la recepción de solicitudes internacionales en el marco del PCT, presentadas en la Oficina Internacional de la OMPI en su calidad de Oficina receptora del PCT.

envases inteligentes solicitadas anualmente desde 1996 a 2015. Esta información deja en evidencia que hubo un *peak* en el año 2006 con 24 patentes solicitadas ese año, y que a partir del año 2013 no se aprecian solicitudes de patentes relacionadas a tecnología inteligente en envasado de alimentos.

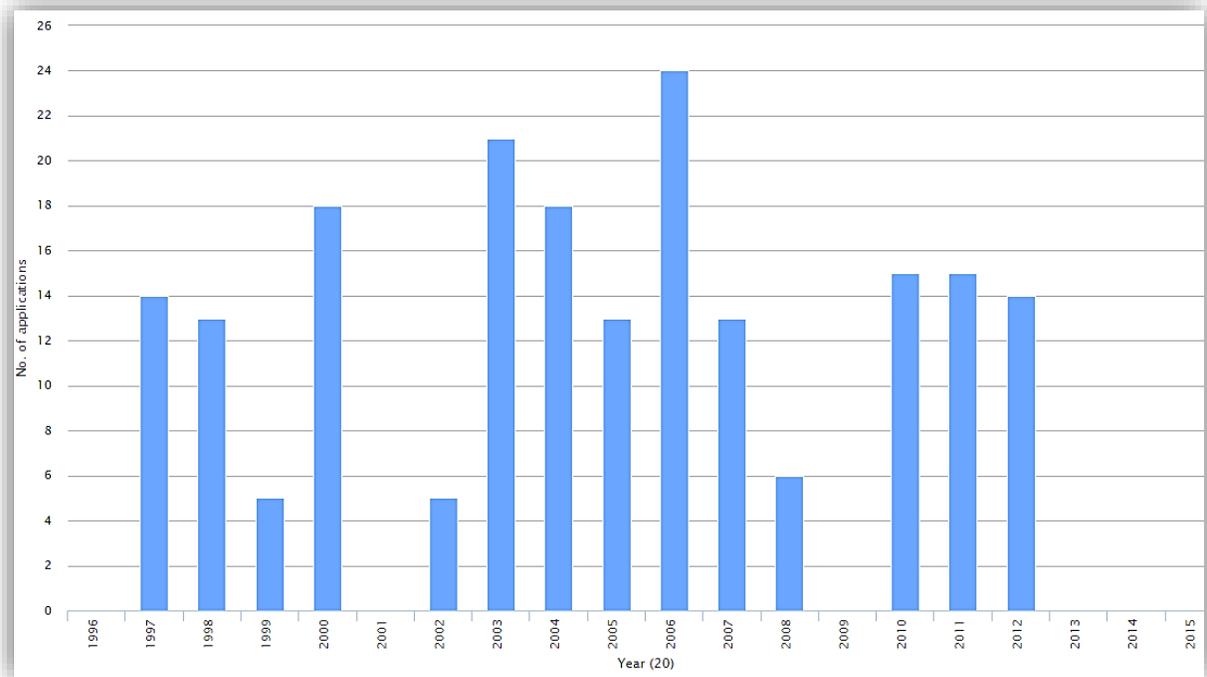


Figura 12: Número de patentes por año, de 1996 a 2015. Hay un máximo de 279 aplicaciones disponibles, 194 se muestran en el gráfico. (Fuente: PatBase)

El número de publicaciones de envasado inteligente ha ido en aumento desde el año 2004 en adelante, siendo las tecnologías de indicadores y sensores las que han logrado el mayor número de publicaciones por año (Vanderroost et al 2014).

En la **Figura 13** se encuentra el gráfico que resume el número de publicaciones de envases inteligentes desarrolladas a partir del año 1996. De allí se puede desprender que hasta el año 2014 se seguían publicando artículos de tecnología inteligente en envasado. Y que el *peak* de artículos publicados se estableció durante el año 2004 y 2008.

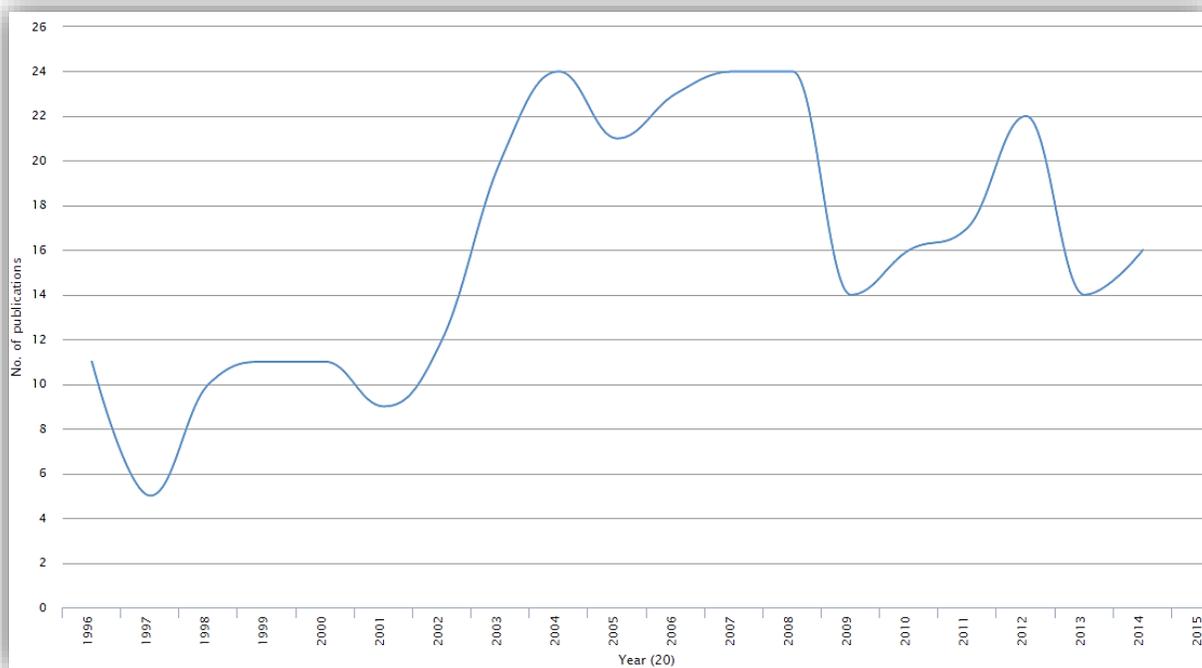


Figura 13: Número de publicaciones por año, de 1996 a 2015. Hay un máximo de 363 publicaciones disponibles, 304 se muestran en el gráfico. (Fuente: PatBase)

Entre las empresas o centros investigativos que lideran la publicación de artículos y solicitudes de patente de tecnología de envase inteligente en alimentos se encuentran Sira Technologies y Temptime Corp como los mayores solicitantes con 38 y 30 patentes respectivamente hasta la fecha (**Tabla 10**).

Tabla 10: Número de patentes y publicaciones por empresa o centro investigativo solicitante. (Fuente: PatBase)

<i>Solicitante (empresa o centro investigativo)</i>	<i>N° Patente</i>	<i>N° Publicaciones</i>
<i>Sira Technologies</i>	38	53
<i>Temptime Corp</i>	30	48
<i>Freshcert Llc</i>	19	26
<i>Universidad de Zaragoza</i>	17	23

<i>Solicitante (empresa o centro investigativo)</i>	<i>N° Patente</i>	<i>N° Publicaciones</i>
<i>Food Guardian Ltd</i>	15	20
<i>Mayer Oskar Foods</i>	13	14
<i>Stepen Zweig</i>	12	21
<i>Timetemp As</i>	10	14
<i>Minnesota Mining and Mfg</i>	9	11
<i>Trigon Ind Ltd</i>	9	11
<i>Sang Kyu Park</i>	7	8
<i>Suzhou Huashi Material Technologies Co Ltd</i>	7	7
<i>3M Innovative Properties Co</i>	6	7
<i>Spectralys Innovation</i>	6	6
<i>Indiana Universidad de Pennsylvania</i>	5	7

Algunos de los solicitantes que desarrollaron tecnologías asociadas a TTi (indicadores de tiempo y temperatura) se encuentran en la **Tabla 11** y algunos que desarrollaron tecnologías asociadas a indicadores de frescura o deterioro se encuentran en la **Tabla 12**.

Tabla 11: Solicitantes que desarrollaron tecnologías asociadas a TTi (Fuente: PatBase)

Solicitante	N° Patente
Suzhou Huashi Material Technologies Co. Ltd	WO2013/000401
Oscar Mayer Foods Corporation	US005182212A
la Armada de Estados Unidos	US006737274B1 y WO99/53311
Cryovac, Inc.	US 20070059402AI
Stepen Zweig	WO2004/097357
Minnesota Mining and Manufacturing company	WO83/01834
Campbell Soup Company	US3965741

Solicitante	N° Patente
Big Three Industries, Inc	US4038873
3M Innovative Properties Co	US006741523B1
Lone Jensen	WO01/27608 A2
Gics & Vermees LP	WO98/41829
Tepnel medical limited	WO91/09287
Sun Chemical Corporation	WO2005/078402, WO2006/091465 y WO2006/091466

Tabla 12: Solicitantes que desarrollaron tecnologías asociadas a indicadores de frescura o deterioro (Fuente: PatBase)

Solicitante	N° Patente
Natali Chen	US006723285B2
Temptime Corporation	US20070067177A1, WO2007/027810 y WO2008/144348
Ann L. Nolen	US20070172910A1
Dana Dicarlo	US20080279724A1
Universidad WIEN, Laboratorios GMBH	US 20110020859A1
Remigiusz Swierczek	WO03/087955
Sang Kyu Park	WO03/106995
Fort James Corporation	WO2004/083049
Maria Bauer	WO2008/104242
Freshcert Llc	WO2006/062870 A2
Sira Technologies	EP1591785A2 y WO2001053826

En menor cantidad se encuentran las solicitudes de patentes para tecnologías que incluyen tintas termocrómicas:

- Sistema para activar etiquetas con tinta termocrómica, solicitante: Brad Reddersen, (US 20100269454A1)
- Contenedor de alimentos con tinta termocrómica, solicitante: Jackel international limited (WO02/086433)

Otras tecnologías:

- Indicador de gases para envase alimenticio (ES2091092)
- Etiqueta con RFID, Siemens Aktiengesellschaft (WO2008/037737).

Las solicitudes detectadas en los últimos años involucran la interacción con el consumidor, a continuación dos ejemplos:

- Método para caracterizar un producto agroalimentario en función de determinar su origen, autenticidad, frescura y naturalidad y un dispositivo para implementar el método, solicitante: SPECTRALYS INNOVATION, (US 20130112895A1).
- Envase inteligente y comercialización en tiempo real, mejorando la interacción del envasado con el consumidor usando celular y otros scanner portables para que tome una mejor decisión de la compra. Solicitante: KITCHOLOGY LLC (US 20130175337A1)

También fueron estudiadas algunas noticias publicadas en la web que involucran temas como: **tendencia en innovación del material**, como por ejemplo el desarrollo de films activos, que alargan la vida de los productos envasados, principalmente cárnicos y lácteos, con propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas que mejoran la conservación (CENEM, 2014), la **tendencia económica del mercado para envases inteligentes**, en donde un pronóstico de mercado de Smithers Pira sostiene que la impresión electrónica, utilizada en el envasado de alimentos y otras aplicaciones, aumentará la demanda actual aproximadamente de USD 17.000 millones a más de USD 50.000 millones en los próximos cinco años (Agrimundo, 2014), y el interés actual en relación a la **detección de seguridad alimentaria y el desperdicio de alimentos**, como es el caso del proyecto liderado por la Asociación de Investigación de Industrias Cárnicas (Asincar) que busca el desarrollo de envases con sensores incorporados en el film que

midan la presencia y concentración de varios Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) que emite la carne en su proceso de deterioro (EFEAgro, 2014). También está el caso de un equipo de científicos del Instituto de Investigación de Química Molecular Aplicada (IQMA) de la Universidad Politécnica de Valencia quienes lideran un proyecto de investigación en colaboración con investigadores ITENE cuyo objetivo es desarrollar una etiqueta inteligente que permitirá conocer el grado de frescura de los alimentos cárnicos envasados. Mediante un indicador colorimétrico, el consumidor podrá conocer al instante el grado de deterioro del producto. Estas etiquetas inteligentes contribuirán a tener un mayor control sobre la calidad microbiológica y organoléptica de los productos cárnicos. A través de un cambio visual, fácilmente perceptible por el ojo humano, el indicador podrá mostrar si el producto está contaminado o no en elevadas proporciones microbianas mediante la reacción del indicador con ciertos metabolitos volátiles tales como amoníaco, aminos biogénicas, ácido sulfhídrico o ácidos de cadena corta (Universidad politécnica de Valencia, 2009). Por otro lado la empresa suiza Ernst Kneuss Geflügel ha creado una etiqueta llamada *OnVu*, un indicador de tiempo-temperatura, y se ha colocado en la caja de cartón de su pollo para asar “Bachofe-Güggeli”. Un pigmento especial en el interior del símbolo de una manzana se irradia con UV durante el envasado y se vuelve azul. Desde ese momento, el color comienza a desvanecerse con el tiempo en función de la temperatura. Dependiendo del tiempo que se haya almacenado caliente el pollo asado, más rápidamente cambia el color. Si el interior de la manzana es más pálido que el color de referencia del borde, el consumidor sabe que el pollo no debe comerse (EnvaPack, 2011).

Dado que cada vez son más los consumidores que valoran los productos sanos y ecológicos con valor añadido, los expertos cuentan con un fuerte crecimiento del mercado de “Smart Packaging”. La empresa de investigación de mercado de los EE.UU. Markets and Markets estima que las ventas mundiales de envases inteligentes en el periodo 2010 a 2015 aumentará un 8,2% a unos 24.000 millones de US dólares (EnvaPack, 2011).

La industria prevé un gran potencial en los chips e impulsa con entusiasmo su desarrollo. Por ejemplo, la Organic Electronics Association (OE-A), un grupo de trabajo de la Asociación Alemana de Construcción de Máquinas e Instalaciones (VDMA) trabaja en la comercialización de electrónica orgánica imprimible. “La electrónica económica, fina y flexible, que mediante el montaje en sustratos de poliéster flexibles puede integrarse fácilmente en los envases, será algo habitual e imprescindible en los comercios en el futuro”, afirma el Presidente de OE-A,

Wolfgang Mildner. Con RFID pudieron llamarse o cargarse grandes cantidades de información sobre los productos en un instante. De este modo, la técnica ofrece garantía de autenticidad y seguridad de distribución (EnvaPack, 2011).

Sängerlaub ve un probable problema en los elevados costes para la introducción en el mercado de nuevas soluciones de envases. Para ello, la industria tendría que modernizar sus líneas de envases y probar ampliamente sus nuevos envases. “Esto dificulta la transferencia del laboratorio a la producción en serie”, afirma el Sr. Sängerlaub (EnvaPack, 2011).

Los especialistas en envases y sus proveedores especulan con que la necesidad de la industria en “Smart Packs” presiona fuertemente e invierten en la ampliación de su gama de productos. “Los nuevos productos y campañas requieren grandes inversiones, sin embargo la demanda creciente de los consumidores de productos con valor añadido es una promesa de beneficio económico a largo plazo para las empresas”, afirma el Sr. Mildner, Presidente de OE-A (EnvaPack, 2011).

En síntesis, la investigación y desarrollo de envasado inteligente en alimentos lleva casi 20 años llevándose a cabo. Los países desarrollados (como Estados Unidos y los pertenecientes a Europa) llevan la vanguardia en patentes, probablemente por tener mayores recursos dispuestos para el desarrollo científico y tecnológico y siguen investigando hasta la actualidad, lo que indica que existe una necesidad de desarrollar nuevas tecnologías en envasado alimentario, principalmente en TTI e indicadores de frescura o deterioro, pues son las tecnologías con mayor número de patentes.

Esta vigilancia tecnológica deja entrever que mundialmente hay una gran necesidad de innovar en envasado, pero en innovar entorno a la comunicación, a la obtención de mayor información del alimento, se percibe una preocupación global por el desperdicio alimentario, y por desarrollar nuevos envasados que sean alternativas costo-efectivas y que le permitan entregar información del alimento a todos los actores de la cadena. El consumidor es cada vez más exigente y requiere mayor información del producto que va a adquirir, las empresas antes reacias a la innovación en envasado (por el costo que esto implica) ahora se ven presionadas por un consumidor altamente desconfiado de la producción, transporte y almacenamiento del alimento y por lo tanto del deterioro de éste. Es por ello que se interesan en contribuir al desarrollo e investigación de un envasado inteligente lo suficientemente costo-efectivo para poder hacer el cambio.

7. CAPÍTULO 4: Análisis costo-efectivo de dispositivos inteligentes como indicador de caducidad

Como se enunció anteriormente, los envases inteligentes existen hace algunos años y en Europa es posible encontrar productos alimenticios que contienen este tipo de envasado, sin embargo en Chile no ha tenido mucho éxito su implementación, esto se debe, según Sebastián Montes Gerente General de Monde Packaging and Promotions, empresa distribuidora de etiquetas inteligentes en Chile, a que “en Chile no hay una normativa apropiada y también las empresas de la industria alimenticia son reacias a utilizarlas para no tener que incurrir en otro gasto adicional y que tengan devolución de producto”. Por lo que existen altas barreras de entrada que impiden la implementación de nuevas tecnologías de envasado en la Industria alimentaria Chilena.

Tomando en cuenta estos factores es de vital importancia realizar un análisis costo-efectivo de la implementación de envasado inteligente de manera de verificar si el gasto en que incurriría una empresa en aplicar esta tecnología vale la pena en términos económicos y no significa un costo adicional en la producción del alimento.

Si se toma como ejemplo el envasado actual de carne molida el costo por bandeja es de \$20, el film que cubre las bandejas es de \$2,57 y la etiqueta de cada bandeja tiene un costo aproximado de \$10 cada una. Dando un costo total de \$32,57 por unidad de envasado. Si la idea es reemplazar la etiqueta actual por una que tenga tecnología inteligente ésta debiese tener un costo igual o inferior a \$10 de manera de no afectar los costos asociados a ésta.

Evaluación del costo de etiquetas o dispositivos inteligentes en el mercado

Coolvu®, comercializada por Monde Packaging and Promotions, es una etiqueta TTI cuyo valor es cercano a \$120. De todas las empresas de envasado investigadas, fue la única que dispone de la tecnología de envasado inteligente en Chile, y como se puede apreciar su valor es 12 veces mayor que el máximo de inversión factible para aplicar esta tecnología.

El dispositivo de RFID es generalmente caro y por lo tanto difícilmente aplicable de manera individual para cada producto (Zhang, y otros, 2013), sin embargo su costo varía dependiendo de las características del dispositivo, es decir existen grandes diferencias entre los distintos tipos de etiquetas, dependiendo de su frecuencia de operación (LF, HF, UHF, WIFI) si son activos (con batería incorporada) o pasivos (sin batería), si son solo etiquetas autoadhesivas o si están encapsulados para soportar ambientes agresivos, si deben poseer sensores de temperatura o no, etc. hay empresas que venden etiquetas pasivas de bajo costo, en grandes cantidades (un millón o más) por debajo de los U\$S 0,10 en USA (RFID point, 2015). Si se requiere de una etiqueta encapsulada en un plástico para que pueda sobrevivir a golpes y ambientes agresivos, o ser aplicada sobre metales, probablemente cueste entre 1 y 10 dólares dependiendo del tipo de encapsulado, su tamaño, rango de lectura, etc. por otro lado el costo de las etiquetas activas es impulsado por el volumen, el encapsulado y la batería, es decir si se desea una etiqueta con una batería que dura 10 años, va a costar más que otro que funciona de la misma manera y está diseñado para durar sólo cinco años (RFID point, 2015). Por lo tanto la etiqueta RFID más económica tendría un valor 6 veces superior al estimado como máximo para realizar el cambio.

La nanotecnología, por otro lado, ha cautivado el mundo de la tecnología en envasado inteligente desarrollado un dispositivo innovador que corresponde a un TTi para productos perecibles cinéticamente programable y costo-eficiente que imita procesos de deterioro en el alimento indicando la calidad del producto a través de su cambio de color. El costo de producción por dispositivo es de US\$0,002 (Zhang, y otros, 2013), lo que equivaldría a \$1,26 asumiendo un valor de \$628 por dólar. Costo que se encuentra dentro del rango aceptable de inversión.

8. CAPÍTULO 5: Aplicación Biotecnológica en envasado inteligente

La biotecnología es una gran alternativa para poder detectar los agentes causales de ETA más comunes en Chile y a su vez disminuir el desperdicio de la matriz alimentaria más común utilizada por éstos (carnes, lácteos y productos del mar) a través de la aplicación de nuevas tecnologías en el envasado de los alimentos. Utilizando material biológico en el envasado es posible detectar la presencia de patógenos o el deterioro del alimento por quiebre en la cadena de frío.

Dentro de las tecnologías de envase inteligente antes mencionadas sólo 3 han involucrado la biotecnología en su desarrollo. Indicadores de tiempo-temperatura, indicadores de frescura y deterioro, y biosensores. Las cuáles serán explicadas a continuación.

8.1. Indicadores de tiempo y temperatura (TTI)

Dentro de la amplia gama de indicadores de tiempo y temperatura existentes en el mercado, existe un tipo de indicador realizado con microorganismos vivos.

Como se ha comentado anteriormente, los productos alimentarios se descomponen en función de la temperatura debido al desarrollo de microorganismos que están presentes en los productos. La utilización de microorganismos que simulan la degradación real del alimento al encontrarse en condiciones similares ha dado a lugar el desarrollo de diferentes dispositivos y patentes que comparten ciertas características, como utilizar microorganismos (generalmente bacterias o levaduras) capaces de crecer en un rango de temperatura a la que se ve expuesto el alimento, y utilizar nutrientes específicos para el microorganismo que se encuentre en el dispositivo.

Su funcionamiento se basa en las consecuencias del crecimiento del microorganismo utilizado al cambiar alguna propiedad del medio dentro del dispositivo de modo que se produzca una señal visual que pueda ser fácilmente detectada por el usuario final del producto (España Patente nº ES-2376559_B1, 2013). En otras palabras dentro de la etiqueta se encuentra una matriz con un medio ideal para el crecimiento del microorganismo, el cual se encuentra inactivo inicialmente, pero una vez que aumenta la temperatura comienza a proliferar y por lo tanto a generar ciertos

metabolitos que reaccionan con alguna sustancia que se encuentra dentro de la matriz que finalmente cambia de color, indicándole al consumidor que la cadena de frío se ha quebrado y por lo tanto de haber contaminación microbiana en el alimento, ese microorganismo ha proliferado tanto como el microorganismo indicador (España Patente nº ES-2376559_B1, 2013). Una de las maneras de detectar el crecimiento de un microorganismo es a partir del cambio de color del medio al colocar un indicador de pH en la matriz que lo contiene, así, si el alimento es apto para el consumo tiene un color y sino otro. Por ejemplo TREACEO® es una etiqueta comercial que percibe el cambio de pH en el medio a través de la caseína, proteína que es colocada en el medio y que al disminuir el pH precipita volviendo el medio opaco (España Patente nº ES-2376559_B1, 2013).

8.2. Indicadores de Frescura y deterioro

Estos indicadores se basan en la identificación de diferentes metabolitos volátiles generados por el crecimiento microbiano en el alimento como: CO₂, acetaldehído, amoníaco, ácido sulfhídrico, alcoholes y ácidos grasos, así como la variación de acidez (pH) (DIDT, Innovación y desarrollo Tecnológico). Para ello es necesario tener conocimiento del comportamiento del microorganismo que comúnmente causa deterioro en cada alimento, es decir tener claro su metabolismo para así poder detectar su presencia a partir de los metabolitos producidos durante su proliferación, como así también de nuevas tecnologías que permitan esta detección por cambios colorimétricos en el envasado. Estos indicadores pueden ser dispositivos o sustancias que revelan la presencia, ausencia o concentración de otra sustancia en el alimento perecible, permitiendo así monitorear la calidad de éste (Quezada, 2013).

Yoshida, Maciel, Mendonça, y Franco (2014) desarrollaron un indicador de pH colorimétrico que consiste en un film de quitosano que contiene antocianina dentro de los metabolitos que puede detectar se encuentran n-butilato, L- ácido láctico, D-lactato y ácido acético (Kerry et al., 2006). Investigadores de la Universidad de Sejong desarrollaron indicadores de CO₂ de una solución acuosa de quitosano o proteína de suero aislada cuya transparencia cambia por variación del pH debido a la presencia de CO₂ (Realini & Marcos, 2014)

Otros autores se enfocaron en la detección de aminas volátiles en pescado, estas aminas provienen de la degradación del óxido de trimetilamina y es responsable del olor y sabor característico del pescado y es usado usualmente como criterio de calidad. Boscher et al. (2014) describió la detección de aminas volátiles como trimetilamina (TMA), trietilamina (TEA) y dimetilamina (DMA) usando una cubierta de metaloporfirina aplicada en el film de PET. Pacquit et al. (2007, 2006) desarrollaron un indicador basado en tinta colorimétrica disponible para rastrear el aumento de aminas volátiles como indicador de deterioro en pescado. Este indicador se preparó colocando en una matriz polimérica una tinta sensible al pH cambiando su color si se forma aminas volátiles básicas en el espacio de cabeza del envasado. Esta respuesta obtuvo correlación con el crecimiento de *Pseudomonas* y el recuento total (RAM). También se han desarrollado films con polianilina, una membrana de celulosa bacteriana y curcumina o rojo de metilo que responden a través de cambio de color visible a una variedad de aminas volátiles básicas liberadas durante el deterioro de pescado. Algunas limitaciones son la carencia de especificidad con el riesgo de entregar falsos positivos o falsos negativos al consumidor (Realini & Marcos, 2014).

Varias compañías de envasado desarrollaron envases indicadores de frescura y deterioro, sin embargo, no tuvieron éxito comercial. En el año 1999, COX Technologies (Plainfield, IL) lanzó Fresh Tag®, un indicador colorimétrico que informa la formación de aminas volátiles en productos de pesca, producto discontinuado en el 2004. En el año 2007, DSM NV anunció el desarrollo de SensorQ™ en colaboración con Food Quality Sensor International Inc., un sensor de pH basado en antocianinas que informaba la formación de aminas biogénicas de origen microbiológico en el envasado con carne y pollo. Por otro lado VTT Technical Research Center de Finlandia junto con UPM Raflatac desarrollaron un indicador de frescura para carne de pollo basado en una monocapa de plata que reacciona con ácido sulfhídrico, producto proveniente de la ruptura de cisteína. Este indicador es café claro opaco al momento de envasar, y se convierte en transparente cuando se forma ácido sulfhídrico (Realini & Marcos, 2014)

8.3. Biosensores

Los Biosensores son sistemas inteligentes disponibles para detectar metabolitos de manera dirigida, y pueden monitorear la frescura en los alimentos de una manera más específica que los indicadores de frescura debido a que pueden detectar la formación de productos en degradación y pueden ser diseñados de acuerdo al tipo de producto envasado. Un biosensor es un dispositivo analítico compacto que detecta, graba y transmite información de reacciones bioquímicas.

Éste incorpora un elemento de reconocimiento biológico (ácido nucleico, enzima, anticuerpo, receptor, tejido, célula) o biomimético (PIMs, aptámeros, PNAs) asociado a un sistema de transducción que permite procesar la señal producida por la interacción entre el elemento de reconocimiento y el analito (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Las características más destacables de estos dispositivos son: su especificidad, su alta sensibilidad, su corto tiempo de análisis, su capacidad de inclusión en sistemas integrados, su facilidad de automatización, su capacidad de trabajar en tiempo real, su versatilidad que permite el diseño de dispositivos a la carta, y su bajo coste, entre otras (Anexo, Apéndice D) (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

El principio de detección de un biosensor se basa en la interacción específica entre el compuesto o microorganismo de interés y el elemento de reconocimiento. Como resultado de esta unión se produce la variación de una o varias propiedades físico-químicas (pH, transferencia de electrones, de calor, cambio de potencial, de masa, variación de las propiedades ópticas, etc.) que detecta el transductor. Este sistema transforma la respuesta del elemento de reconocimiento en una señal electrónica indicativa de la presencia del analito sometido a estudio o proporcional a su concentración en la muestra (Velasco-García & Mottram, 2003).

Los biosensores apoyándose en los instrumentos de la biotecnología y en los resultados de la investigación postgenómica suponen potentes herramientas de análisis con numerosas aplicaciones a la industria agroalimentaria (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

En el campo agroalimentario, su interés se centra en el análisis de la composición de los alimentos, en la seguridad alimentaria (detección de compuestos contaminantes, alérgenos, antinutrientes, toxinas y microorganismos patógenos) y en el control de procesos (**Tabla 13**). El número de publicaciones científicas, revisiones y patentes sobre biosensores desarrollados en los últimos años es muy elevado, lo que refleja el gran interés que despierta este tema en la comunidad científica. Sin embargo, la salida de estos dispositivos del laboratorio al mercado agroalimentario ha sido lenta (Velasco-García & Mottram, 2003) salvo algunas excepciones, esto debido a una serie de obstáculos relacionados principalmente con las características del propio mercado (ej.: legislación).

Tabla 13: Principales áreas de aplicación de biosensores dentro del campo agroalimentario. (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

<p>Seguridad alimentaria</p> <p>Compuesto xenobióticos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aditivos. - Fármacos. - Plaguicidas y fertilizantes. - Otros contaminantes (dioxinas, PCBs, HAPs, metales pesados) <p>Biotoxinas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toxinas bacterianas. - Micotoxinas. - Toxinas marinas. <p>Microorganismos patógenos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Virus. - Bacterias. - Protozoos. 	<p>Calidad alimentaria</p> <p>Composición del alimento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Azúcares. - Aminoácidos. - Alcoholes. - Ácidos orgánicos. - Colesterol. <p>Vida útil</p> <ul style="list-style-type: none"> - Polifenoles y ácidos grasos (enranciamiento). - Azúcares y ácidos orgánicos (madurez). - Aminas biógenas (índice de frescura). <p>Compuestos aromáticos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Altiina (ajo y cebolla).
<p>Control de procesos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Azúcares (fermentación y pasteurización). - Alcoholes (fermentación alcohólica). - Aminoácidos (fermentación). - Ácido láctico (elaboración de quesos). 	<p>Otras aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> - OMGs. - Ciclo reproductivo animal.

8.3.1. Seguridad alimentaria

En este campo los biosensores se utilizan para detectar:

- Compuestos xenobióticos, es decir, sustancias externas al producto alimenticio que no han sintetizado los seres vivos (como por ejemplo aditivos, fármacos, plaguicidas).
- Ciertos componentes del alimento (alérgenos y antinutrientes).
- Toxinas de diversos orígenes (toxinas bacterianas, micotoxinas y toxinas marinas).
- Microorganismos patógenos que afectan al hombre, al ganado y a los cultivos.

La presencia de residuos de plaguicidas y fertilizantes en productos destinados al consumo humano es indeseable porque muchos de ellos cuentan con una toxicidad elevada. Algunos plaguicidas tienen la capacidad de acumularse en el tejido graso animal mientras que los nitratos, nitritos y fosfatos procedentes del empleo abusivo de fertilizantes contaminan el medio, fundamentalmente, los acuíferos subterráneos (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005). Los principales biosensores enzimáticos utilizados en la detección de este tipo de compuestos en alimentos y agua se diferencian en:

- Dispositivos basados en la inhibición de la actividad enzimática. Aquí se encuentran los biosensores que incorporan enzimas como colinesterasas (acetil y/o butirilcolinesterasas), tirosinasas o fosfatasas alcalinas (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).
- Unidades en las que se catalizan reacciones que afectan al analito de interés. Éste es el caso de los biosensores que incluyen hidrolasas, reductasas, etc. (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

Con respecto a los herbicidas (fenilureas, triazinas), que actúan inhibiendo la fotosíntesis, se han diseñado biosensores con receptores (de membrana de tilacoides y cloroplastos, fotosistemas,) o células completas (algas unicelulares, bacterias púrpuras) que participan o realizan este proceso. Aquí se emplean, sobre todo, transductores amperométricos y ópticos (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Los residuos contaminantes presentes en el agua y el suelo engloban un conjunto heterogéneo de sustancias potencialmente tóxicas para el hombre con un alto impacto sobre el medioambiente que pueden alcanzar la cadena alimentaria de manera accidental como por ejemplo: **Compuestos orgánicos**, que se trata de subproductos originados en diversos procesos industriales (dioxinas), usados como agentes dieléctricos o fluidos hidráulicos (bifenilos policlorados o PCBs) o generados en la combustión de carbón, petróleo o madera (hidrocarburos aromáticos policíclicos o HAPs), también se incluyen el benceno, tolueno y xileno (denominados BETX) y derivados fenólicos. Y también **Metales pesados** como arsénico, cadmio, mercurio, plomo (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Por otro lado es posible detectar a partir de biosensores algunos factores antinutricionales y alérgenos (compuestos presentes de forma natural en el alimento que pueden ocasionar trastornos en el organismo) (**Tabla 14**). Los primeros dificultan o impiden la absorción y metabolización de distintos nutrientes produciendo un déficit de los mismos en el organismo. En cambio, los alérgenos desencadenan una respuesta inmune en personas hipersensibles a estas sustancias.

Tabla 14: Biosensores utilizados en la detección de antinutrientes y alérgenos. (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

<i>Analito</i>	<i>Tipo de interacción</i>	<i>Sistema de reconocimiento</i>	<i>Sistema de transducción</i>
Antinutrientes			
Oxalato (espinacas, té, fresas)	Biocatalítica	Oxalato oxidasa	Amperométrico
Amigdalina (almendras amargas)	Biocatalítica	β -glucosidasa y otras	Amperométrico Potenciométrico
Glucocalcoides	Biocatalítica	Colinesterasas	Potenciométrico
Alérgenos			
Del cacahuete	Bioafinidad	Anticuerpo	SPR
De la avellana	Bioafinidad	Anticuerpo	SPR
Gluten	Bioafinidad	Anticuerpo	Electroquímico Óptico
		Aptámero	Piezoeléctrico

Como se mencionó en el Capítulo 1 del presente estudio, en los alimentos pueden haber toxinas que al ser consumidas podrían desarrollar un cuadro de intoxicación alimentaria. Estas toxinas pueden proceder del crecimiento de bacterias, de hongos (micotoxinas) o por contaminación de productos de origen marino. La mayor parte de estas toxinas son compuestos de naturaleza proteica y su análisis suele ser complejo, ya que su detección y caracterización suele implicar procesos de extracción y purificación que requieren tiempos relativamente largos e incluso ensayos en animales, Ej.: ratón. Los biosensores podrían ser una alternativa ya que no es necesaria la purificación de los compuestos. Pueden utilizarse biosensores basados en reacciones de bioafinidad, mediante síntesis de anticuerpos específicos contra estas toxinas o bien en reacciones biocatalíticas, ya que muchas de estas toxinas son inhibidores enzimáticos (**Tabla 15**) (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Tabla 15: Biosensores utilizados en la detección de biotoxinas. (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

Origen	Toxina	Elemento de reconocimiento	Sistema de transducción
Bacteriano	Enterotoxina A estafilocócica	Anticuerpos	Onda evanescente
	Enterotoxina B	Anticuerpos	SPR Fibra óptica Piezoeléctrico
	Toxina A de <i>Clostridium botulinum</i>	Anticuerpos	Fibra óptica
	Toxina colérica	Anticuerpos Receptores (gangliosidos)	QCM Onda evanescente
	Enterotoxina termolábil de <i>E. coli</i>	Anticuerpos	QCM
Fúngico	Micotoxinas de <i>Fusarium</i> y <i>Aspergillus</i> (zearalenona, DON, fumisinina B1 y aflatoxin B1)	Anticuerpos	SPR
	Fumonisinina	Anticuerpos	SPR
	Aflatoxinas	Anticuerpos	Biosensor fluorimétrico de inmutafinidad Fibra óptica
Marino	Toxinas paralizantes (PSP)	Canales de sodio	Electroquímico
	Ácido okadoico	Anticuerpos	QCM
	Ácido okadoico, brevetoxina, ácido domoico y tetrodotoxina	Anticuerpos	Electroquímico

Los biosensores que existen para detectar microorganismos patógenos en alimentos (Tabla 16) son principalmente de tipo inmunológico combinados con transductores piezoeléctricos, ópticos, bioluminiscentes o de impedancia, que permiten una detección directa sin marcaje de la interacción antígeno-anticuerpo (Velasco-García & Mottram, 2003) y (Venugopal, 2002)

Un grupo de biosensores muy importantes en la detección de microorganismos patógenos son los biosensores basados en ADN. Asimismo, es posible la aplicación de estos dispositivos en sanidad animal para determinar la presencia de microorganismos patógenos en la sangre. Por ejemplo, pueden detectarse varias cepas de *Salmonella* en pollos infectados gracias a un biosensor de SPR (Jongorius-Gortemaker, Goverde, & van Knapen, 2002). El elemento de reconocimiento puede ser modificado genéticamente para expresar una proteína bioluminiscente sensible al calcio y

anticuerpos de membrana específicos para el patógeno de interés. Cuando se produce la unión entre el patógeno y los anticuerpos de membrana se elevan los niveles intracelulares de calcio y la proteína bioluminiscente emite luz que puede ser cuantificada (Rider, 2003).

Tabla 16: Biosensores utilizados en la detección de microorganismos patógenos. (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

<i>Sistema de transducción</i>	<i>Elemento de reconocimiento</i>	<i>Microorganismo</i>
Electroquímico	Anticuerpos	<i>S. typhimurium</i> , <i>E. coli</i> 0157:H7 <i>Campylobacter</i> , <i>S. aureus</i>
Light-addressable potentiometric sensor (LAPS)	Anticuerpos	<i>S. typhimurium</i> , <i>E. coli</i> 0157:H7 <i>B. subtilis</i> , <i>Y. Pestis</i> , <i>Neisseria meningitidis</i> , <i>Brucella melitensis</i>
Impedimétrico		<i>Salmonella</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
Piezoeléctrico tipo QCM	Anticuerpos, receptores proteína A	<i>Vibrio cholerae</i> , <i>S. enteritidis</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>E. coli</i> , <i>Shigella dysenteriae</i> , <i>Yersinia pestis</i> , <i>Proteus</i> , <i>Serratia</i> , <i>Klebsiella</i>
Piezoeléctrico tipo SAW	Anticuerpos	<i>E. coli</i> , <i>Legionella</i> , <i>Salmonella</i>
Nanoelectromecánico	Anticuerpos	<i>E. coli</i> 0157:H7
SPR	Anticuerpos	<i>E. coli</i> 0157:H7, <i>Salmonella enteritidis</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>B. subtilis</i>
Resonancia de espejos	Anticuerpos	<i>S. aureus</i>
Bioluminiscencia		<i>Mycobacterium avium</i> , <i>M. paratuberculosis</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Listeria</i>
FIA (Fluorescent immunoassays)	Anticuerpos	<i>S. typhimurium</i> , <i>Yersinia</i> , <i>V cholerae</i> , <i>E. coli</i>
Interferometría óptica	Anticuerpos	<i>Salmonella typhimurium</i>
Fibra óptica	Anticuerpos	<i>E. coli</i> 0157:H7, <i>S. aureus</i>

Además de las bacterias patógenas las tecnologías de los biosensores se aplican a otros agentes infecciosos entre los que se incluyen los virus y ciertos parásitos entéricos (protozoos) transmitidos por las aguas de riego contaminadas. En la **Tabla 17** se muestran algunos de ellos junto con algunos inmunosensores para su detección.

En cuanto al análisis de parásitos entéricos los datos encontrados se limitan a muestras de agua aunque las infecciones que causan estos protozoos pueden originarse a partir del consumo de productos vegetales o animales infectados crudos o poco cocinados.

Tabla 17: Biosensores utilizados para la detección de virus y protozoos (*González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005*)

<i>Agente patógeno</i>	<i>Tipo de interacción</i>	<i>Elemento de reconocimiento</i>	<i>Sistema de transducción</i>
Virus			
Virus de la peste porcina africana	Bioafinidad	Anticuerpo	Piezoeléctrico
Virus de la fiebre aftosa	Bioafinidad	Anticuerpo	Piezoeléctrico
Virus de la diarrea viral bovina	Bioafinidad	Anticuerpo	Óptico
Virus del mosaico del tabaco	Bioafinidad	Anticuerpo	SPR
Protozoos			
<i>Cryptosporidium</i> (60)	Bioafinidad	Oligonucleótido	Electroquímico Piezoeléctrico
<i>Cryptosporidium</i> y <i>Giardia</i>	Bioafinidad	Anticuerpo	Onda evanescente

8.3.2. Calidad alimentaria

La calidad alimentaria se puede entender como aquellos factores que diferencian los productos de acuerdo con sus características organolépticas, de composición o con sus propiedades funcionales. El análisis de la composición de los alimentos permite caracterizarlos y comprobar si contienen las cantidades que se requiere de los distintos componentes. Dentro de los distintos biosensores desarrollados para evaluar la composición de los alimentos se encuentran aquellos que se utilizan para evaluar la presencia y el contenido de componentes normales del alimento (contenido en etanol, glucosa, almidón) y de otros que se añaden como vitaminas, aminoácidos, etc. Por otro lado, la evaluación de la composición permite también conocer la frescura de algunos productos, como carnes, pescados, frutas y verduras. Durante el almacenamiento de los productos se sintetizan distintos compuestos que dan sabores y aromas anormales, como los compuestos que se producen por la degradación de las grasas o las aminas que aparecen durante el deterioro del pescado y la carne, que en ocasiones pueden ser perjudiciales para la salud y se pueden utilizar como índices de frescura. Este índice de frescura se relaciona con la calidad sanitaria del alimento, ya que los alimentos sirven como medio de crecimiento para distintos microorganismos, que pueden ocasionar toxiinfecciones alimentarias o desarrollar toxinas. Por tanto, un índice de frescura bajo indica una mayor probabilidad de crecimiento microbiano y una

menor seguridad del alimento (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

En el caso de frutas se puede analizar el contenido de algunos ácidos orgánicos y azúcares que son indicadores de la madurez de las mismas. Existen otros compuestos que dan lugar a la aparición de sabores y aromas desagradables como es el caso del 2,4,6-tricloroanisol en los vinos (Moore, 2003), que es un compuesto de origen microbiano relacionado con los corchos que tapan las botellas y cuya presencia causa grandes pérdidas en la industria vitivinícola.

A continuación se muestran en la **Tabla 18** distintos biosensores desarrollados para evaluar la frescura y la vida útil de los alimentos.

Tabla 18: Biosensores utilizados en la evaluación de la vida útil. (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

<i>Analito</i>	<i>Matriz</i>	<i>Elemento de reconocimiento</i>	<i>Sistema de transducción</i>
Evaluación del enranciamiento			
Polifenoles	Aceite de oliva	Tirosinasa	Amperométrico
Ácidos grasos de cadena corta	Leche y derivados	Lipasa	Electroquímico
Índice de frescura			
Ornitina y aminas	Gambas	Ornitina carbamil transferasa, nucleósido fosforilasa y xantina oxidasa	Amperométrico
Aminas	Pescado	Diamina oxidasa	Amperométrico
Aminas biógenas	Pescado	Amina oxidasa y peroxidas	Amperométrico
Histamina	Pescado	Amina oxidasa	Amperométrico
Hipoxantina	Pescado	Xantina oxidasa	Amperométrico
Aminas	Frutas y verduras	Diamina oxidasa Poliamina oxidasa	Amperométrico
	Carne	Xantina oxidasa	
Ácido láctico	Carne	Enzimático	Amperométrico
Evaluación de la madurez			
Glucosa	Frutas	Glucosa oxidasa	Electroquímico
Sacarosa	Frutas	Invertasa, mutarotasa y glucosa oxidasa	Electroquímico
Isocitrato	Frutas	Isocítrico deshidrogenasa	Potenciométrico
Evaluación del deterioro			
2,4,6-tricloroanisol	Vino	Anticuerpos	Electroquímico

8.3.3. Control de procesos

Los sistemas de monitorización continua de un proceso industrial permiten detectar en tiempo real los posibles errores de la cadena de producción para subsanarlos de manera inmediata. Hasta el momento se han utilizado en el control de parámetros como el pH, la temperatura, la presión, etc. Gracias a las tecnologías de biosensores ahora también pueden determinarse y cuantificarse diversos compuestos de gran importancia como:

- Azúcares: fuentes de carbono y factores limitantes del crecimiento de las levaduras que participan en los procesos fermentativos (glucosa). Concentraciones bajas de los mismos disminuyen la productividad del biorreactor. Otro ejemplo es la aparición de lactulosa que indica un tratamiento térmico excesivo de la leche durante la pasteurización (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)
- Alcoholes: productos finales de la fermentación alcohólica (cerveza, vino). Con respecto al etanol las reacciones enzimáticas se inhiben cuando su cantidad supera el 14%. Por otra parte, la proporción de glicerol debe mantenerse en 1:10 respecto al alcohol total si no hay alteraciones indeseables durante el proceso (Niculescu, Mieliauskiene, & Laurinavicius, 2003).
- Otras moléculas: aminoácidos (lisina) obtenidos por fermentación y empleados como suplementos en animales, ácido láctico para controlar la acidez y formación de la corteza de quesos.

Se han desarrollado una serie de prototipos de biosensores en el comercio para envasado inteligente: Food Sentinel System (SIRA Technologies Inc.) es un biosensor que detecta patógenos alimenticios con un anticuerpo específico para éste que se encuentra atrapado en una membrana que forma parte del código de barras. La presencia de la bacteria causa la formación de una barra oscura por lo que el código de barras no se puede leer por lo que no es posible venderlo en la caja del supermercado. Toxin Alert Inc. También desarrolló un sistema de diagnóstico patentado, Toxin Guard™, basado en la incorporación de anticuerpos en un film plástico (Realini & Marcos, 2014).

La integración de biosensores al envasado de alimentos aún se considera un gran desafío. Sin embargo se han llevado a cabo algunos desarrollos tecnológicos que podrían ayudar a su integración, por ejemplo se encuentran aquellos integrados al material del envase construidos con polímeros molecularmente impresos. Esta tecnología es una técnica prometedora para crear elementos de reconocimiento selectivos para analitos. Las moléculas de analito son incorporadas a una mezcla pre-polimérica seguida por la formación de enlaces con el pre-polímero. La mezcla luego es polimerizada con las moléculas de analito. Una vez que el polímero se ha formado, se retiran las moléculas de analito, dejando cavidades con la forma éstas. De esta manera, una

molécula particular puede ser identificada ya que la forma de la cavidad es específica para la molécula modelada. Esta invención es un material polímero de bajo costo que indica el deterioro de la carne a través de un cambio de color (Universidad Johns Hopkins Laboratorio de Física Aplicada, 2014). Kelly, Murray y Uy (2005) patentaron un sensor de deterioro de alimentos polimérico de huella molecular que comprende un polímero que contiene un complejo de metal de transición poliazamacro cíclico. El complejo se une selectivamente a aminas biogénicas, tales como cadaverina, putrescina e histamina, que se liberan por microorganismos causantes de deterioro de los alimentos. El polímero luego cambia de color por exposición a estas aminas indicando un estado de posible deterioro (Realini & Marcos, 2014).

8.4. Propuesta Envases Inteligentes

La investigación detallada en los capítulos anteriores reveló que en la Etapa de consumo de la cadena de abastecimiento de alimentos lácteos, cárneos y del mar, entre otros, es donde se produce la mayor cantidad de enfermedades de transmisión alimentaria y desperdicio de alimentos, por lo que queda en manos del consumidor dar solución o al menos mejorar estas problemáticas.

Dentro de las tecnologías inteligentes desarrolladas por centros de investigación como ainia, ITENE u otro mencionado con anterioridad en el punto 6.3 del presente estudio (Tendencia en innovación de Tecnología inteligente para detectar deterioro en alimentos) se encuentran envases que incluyen características biológicas dentro de su composición de modo de permitir detectar las condiciones reales del alimento en base a la conservación de la cadena de frío durante su distribución y almacenamiento y al nivel de deterioro en que se encuentre.

Una alternativa que suena fuerte en la industria es incluir dentro del proceso de envasado nuevas tecnologías que le permitan dar mayor información al consumidor respecto a las condiciones en que se encuentran los alimentos, éstas en relación a la historia de la temperatura de alimentos refrigerados y su estado de deterioro.

El chequeo de la cadena de frío es transversal en todos los alimentos por lo que la propuesta de envasado para esta problemática no varía según el producto.

8.4.1. Propuesta para evaluar conservación de la cadena de frío

El dispositivo debe ser idealmente una etiqueta autoadhesiva, TTI basado en el crecimiento de microorganismos apto para productos perecederos que se conservan en condiciones de refrigeración o congelación con una óptima visualización de la señal que desaconseja el consumo del producto y con una composición sencilla y de simple fabricación.

Para su desarrollo en primera instancia es necesario pensar los mecanismos para mantener inactivo el dispositivo si es que aún no se está chequeando la cadena de frío.

Alternativas para lograr que el dispositivo se mantenga inicialmente inactivo:

- Separación de microorganismos y nutrientes por una barrera física que es removida al activarlo.
- Microencapsulación de microorganismos y nutrientes
- Congelación del dispositivo
- Cambios de estado sólido a líquido, donde los nutrientes y/o microorganismos se encuentran liofilizados y luego mezclados con un compuesto que se funde y una vez que se supera una temperatura umbral se convierte en líquido y permite el crecimiento microbiano.
- Conservación de microorganismos en condiciones hostiles, de modo de no permitir su crecimiento. Por ejemplo manteniéndolo en un pH determinado, para su activación se añadiría un componente que ajuste el pH.

También es necesario colocar un texturizante en el medio, para inmovilizar los microorganismos y/o nutrientes, de esta forma el cambio de la propiedad del medio puede darse de manera homogénea a lo largo del dispositivo.

¿Qué texturizante usar? Algunas patentes describen: carboximetil celulosa, hidroxipropil celulosa, hidroxietil celulosa, agar enriquecido o agar puro.

El microorganismo a utilizar dependerá del metabolito que se desea detectar por el indicador, si se desea medir el pH del medio para que el indicador pueda funcionar como tal se sugiere la presencia de un microorganismo que produce ácido durante su crecimiento y/o actividad metabólica teniendo en consideración que su cinética de acidificación debe ser compatible con la temperatura y los periodos de preservación, de modo que esté de acuerdo con la cinética de degradación del producto perecedero a controlar.

El medio de cultivo en el que se encuentre el microorganismo debe contener los elementos necesarios para desarrollar la acidificación. Se sugiere el uso de agentes espesantes y gelificantes, de manera de impedir el flujo de la solución que los contiene.

8.4.2. **Propuesta para detectar presencia de *Salmonella spp.* y *Vibrio parahaemolyticus***

En el mercado, existe un biosensor capaz de detectar patógenos de manera específica utilizando anticuerpos específicos para dicho microorganismo que se encuentra atrapado en una membrana que forma parte del código de barras, su nombre es Food Sentinel System (SIRA Technologies Inc.). Por otro lado, Toxin Alert Inc. También desarrolló un sistema de diagnóstico patentado, Toxin Guard™, basado en la incorporación de anticuerpos en un film plástico (Realini & Marcos, 2014). Flex Alert una compañía de investigación y desarrollo de Scheelite Technologies LLC, también presentó un biosensor flexible comercialmente disponible para la detección de patógenos en cereales frutas perecederas y producción de vino.

Tomado en cuenta que los patógenos que más afectan la salud de los chilenos son *Salmonella spp.* y *Vibrio parahaemolyticus* y que estos se producen mayormente en la Etapa de consumo se sugiere desarrollar un dispositivo o etiqueta como los anteriormente mencionados, pero más bien como kit de detección, que pueda ser proporcionado al consumidor de modo que cada individuo pueda monitorear la presencia de dichos patógenos en el alimento que desee consumir una vez que sea adquirido. El análisis convencional que se lleva a cabo para detectar la presencia de *Salmonella spp.* en el alimento consiste en ensayos basado en anticuerpos, DNA o RNA (FDA, 2012). *Vibrio parahaemolyticus* en cambio puede ser detectado por la presencia de la hemolisina TDH o TRH (FDA, 2012).

Por lo que el kit de detección podría ser individual para cada patógeno, utilizando un biosensor con un elemento de reconocimiento para TDH o TRH o anticuerpos específicos para el microorganismo o bien algún receptor que detecte su presencia.

8.4.3. **Propuesta para detectar deterioro en alimentos**

Para detectar el deterioro causado por microorganismos es necesario evaluar éste según el alimento que se requiere estudiar por separado, y así dar una propuesta específica de envasado inteligente para cada alimento según las características que tengan los microorganismos más afines a éstos. Para ello se investigó la microbiología alimentaria de los productos que presentan mayores problemas en desperdicio y seguridad alimentaria; productos cárneos, lácteos, pescados y mariscos, complementándolo con las cifras de desperdicio estimado de cada producto mencionado previamente en el capítulo 2 del presente documento.

8.4.3.1. *Carnes y productos cárneos*

Microbiología alimentaria de productos cárneos

Las carnes son alimentos muy alterables debido a sus características de composición: alto contenido en proteínas y grasas y en cofactores que favorecen el crecimiento bacteriano (Frazier & Westhoff, 1993)

La carne fresca está expuesta a modificaciones debidas a sus propios enzimas, a la actividad de los microorganismos presentes, y su grasa, que puede ser oxidada químicamente. Al dejar la carne a temperatura ambiente ocurren modificaciones autolíticas, las cuales incluyen cierta acción proteolítica sobre el tejido muscular y conjuntivo y una ligera hidrólisis de las grasas, dando lugar a diversos tipos de alteraciones de los alimentos y, de hecho, a casi todos los tipos de alteraciones que desprenden un olor ácido. El agriado debido a la autólisis resulta difícil de diferenciar de los defectos ocasionados por la actividad microbiana, sobre todo de los debidos a

la proteólisis simple. Sin embargo, esta hidrólisis previa de las proteínas por los enzimas de la carne sin duda facilita el crecimiento inicial de los microorganismos en la misma, suministrando a algunos microorganismos, incapaces de tomar las proteínas originarias completas, los compuestos nitrogenados más sencillos que necesitan (Frazier & Westhoff, 1993).

Para muchos microorganismos, la carne es un medio de cultivo ideal ya que su porcentaje de humedad es elevado, contiene gran cantidad de nutrientes nitrogenados de diversos grados de complejidad y está provista de abundantes sales minerales y factores accesorios del crecimiento. Además, suele contener algún hidrato de carbono (glucógeno) y su pH es apropiado para que en ella se multipliquen la mayoría de los microorganismos (Frazier & Westhoff, 1993).

Prácticamente todos los tipos de bacterias son capaces de crecer y deteriorar productos cárnicos; además, la flora inicial del producto, más si está procesado, puede ser muy variada. Los factores que influyen en la multiplicación de microorganismos (Frazier & Westhoff, 1993) son:

- Tipo y número de microorganismos contaminantes y diseminación de los mismos en la carne.
- Propiedades físicas de la carne. La extensión de la superficie de la carne expuesta tiene una importante influencia en la velocidad con que aquella se altera, como así también la cantidad de grasas.
- Propiedades químicas de la carne. Que incluye porcentaje de humedad, nutrientes y pH.
- Disponibilidad de oxígeno
- Temperatura

El pH de la carne fresca puede oscilar desde aproximadamente 5,7 hasta valores superiores a 7,2, que dependen tanto de la cantidad de glucógeno existente en el tejido muscular del animal en el momento de ser sacrificado como de las modificaciones que posteriormente tienen lugar en la carne. Un valor de pH más elevado favorece el crecimiento de los microorganismos; un valor más bajo suele retardar la multiplicación de los microorganismos y es posible que sea selectivo para determinados microorganismos, por ejemplo para las levaduras.

Su potencial de O/R permite el crecimiento tanto de anaerobios, en profundidad, como de aerobios, en la superficie, del alimento (Universidad de Navarra, 2008-2009).

Deterioro de carnes de vaca, cerdo y similares:

Al sacrificarse el animal se producen una serie de cambios fisiológicos que dan inicio a la producción de la carne comestible: parada circulatoria, fin del reciclaje muscular del ATP, inicio de la glicolisis y bajada del pH, descontrol del crecimiento de microorganismos e inicio de la desnaturalización de proteínas. Este proceso tarda entre 24 h y 36 h. a la temperatura habitual de almacenamiento (2-5° C). Durante el proceso de descenso de temperatura se inicia el deterioro interno debido, sobre todo a *C. perfringens* y enterobacterias; cuando la temperatura es baja el deterioro es predominante debido a la flora superficial (Universidad de Navarra, 2008-2009).

En las canales también se puede producir deterioro superficial debido a hongos y a levaduras; sin embargo, en carnes procesadas, picadas, el deterioro es debido solo a bacterias del grupo de *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella* (Universidad de Navarra, 2008-2009).

En el caso de filetes o piezas cortadas conservadas a baja temperatura, el deterioro puede producirse por bacterias u hongos dependiendo de la humedad ambiental (bacterias a alta humedad).

El crecimiento de bacterias (sobre todo *Pseudomonas*) puede detectarse primero por la aparición de colonias discretas, luego mal olor y luego un capa de limo que cubre la pieza y que se produce por la coalescencia de las colonias (Universidad de Navarra, 2008-2009).

Cuando hay un crecimiento abundante de bacterias no se produce crecimiento de los mohos porque aquéllas consumen el oxígeno necesario para que crezcan éstos.

Deterioro de carnes envasadas y otros productos:

La situación es distinta cuando la carne se almacena al vacío en refrigerador: en este caso el deterioro es causado por bacterias lácticas o por algún tipo especial de bacilo (*Bacillus thermosphacta*) en la mayoría de los casos. La presencia exclusiva de bacterias lácticas o de enterobacterias depende del pH del producto (bajos pH bacterias lácticas) y de la eficiencia de la barrera al oxígeno del envase.

La presencia de nitritos también dirige el tipo de bacteria alterante porque inhibe más los bacilos que las bacterias Gram-Negativas.

En el caso de embutidos, cada uno de los componentes puede proporcionar microorganismos alterantes. En general estos productos se deterioran más por bacterias y levaduras que por hongos.

El deterioro de estos productos puede producirse de tres formas distintas: producción de limo, agriado y cambio de color.

La formación de limo tiene lugar en la superficie y se debe predominantemente a las bacterias lácticas; el agriado ocurre bajo la superficie y es consecuencia de la actividad de las bacterias lácticas sobre productos que contengan lactosa. La formación de color verde se debe a la producción de peróxidos o de H₂S por algunas bacterias y tiene lugar en el interior de las piezas.

El enverdecimiento producido por peróxidos es debido a bacterias lácticas, y el producto verde no es peligroso desde el punto de vista toxicológico. El enverdecimiento debido a H₂S se produce por una reacción con la hemoglobina causada por *Pseudomonas* o algunas bacterias lácticas.

Desperdicio de productos cárneos

En la sección 5.3. *Estimación Desperdicio de alimentos en Chile* del presente documento, se manifestó la posible cantidad de producto carneo que se está desperdiciando en Chile tomando en cuenta la producción anual de carne junto con el porcentaje de desperdicio en dicho grupo alimentario a nivel mundial en Etapa de consumo (12%), y finalmente el precio del producto.

Recordando, dentro de los ejemplos calculados se encuentran: Aves (pollo entero) con \$ 170,1 mil millones por año que se desperdician, Cerdo (lomo) con \$ 385,4 mil millones por año que son desechados y Bovino (lomo liso) con una pérdida de \$ 206,4 mil millones por año.

Es importante acotar que el monto desperdiciado dependerá del producto, de la empresa que lo produce y el lugar de venta.

Si se llevara a cabo un estudio de cuánto de este alimento desperdiciado realmente se encuentra deteriorado sería posible estimar cuánto dinero es posible salvar utilizando envases inteligentes en productos cárneos.

Propuesta de envasado inteligente

Se sugiere un envasado inteligente para detectar deterioro en productos cárneos en base al monitoreo de compuestos volátiles producidos por los microorganismos causantes del deterioro. Como presencia de ácidos volátiles, como son los ácidos fórmico, acético, butírico y propiónico o ácido láctico y succínico, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, indol, escatol, amoníaco, y aminas.

La presencia de dichos metabolitos puede ser monitoreada utilizando un dispositivo compuesto de una matriz no toxica y permitida por el RSA, colocada en el interior del envase. Su modo de acción consistiría en la fuga de una solución azul del dispositivo una vez alcanzado el límite de concentración de dicho metabolito dentro del envase para ser denominado como alimento en deterioro, de este modo el alimento se teñiría de azul y el deterioro sería apreciado por el consumidor previamente.

En el mercado se han presentado: indicador de frescura Fesh-Check® en jamón, *OnVu*, un indicador de tiempo-temperatura, que se ha colocado en la caja de cartón de su pollo para asar “Bachofe-Güggeli”. SensorQ™, sensor de pH basado en antocianinas que informa la formación de aminas biogénicas de origen microbiológico en el envasado con carne y pollo.

Para evaluar la posibilidad de traer a Chile alguna de estas tecnologías se sugiere llevar a cabo previamente un estudio de costo-efectividad específico para la empresa interesada en incorporarlo en el envasado de sus alimentos.

8.4.3.2. Leche y productos lácteos

Microbiología alimentaria de productos lácteos

El RSA desarrollado por la división jurídica del Ministerio de Salud del Gobierno de Chile tiene estipulado el criterio microbiológico para cada alimento, y por lo tanto los análisis que se les debe realizar para descartar la presencia de microorganismos, lo que permite determinar cuáles son los patógenos característicos que causan el deterioro en cada producto.

En el caso de los *productos lácteos* el deterioro de leche no pasteurizada se produce rápidamente debido a su alta carga microbiana (Universidad de Navarra, 2008-2009). En la leche pasteurizada el deterioro se debe a estreptococos termoresistentes (Universidad de Navarra, 2008-2009). En el caso de mantequilla el deterioro se puede producir como putrefacción debido a *Pseudomonas putrefaciens* o por enranciamiento debido a actividades lipolíticas de algunas bacterias de tipo *Pseudomonas* o bacterias lácticas; aunque el deterioro más frecuente de la mantequilla es el producido por hongos (Universidad de Navarra, 2008-2009).

La leche y los productos lácteos como cremas, quesos, queso y yogurt, desarrollan distintos microorganismos dependiendo del proceso que se lleve a cabo durante su elaboración (Ej.: pasteurización, liofilización, UHT), siendo los más frecuentes Bacterias aerobias mesófilas en leches y cremas, y *Staphylococcus aureus* en quesos (**Tabla 19**).

Tabla 19: Análisis microbiológico requerido en leche y productos lácteos (RSA)

Producto	Análisis de microorganismos
<i>Leche cruda</i>	RAM
<i>Leche y crema pasteurizada</i>	RAM y coliformes
<i>Leche y crema en polvo</i>	RAM, coliformes, <i>B. cereus</i> , <i>Salmonella</i> , <i>S. aureus</i>
<i>Leche y crema UHT</i>	RAM
<i>Leches evaporadas y crema esterilizada</i>	Microorg. Mesófilos Aerobios y Anaerobios Microorg. Termófilos Aerobios y Anaerobios
<i>Leche condensada azucarada y manjar</i>	Mohos, Levaduras
<i>Yogurt y productos lácteos fermentados o acidificados</i>	Enterobacterias, Mohos, Levaduras
<i>Postres lácteos no acidificados en envase original de fabricación</i>	RAM; Enterobacterias, Mohos, Levaduras, <i>S. aureus</i>
<i>Quesillo, queso fresco, queso chacra, queso de suero</i>	Enterobacterias, <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Salmonella</i>
<i>Quesos madurados</i>	Enterobacterias, <i>S. aureus</i> , <i>Salmonella</i>
<i>Quesos no madurados</i>	Enterobacterias, <i>S. aureus</i>
<i>Quesos procesados</i>	RAM, Enterobacterias, <i>S. aureus</i>

En Chile la presencia de microorganismos patógenos en el yogurt, por ejemplo, es casi inexistente, ya que se produce solo en caso de ser contaminado por su incorrecta manipulación durante la fase de producción no debido al proceso de producción *per se* (MINSAL). Sin embargo se considera un yogurt deteriorado aquel que cambia sus propiedades organolépticas y que sensorialmente no es aceptado por el consumidor, pues se encuentra ácido, se separa en fases, se agruma, etc.

Desperdicio de Productos lácteos

Como se mencionó en el segundo capítulo, la estimación de productos lácteos desperdiciados en Chile genera grandes pérdidas económicas (como Leche \$ 315,4 mil millones por año, Yogurt \$ 50,7 mil millones por año, Queso \$ 32,6 mil millones por año). De haber un envasado que notificara las reales condiciones de estos alimentos a los distribuidores y consumidores probablemente disminuirían estas cifras, sin embargo para tener la certeza es necesario realizar un estudio aplicado de la tecnología en un producto lácteo y evaluar cuanto de éste es “salvado” del desperdicio por encontrarse en buenas condiciones.

Propuesta de envasado inteligente

En el mercado no se encuentran envasados inteligentes relacionados a este tipo de alimento ni se han llevado a cabo pruebas concepto con esta tecnología en productos lácteos.

Por lo que se sugiere que los productores de lácteos incorporen en su proceso de *packaging* un envasado con biosensores, nanotecnología o con indicador de acidez que permita pesquisar el deterioro del yogurt a través de la detección de su cambio de pH, como se mencionó antes producto de la síntesis de ácido acético característico durante la proliferación de *Streptococos* termoresistentes y *Lactobacillus* utilizados en la producción del yogurt.

Yoshida, Maciel, Mendonça, y Franco (2014) desarrollaron un indicador de pH colorimétrico que consiste en un film de quitosano que contiene antocianina dentro de los metabolitos que puede detectar se encuentran n-butilato, L- ácido láctico, D-lactato y ácido acético (Kerry et al., 2006). La alternativa de envasado que se propone consta de una tapa o cuchara que detecte la acidez del yogurt y una vez que llegue al pH límite cambie su color de manera que el consumidor comprenda antes de la ingesta, y antes de eliminar un yogurt, en qué condiciones se encuentra.

El pH normal del yogurt se encuentra cercano a 4,5. Por lo que de todos los indicadores orgánicos aceptados en la industria alimentaria el naranjo de metilo sería otra buena alternativa para colocar en la tapa o cuchara, que inicialmente se encontraría amarilla y se tornaría rojo a medida que se encuentre en una solución acida (pH de viraje 4.4 (amarillo)-3.1 (rojo)).

8.4.3.3. Pescado y productos de pesca

Microbiología alimentaria de productos de pesca

El pescado es uno de los alimentos más susceptibles al deterioro, siendo más rápido en perecer que la carne fresca por su rápida autólisis generada por sus propias enzimas y porque es menos ácido en su reacción, lo que favorece el crecimiento microbiano (Frazier & Westhoff, 1993).

Los expertos coinciden en que la alteración bacteriana del pescado no se inicia hasta después de haber desaparecido la rigidez cadavérica, momento en el cual son liberados los jugos de las fibras musculares (Frazier & Westhoff, 1993).

El pH del músculo del pescado influye de modo importante en la rapidez con que se altera, puesto que influye en la multiplicación de las bacterias. En general, cuanto más bajo sea el pH del tejido muscular del pescado, tanto más lenta será la descomposición por la actividad bacteriana. Esta disminución del pH del tejido muscular del pescado se debe a que el glucógeno muscular se transforma en ácido láctico (Frazier & Westhoff, 1993).

El tipo o velocidad de alteración dependerán de variados factores (Frazier & Westhoff, 1993), como:

- Tipo de pescado. Los distintos tipos de pescado se diferencian bastante por lo que se refiere a la facilidad con que se alteran. Determinados pescados grasos se alteran con rapidez debido a la oxidación de las grasas no saturadas de sus aceites. Los pescados ricos en óxido de trimetilamina producen pronto una importante cantidad de trimetilamina con el típico “olor a pescado estropeado”.

- Estado del pescado en el momento de su captura. Los peces que están agotados como consecuencia de los esfuerzos que hacen antes de morir, a la falta de oxígeno, y a una excesiva manipulación se alteran más rápidamente como así también aquellos con tubo intestinal repleto.
- Clase y número de bacterias contaminantes existentes en el tejido muscular de pescado. Las bacterias pueden proceder del lodo, del agua, de los manipuladores y también del mucílago que recubre la superficie externa del pescado o de su tubo intestinal. En general, cuanto mayor es la carga bacteriana de la superficie del pescado, tanto más rápidamente se altera éste.

Las bacterias que con mayor frecuencia intervienen en la alteración del pescado forman parte de la flora propia que recubre el cuerpo de los peces y de la flora de su intestino. Las principales especies de bacterias que alteran el pescado dependen de la temperatura a la que se mantiene éste, aunque a las temperaturas que normalmente se emplean para refrigerarlo es más probable que predominen las especies de *Pseudomonas*, siguiéndoles en orden de mayor a menor importancia las especies de los géneros *Acinetobacter*, *Moraxella*, y *Flavobacterium*. Con menor frecuencia, y en caso de que las temperaturas sean más elevadas, aparecen en el pescado bacterias de los géneros *Micrococcus* y *Bacillus* (Frazier & Westhoff, 1993).

Las bacterias se multiplican al principio en la superficie y posteriormente penetran en la masa muscular. El pescado es rico en nitrógeno no proteico y la autólisis originada por sus enzimas aumenta el aporte de nutrientes nitrogenados (por ej., aminoácidos y aminos) y de glucosa que necesitan las bacterias para multiplicarse. A partir de estos compuestos las bacterias producen trimetilamina, amoníaco, aminos (por ej., putrescina y cadaverina), ácidos grasos inferiores, y aldehídos y, finalmente, sulfuro de hidrógeno y otros sulfuros, mercaptano e indol, compuestos que son indicadores de putrefacción (Frazier & Westhoff, 1993).

Desperdicio de productos de pesca

Sólo en Salmón son \$ 1.372,7 mil millones por año que se desperdician sólo en etapa de consumo, por lo que se sugiere fuertemente la implementación de tecnologías de envasado

inteligente de modo de poder disminuir esta gran pérdida económica que se estima que se produce en el país.

Propuesta de envasado inteligente

Se propone una etiqueta que detecte, al igual que productos cárneos, compuestos volátiles producidos por microorganismos que causen el deterioro. Como trimetilamina, amoníaco, aminas (por ej., putrescina y cadaverina), ácidos grasos, aldehídos, sulfuro de hidrógeno y otros sulfuros, mercaptano y/o indol.

Boscher et al. (2014) describió la detección de aminas volátiles como trimetilamina (TMA), trietilamina (TEA) y dimetilamina (DMA) usando una cubierta de metaloporfirina aplicada en el film de PET. Pacquit et al. (2007, 2006) desarrollaron un indicador basado en tinta colorimétrica disponible para rastrear el aumento de aminas volátiles como indicador de deterioro en pescado. En el mercado también se encuentran: vitsab® o Fresh Tag®, un indicador colorimétrico que informa la formación de aminas volátiles en productos de pesca.

Al igual que en los productos cárneos la posibilidad de traer una de estas alternativas de envasado a Chile dependerá de los resultados de un estudio de costo-efectividad específico para el producto de pesca de interés y de la empresa interesada en incorporarlo.

9. CONCLUSIÓN

En la industria alimentaria chilena la inocuidad alimentaria y el desperdicio de alimentos se ven afectados mayormente durante la etapa de consumo de la cadena de producción, dejando una puerta abierta para desarrollar cualquier tipo de innovación en la industria que permita mejorar estas problemáticas durante dicha etapa. Según los antecedentes recopilados, efectivamente es necesario incorporar en la industria alimentaria una tecnología capaz de comunicar al consumidor en qué condiciones se encuentra el alimento que ha adquirido para evitar que lo desperdicie o bien en caso de estar descompuesto o con presencia de patógenos, evitar su consumo. Particularmente en este estudio se optó por investigar el envasado inteligente, sin embargo también podría ser utilizado otro tipo de envasado, como el activo, o bien realizar una capacitación a la ciudadanía de modo que toda la población pueda ser partícipe de esta solución. Los alimentos que se ven mayormente afectados tanto en desperdicio como seguridad alimentaria son: productos cárneos, lácteos, de pesca, frutas y verduras. Estos últimos (frutas y verduras) no fueron tomados en cuenta para llevar a cabo una solución tecnológica puesto que no son alimentos procesados y en Chile no se venden normalmente envasados, sino más bien a granel en ferias públicas.

Los patógenos involucrados en la mayoría de las ETA's son *Salmonella spp.* (cuya matriz característica son productos lácteos y cárneos) y *Vibrio parahaemolyticus* (pesquisado normalmente en mariscos). También es necesario destacar que los principales factores que atentan contra la inocuidad y el desperdicio de alimentos son: la presencia de microorganismos (característicos de deterioro o patógenos) y la temperatura, este último según los actores de la etapa de distribución, el que más afecta al alimento.

La vigilancia tecnológica realizada permitió corroborar que la presencia de microorganismos y el quiebre de la cadena de frío de alimentos refrigerados son las principales causas del deterioro alimentario, puesto que desde el año 1996 hasta el 2015 la mayoría de las solicitudes de patentes y/o publicaciones se relacionan a tecnologías asociadas a indicadores de frescura o deterioro o TTi. Más en detalle, dentro de la búsqueda de las tecnologías inteligentes existentes utilizadas mundialmente en alimentos envasados se encontró que los llamados biosensores o indicadores de frescura detectan el deterioro a partir de los metabolitos producidos por los microorganismos presentes en el alimento y que luego son liberados al espacio de cabeza del envasado (lugar

donde son detectados). Estos envases permiten detectar y comunicar al consumidor el estado microbiológico del alimento perecible y si éste se encuentra apto para su consumo a partir de un cambio colorimétrico en el envase o etiqueta adherida a éste. Por otro lado, la etiqueta indicadora de la historia de la temperatura durante la cadena de valor, denominada TTi, permite detectar y comunicar al consumidor si se ha quebrado la cadena de frío del alimento perecible, a partir del cambio colorimétrico de la tinta que utiliza una vez que la temperatura sube su umbral crítico, ésta ha sido estudiada en variados alimentos sobretodo en carnes y pescados.

Decidir qué tipo de tecnología usar para detectar el deterioro dependerá de la matriz de cada alimento, por lo que cada alimento debe ser estudiado por separado para determinar la tecnología que pesquise de mejor manera el factor causante del deterioro del producto.

Dentro de los dispositivos inteligentes estudiados el único que se encuentra a la venta en Chile es TTi, por lo que se recomienda utilizar este dispositivo como detector de quiebre de la cadena de frío en productos refrigerados de supermercado durante su distribución. Es importante acotar que el estudio de costo efectividad revela que, al menos para carne molida, este indicador no presenta el costo mínimo que la industria requiere para integrar nueva tecnología en su envasado, puesto que su valor supera 10 veces el costo de la etiqueta actual. Según lo investigado, hasta el momento no existe una tecnología inteligente lo suficientemente costo efectiva para ser aplicada en la industria, por lo que se sugiere llevar a cabo un proyecto en donde se desarrolle un dispositivo inteligente compuesto por nanopartículas para economizar los costos, como se evidencia en el artículo de Zhang, y otros, el año 2013, donde desarrollan un indicador de Tiempo-Temperatura con nanotecnología cuyo costo es casi 100 veces menor al que se encuentra actualmente en el mercado chileno (*Coolvu*®); y luego, una vez realizada la prueba en el mercado, evaluar el cambio de cifras, en términos de desperdicio y ETA's en Chile, antes y después de la incorporación de dicho envasado inteligente.

Para determinar específicamente cuánto dinero ahorrarían los productores al utilizar esta tecnología es necesario realizar una investigación con datos específicos entregados por dichos productores. Por ejemplo: costo de producción, costo en materia prima, el valor de venta del alimento, cuánto se devuelve en estado de deterioro, cuantas demandas por intoxicación alimentaria reciben y su costo. Y a partir de estos datos realizar el cálculo.

Se sugiere que se lleve a cabo una investigación de la cantidad de alimentos que realmente se desperdicia en Chile, puesto que sólo fueron encontrados antecedentes extranjeros.

La mayoría de los dispositivos que utilizan tecnología inteligente se basan en reacciones químicas para gatillar el cambio en su coloración, sin embargo fue posible reconocer en algunos casos la presencia de material biológico, como enzimas o microorganismos, para llevar a cabo la detección de alimentos caducados o bien cuya cadena de frío ha sido quebrada.

Dentro de las tecnologías de envase inteligente antes mencionadas sólo 3 han involucrado la biotecnología en su desarrollo. **Indicadores de tiempo-temperatura** (Por ejemplo TREACEO® es una etiqueta comercial que percibe el cambio de pH en el medio a través de la caseína, proteína que es colocada en el medio y que al disminuir el pH precipita volviendo el medio opaco al detectar quiebre en la cadena de frío (España Patente nº ES-2376559_B1, 2013)), **indicadores de frescura y deterioro** (tomando en cuenta el metabolismo de los microorganismos causantes del deterioro o la presencia de patógenos de un alimento determinado es posible detectar metabolitos utilizando indicadores que cambien de coloración en presencia de éstos, como por ejemplo se han desarrollado films con polianilina, una membrana de celulosa bacteriana y curcumina o rojo de metilo que responden a través de cambio de color visible a una variedad de aminas volátiles básicas liberadas durante el deterioro de pescado (Realini & Marcos, 2014)) , y **biosensores** (sistemas inteligentes disponibles para detectar metabolitos de manera dirigida, y pueden monitorear la frescura en los alimentos de una manera más específica que los indicadores de frescura debido a que pueden detectar la formación de productos en degradación y pueden ser diseñados de acuerdo al tipo de producto envasado. Se han desarrollado una serie de prototipos de biosensores en el comercio para envasado inteligente: Food Sentinel System (SIRA Technologies Inc.) es un biosensor que detecta patógenos alimenticios con un anticuerpo específico para éste que se encuentra atrapado en una membrana que forma parte del código de barras. La presencia de la bacteria causa la formación de una barra oscura por lo que el código de barras no se puede leer por lo que no es posible venderlo en la caja del supermercado. Toxin Alert Inc. También desarrolló un sistema de diagnóstico patentado, Toxin Guard™, basado en la incorporación de anticuerpos en un film plástico (Realini & Marcos, 2014)).

Las propuestas de envasado inteligente fueron desarrolladas según la evaluación de los principales factores que afectan su estado ideal para consumo, es decir, con el propósito de

detectar cambios de temperatura y crecimiento microbiano (tanto para deterioro como presencia de patógenos) en alimentos cárneos y lácteos, recordando que de los alimentos procesados éstos generan mayores ETA's en consumidores y un alto porcentaje de desperdicio (aproximadamente 20% de lo producido).

Para la detección de microorganismos patógenos y de deterioro en los alimentos (segundo factor predominante para que un alimento se encuentre en mal estado y no apto para el consumo), se propone desarrollar nuevas tecnologías inteligentes de envasado basadas en biotecnología (como TTi e indicador de frescura) y nanotecnología para abaratar costos.

Según los antecedentes recopilados en el presente estudio el uso de tecnología inteligente en el envasado de productos refrigerados permitiría detectar si existe o no un deterioro real y/o presencia de patógenos en dicho producto, siendo posible utilizar herramientas biotecnológicas para llevarlo a cabo.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Agrimundo. (agosto de 2014). *EE.UU.: señales del mercado apuntan al éxito de los envases inteligentes*. . Obtenido de Agrimundo: <http://www.agrimundo.cl/?p=28448>
- CENEM. (2014). *Noticias: Los envases adquieren nuevas funciones: cuidan y se autocalientan*. Obtenido de CENEM: http://www.cenem.cl/noticias/noticias_126.php
- Charles L. Wilson, P. (2007). *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. CRC Press. Obtenido de <http://books.google.cl/books?id=Q2KOOtgKi48C&printsec=frontcover&dq=intelligent+packaging&hl=es-419&sa=X&ei=4UYXVIjxG8fCsATT2YDYCA&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=intelligent%20packaging&f=false>
- CheckPack*. (2015). Obtenido de <http://www.checkpack.ugent.be/>
- CITA-CTIC, Laura Guttierrez. (s.f.). *Envasado inteligente para alimentos*. La Rioja.
- DIDT, Innovación y desarrollo Tecnológico. (s.f.). *Envases Inteligentes en la Industria de Alimentos*. (D. Pineda, Ed.) El Salvador. Recuperado el 2015, de <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2894/Envases%20inteligentes%20en%20la%20Industria%20Alimenticia.pdf>
- Dr. Verghese, K., Dr. Lewis, H., Lockrey, S., & Dr. Williams, H. (2013). *The role of packaging in minimising food waste in the supply chain of the future*. RMIT University, Melbourne, Australia.
- EFEagro. (febrero de 2014). *En busca de envases inteligentes que marquen con precisión la caducidad de la carne*. Obtenido de <http://www.efeagro.com/noticia/en-busca-de-envases-inteligentes-que-marquen-con-precision-la-caducidad-de-la-carne/>
- EnvaPack. (Febrero de 2011). *Envases inteligentes con detector de frescura incorporado*. Obtenido de EnvaPack, revista online de envase, empaque y embalaje: <http://www.envapack.com/envases-inteligentes-con-detector-de-frescura-incorporado/>

- FAO. (2011). *La función de las organizaciones de productores en la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos*.
- FAO. (Diciembre de 2014). Pérdida y desperdicio de alimentos: El papel de la FAO en la pérdida y desperdicio de alimentos. Obtenido de <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/es/>
- FDA. (2012). *Bad Bug Book, Handbook of Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins*.
- Flex Alert*. (2015). Obtenido de Flex Alert, RFID & biosensor technology solutions : <http://www2.flex-alert.com/flexalert/>
- Frazier, W. C., & Westhoff, D. C. (1993). *Microbiología de los Alimentos* (4ª ed.). (D. M. Vergb, Trad.) Zaragoza, España: ACRIBIA SA.
- Gobierno de Chile, c. d. (2010). *Chile, opportunities in agribusiness* (Segunda edición ed.). Chile .
- González Rumayor, V., García Iglesias, E., Ruiz Galán, O., & Gago Cabezas, L. (2005). *Aplicaciones de Biosensores en la Industria Agroalimentaria*. Vigilancia Tecnológica, Madrid.
- Gunders, D. (2012). *Wasted: How America Is Losing Up to 40 Percent of Its Food from Farm to Fork to Landfill*. The Natural Resources Defense Council (NRDC).
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. FAO, Roma.
- INFOSAN, OMS, FAO. (2006). *Cinco claves para la inocuidad de los alimentos*. Nota informativa.
- Instituto de Salud Pública, Gobierno de Chile. (Diciembre de 2014). *Instituto de Salud Pública, Ministerio de Salud, Gobierno de Chile*. Obtenido de <http://www.ispch.cl/inocuidad-alimentaria>
- INTA. (Diciembre de 2013). Pérdidas y Desperdicio, estrategias para salvar el tercio de alimentos que se desaprovechan en el mundo. *Revista de Investigaciones agropecuarias*, 19(3), 217-224.

- ITENE, Nuria Herranz. (2010). *La seguridad y la calidad del producto garantizadas mediante las nuevas tecnologías aplicadas a los envases*. Valencia.
- ITENE; Inmaculada Lorente Gomez. (Febrero de 2011). *Garantizando la calidad y la seguridad de los productos a través del envase inteligente*. Barcelona.
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990-993.
- Jongerijs-Gortemaker, B., Goverde, P., & van Knapen, F. y. (2002). Surface plasmon resonance (BIACORE) detection of serum antibodies against Salmonella enteritidis and Salmonella typhimurium. *Journal of Immunological Methods*, 33-44.
- Kopper, G., Calderón, G., Schneider, S., Domínguez, W., & Gutiérrez, G. (2009). *Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socio-económico*. Informe Técnico sobre Ingeniería Agrícola y Alimentaria, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO), Roma.
- Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Jayus, Abdullah, A., Yook Heng, L., & Ahmad, M. (2011). Smart Packaging: sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and instrumentation for food quality and safety*, 137-146.
- L, S., V, D., & M, M. (1999). Food related illness and death in the United States. *Emerg Infect Dis*, 607-625.
- Laben Chile. (Diciembre de 2014). *Quiénes Somos: Laben Chile*. Obtenido de <http://www.labenchile.cl/>
- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Richard Waite, & Searchinger, T. (2013). *Reducing Food Loss and Waste*. Working paper, World Resources Institute, Washington, DC. Obtenido de http://www.unep.org/pdf/WRI-UNEP_Reducing_Food_Loss_and_Waste.pdf
- MedlinePlus. (Enero de 2015). *Enciclopedia médica: ascitis*. Obtenido de MedlinePlus: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000286.htm>

- MedlinePlus. (Enero de 2015). *Enciclopedia médica: colangitis*. Obtenido de MedlinePlus:
<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000290.htm>
- MedlinePlus. (Enero de 2015). *Enciclopedia médica: colecistitis*. Obtenido de MedlinePlus:
<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000264.htm>
- MedlinePlus. (Enero de 2015). *Temas de salud: ictericia*. Obtenido de MedlinePlus:
<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/jaundice.html>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación Y Medio Ambiente. España. (2013). *Estrategia "mas alimento menos desperdicio"*. Madrid.
- Ministerio de salud, Gobierno de Chile. (2014). *Brotos enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA) Chile, semana epidemiológica (SE) 1 a 21 año 2014*. Ministerio de salud, gobierno de Chile, Departamento de epidemiología.
- (Enero de 2015). *Modulo 4: Microorganismos de alteración o deterioro*. Manual de Laboratorio. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/4Alteracion_6541.pdf
- Moore, E. P. (2003). Development of a biosensor for the quantitative detection of 2,4,6-trichloroanisole using screen printed electrodes. *Analytica Chimica Acta*, 484, 15–24.
- Niculescu, M., Mieliauskiene, R., & Laurinavicius, V. y. (2003). Simultaneous detection of ethanol, glucose and glycerol in wines using pyrroloquinoline quinone-dependent dehydrogenases based biosensors. *Food Chemistry*, 82, 481-489.
- Olea , A. (2012). *Vigilancia de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en Chile*. Ministerio de Salud de Chile, Departamento de Epidemiología Departamento de Alimentos y Nutrición.
- Organización Mundial de la Salud. (2007). *Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos*. Obtenido de http://www.who.int/foodsafety/publications/consumer/manual_keys_es.pdf?ua=1
- Pelayo, M. (Enero de 2015). *Eroski Consumer*. Obtenido de Grupo de Riesgo Alimentario:
<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2010/06/24/193903.php>

- Quezada, I. (2013). *Envases activos e inteligentes: Tendencias y principales aplicaciones para el comercio de carne*. Reporte Informativo, Agrimundo, ODEPA, Inteligencia Competitiva para el sector Agroalimentario, Santiago. Obtenido de http://www.agrimundo.cl/wp-content/uploads/130318_reporte_agrimundo_carnes_rojas_n%C2%BA_6_2.pdf
- Quienes somos: CIPA*. (marzo de 2015). Obtenido de CIPA centro de investigación de polímeros avanzados: http://www.cipachile.cl/?page_id=709
- QuimiNet. (Enero de 2015). *Artículos: Usos y aplicaciones del Polietileno Tereftalato (PET)*. Obtenido de QuimiNet.com: <http://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-polietileno-tereftalato-pet-42703.htm>
- Quintana, M., & Unidad Inteligencia Alimentaria Fundación Chile. (2011). *Carnes de aves y cerdos: Estudio de la situación mundial de agentes infecciosos en carne de aves y cerdos con especial énfasis en la situación de Campilobacter, Listeria spp, Salmonella spp y E. Coli O157:H7*. Santiago.
- Realini, C., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent Packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98, 404–419.
- Repetto, M. (1997). *Toxicología fundamental*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- República de Chile, Ministerio de Salud. (2013). *Reglamento Sanitario de los Alimentos*. Santiago: Ministerio de Salud, division jurídica.
- RFID point. (2015). *Blog: ¿Cuánto cuesta un TAG RFID?* Obtenido de RFID POINT: <http://www.rfidpoint.com/blog/%C2%BFcuanto-cuesta-un-tag-rfid/>
- Rider, T. H. (2003). A B Cell Based Sensor for Rapid Identification of Pathogens. *Science*, 301, 213-215.
- Rodríguez González, J. L., & López Heras, C. (2015). *Aprovisionamiento y almacenaje de alimentos y bebidas en el bar*. Madrid, España: Paraninfo. Obtenido de <https://books.google.cl/books?id=Tt3HCQAAQBAJ&pg=PA112&dq=glosario+alimentos+frescos+perecibles+y+semiperecibles&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjByOXnzqXLAhUDlpAKHVmIBAAQ6AEIGjAA#v=onepage&q=glosario%20alimentos%20frescos%20perecibles%20y%20semiperecibles&f=fa>

- Ruete Ibarrola, L., Arregui San Martín, F. J., Matías Maestro, I. R., Aldaz Donamaría, P., Socorro Leranoz, A., Virto Resano, R., & Saiz Abajo, M. (2013). *España Patente n° ES-2376559_B1*.
- Salas-Salvadó, J. (2008). *Nutrición y dietética clínica*. Barcelona, España: Elsevier.
- SEREMI de Agricultura. (Octubre de 2014). Conceptos básicos de inocuidad alimentaria. (R. A. OLIVARES, Ed.) Valparaiso, Chile.
- Tecnología de los plásticos. (Enero de 2015). *Poliéter éter cetona (PEEK)*. Obtenido de Tecnología de los plásticos, Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/polieter-eter-cetona-peek.html>
- Thomas, M., Pérez, E., Majowicz, S., Reid-Smith, R., Olea, A., & Díaz, J. (2011). Burden of acute gastrointestinal illness in the Metropolitan Region, Chile 2008. *Epidemiol Infect*, 139(4), 560-71.
- Ulloa, J. A. (2007). *Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos*. Nayarit, Mexico: Universidad Autónoma de Nayarit.
- Universidad de Chile. (Enero de 2015). Obtenido de <http://www.uchile.cl/portal/investigacion/programas-de-investigacion-domeyko/linea-alimentos/presentacion/50729/contexto>
- Universidad de Concepción. (2015). Obtenido de Glosario UdeC: <http://www2.udec.cl/~digentox/glosario/agentxenobiotico.html>
- Universidad de los Andes de Venezuela. (Enero de 2015). *Web del profesor: causa del deterioro de los alimentos*. Recuperado el Enero de 2015, de RedULA: <http://webdelprofesor.ula.ve/farmacia/ablan/materias/Ciencia%20de%20alimentos/CAUSAS.pdf>
- Universidad de Navarra. (2008-2009). *Microbiología de los alimentos: Principios básicos de deterioro microbiológico de los alimentos*. Notas de Microbiología de los Alimentos, Curso Ing. Agrónomo, Department of Agrarian Production, Pamplona, España. Obtenido

de <http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiologia%20general/15-deterioro%20de%20alimentos.htm>

Universidad Nacional de Ingeniería Norte. (2010). *Curso Microbiología de los alimentos: Un enfoque práctico para la inocuidad Alimentaria*. Universidad Nacional de Ingeniería Norte, Estelí.

Universidad Nacional del Santa, Perú. (Enero de 2008). *Vida útil (Shelf Life) de los alimentos*. Obtenido de Universidad Nacional del Santa: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/aula_2_iii_unidad.pdf

Universidad politécnica de Valencia. (2009). *Idean una etiqueta inteligente para conocer el grado de frescura de los productos cárnicos envasados*. Obtenido de http://www.upv.es/entidades/CTT/noticia_709049c.html

Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology* 39, 47- 62.

Velasco-García, M., & Mottram, T. (2003). Biosensor technology addressing agricultural problems. Review paper. . *Biosystems Engineering*, 84(1), 1-12.

Venugopal, V. (2002). Biosensors in fish production and quality control. *Biosensors & Bioelectronics*, 147–157.

WHO. (2007). *Consultation to develop a strategy to estimate the global burden of foodborne diseases*. World Health Organization (WHO), Geneva. Obtenido de http://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne_disease/burden_sept06/en/index.html

Zhang, C., Yin, A.-X., Jiang, R., Rong, J., Dong, L., Zhao, T., & Sun, L.-D. (2013). *ACS Nano*.

Zudaire, M. (2014). Objetivo: reducir los desperdicios de comida. España. Obtenido de <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/tendencias/2014/01/06/218942.php>

11. GLOSARIO

A

Aerobio: microorganismo que crece en presencia de oxígeno atmosférico (FDA, 2012).

Ácido nucleico: en biosensores este tipo de elementos de reconocimiento puede utilizarse en la detección de organismos modificados genéticamente y microorganismos patógenos (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Actividad de agua (a_w): representa las moléculas de agua disponibles en un alimento o solución, su valor es una relación entre la presión de vapor de agua del alimento y la del agua a la misma temperatura. El agua pura tiene una actividad de agua de 1.00, la adición de soluto disminuye este valor (FDA, 2012).

Alergia: respuesta inmune inmediata a una sustancia (alérgeno) (FDA, 2012)

Alimento alterado: es aquel que por causas naturales de índole física, química o biológica, o por causas derivadas de tratamientos tecnológicos, aisladas o combinadas, ha sufrido modificación o deterioro en sus características organolépticas, en composición y/o su valor nutritivo (RSA, 2013).

Alimento fresco: aquel tipo de alimento que no ha sido sometido a ningún tipo de tratamiento tecnológico para su prevención (Rodríguez González & López Heras, 2015).

Alimento perecible: son aquellos alimentos que tienen una durabilidad de hasta 7 días bajo condiciones específicas de envasado y almacenamiento. Para aumentarla deben mantenerse en refrigeración o congelación (Rodríguez González & López Heras, 2015).

Alimentos semiperecibles: alimentos que generalmente han sufrido algún proceso de preservación, son más estables que los perecederos con una durabilidad de 30 a 90 días (Rodríguez González & López Heras, 2015).

Alimento o producto alimenticio: es cualquier sustancia o mezclas de sustancias destinadas al consumo humano, incluyendo las bebidas y todos los ingredientes y aditivos de dichas sustancias (RSA, 2013).

Anaerobio: organismo que crece en ausencia de oxígeno libre (FDA, 2012).

Anaerobio facultativo: microorganismo capaz de respiración aeróbica en presencia de oxígeno o fermentación en su ausencia (FDA, 2012).

Anticuerpo: glicoproteínas (inmunoglobulinas). Sustancias desarrolladas por el cuerpo en respuesta a un antígeno. Ambos se unen de forma selectiva (interacción específica) como parte de una respuesta inmune del cuerpo (FDA, 2012). En el caso de un biosensor, cuando el analito de interés es un antígeno particular se requiere producir, aislar y en ocasiones purificar el anticuerpo específico. La especificidad y afinidad de la interacción antígeno-anticuerpo determinan la selectividad y la sensibilidad del biosensor, así como la posibilidad de regeneración. En la práctica para alcanzar una sensibilidad adecuada se necesita que el complejo tenga una afinidad alta, siendo difícil su disociación, por lo que suelen ser sistemas de un solo uso (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Antígeno: sustancia extraña al organismo que estimula la formación de anticuerpos que reaccionan específicamente con esa sustancia (FDA, 2012)

Aptámero: secuencias de oligonucleótidos (ADN o ARN) sintetizadas artificialmente, que son capaces de reconocer a sus moléculas complementarias con alta afinidad y especificidad. Estos elementos de reconocimiento se pliegan en el espacio y adquieren una conformación con determinadas regiones donde puede unirse el analito (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Ascitis: Es la acumulación de líquido en el espacio que existe entre el revestimiento del abdomen y los órganos abdominales. (MedlinePlus, 2015)

B

Bacteria: microorganismo unicelular. Algunas ayudan al ser humano y al medio ambiente y otras pueden causar enfermedades cuando entran al cuerpo humano tras generar toxinas o por ingresar y desarrollar una fuerte reacción del sistema inmune al tratar de destruirlas (FDA, 2012).

C

Calidad de los alimentos: Son todos los atributos que influyen en el valor de un producto para un consumidor, engloba características del alimento (inocuidad, nutricional), calidad del uso o servicio (facilidad de empleo, conservación) y la calidad psicosocial o subjetiva (satisfacción). (22ª Conferencia Regional de la FAO para Europa, Oporto, 2000)

Célula completa: para reconocimiento de analitos en algunos casos se utilizan células completas de origen bacteriano, fúngico, animal, vegetal o células modificadas genéticamente, debido a que todas éstas presentan muchos de los sistemas multienzimáticos que se requieren para catalizar las reacciones biológicas para la detección del elemento de interés (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Célula Gram negativa: célula que al ser teñida por tinción de Gram adquiere una coloración rosada. Las bacterias de este tipo se caracterizan por tener una pared celular compuesta por una delgada capa de peptidoglican, un espacio periplásmico, y una membrana externa de lipopolisacárido (FDA, 2012).

Célula Gram positiva: célula que al ser teñida por tinción de Gram adquiere una coloración morada. Las bacterias de este tipo se caracterizan por tener una pared celular compuesta por una capa gruesa de peptidoglican con ácido teicoico (FDA, 2012).

Colangitis: Es una infección del conducto colédoco, el conducto que transporta la bilis desde el hígado hasta la vesícula biliar y los intestinos (MedlinePlus, 2015).

Colecistitis: Es una hinchazón e irritación repentina de la vesícula biliar que causa dolor abdominal intenso (MedlinePlus, 2015).

Compuesto Xenobiótico: compuesto externo a un organismo vivo que interacciona con él, generalmente a través de alteraciones metabólicas. (Universidad de Concepción, 2015).

Contaminación: la presencia de microorganismos, virus y/o parásitos, sustancias extrañas o deletéreas de origen mineral, orgánico o biológico, sustancias radioactivas y/o sustancias tóxicas en cantidades superiores a las permitidas por las normas vigentes, o que se presuman nocivas para la salud (RSA, 2013).

Criterio microbiológico: el valor o la gama de valores microbiológicos, establecidos mediante el empleo de procedimientos definidos, para determinar la aceptación o rechazo del alimento muestreado (RSA, 2013).

D

Desperdicio de alimentos: se refiere a la pérdida de alimentos como consecuencia del descarte de alimentos que aún conservan su valor. El desperdicio de alimentos se suele relacionar con el comportamiento del comercio minorista, el sector de los servicios alimentarios y los

consumidores, pero la pérdida y el desperdicio de alimentos se producen en todas las fases de la cadena de abastecimiento de alimentos (FAO, 2011).

E

Envase: cualquier recipiente que contenga alimentos, que los cubra total o parcialmente (RSA, 2013).

Enzimas: catalizadores de todas las reacciones bioquímicas. Presentan una gran especificidad debido a que poseen una región denominada sitio activo donde se produce la unión con el sustrato específico, y es catalizada la reacción. Una vez finalizada la reacción y habiéndose formado los productos, la enzima se regenera para catalizar una nueva reacción. Debido a que la estabilidad y vida media de las enzimas depende de varios factores (pH, temperatura, otros), muchas veces se aplican técnicas de inmovilización para aumentar el tiempo de la vida útil de los biosensores enzimáticos (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Especies patógenos: especies de microorganismos que pueden causar enfermedad (FDA, 2012).

Espacio de cabeza: espacio que se genera entre el alimento y la cubierta superior del envase (Frazier & Westhoff, 1993).

Endotoxina: lipopolisacárido estable al calor, se encuentra en la membrana externa de una bacteria Gram negativa, y es liberada al haber lisis bacteriana o a veces durante el crecimiento. Es toxica y potencialmente fatal para el huésped (FDA, 2012).

Envase Inteligente: envase o embalaje capaz de monitorizar y comunicar información útil sobre lo que le ocurre al producto durante toda la cadena de suministro (ITENE, Nuria Herranz, 2010).

F

Fecha o plazo de duración mínimo: Aquella fecha o aquel plazo en que expira el período en que el fabricante garantiza que el producto, conservado bajo determinadas condiciones de almacenamiento, si las hubiera, mantiene todas las cualidades significativas que se le atribuyen, tácita o explícitamente, sin que esto signifique que el producto no puede ser comercializado más allá de esta fecha o plazo. El uso de fecha o plazo de duración mínimo es optativo (RSA, 2013).

Fecha de elaboración: Aquélla en que el alimento se convierte en el producto descrito en el envase (RSA, 2013).

Fecha de envasado: Aquélla en la que el alimento se coloca en el envase en que se venderá finalmente (RSA, 2013).

Fecha de vencimiento o plazo de duración: Aquella fecha o aquel plazo en que el fabricante establece que, bajo determinadas condiciones de almacenamiento termina el período durante el cual el producto conserva los atributos de calidad esperados. Después de esa fecha o cumplido este plazo el producto no puede ser comercializado (RSA, 2013).

Flagelo: estructura filiforme, delgada y larga de algunas células procariotas o eucariotas que les provee motilidad (FDA, 2012).

G

H

I

Ictericia: La ictericia hace que la piel y las partes blancas de los ojos se pongan amarillas (MedlinePlus, 2015).

Intoxicación alimentaria: se le denomina a las enfermedades alimentarias causadas por la presencia de una toxina que se ha originado en el alimento y puede deberse a contaminación con ciertas bacterias patógenas, con productos químicos tóxicos, alergia a ciertas proteínas, o contaminación química (Frazier & Westhoff, 1993).

Infeción alimentaria: se le denomina a las enfermedades alimentarias causadas por la ingestión de alimentos contaminados con microorganismos patógenos vivos (FDA, 2012).

J

K

L

Lipopolisacárido: polisacárido ubicado en la pared celular de bacterias Gram negativas. Está compuesto por tres componentes: Lípido A (endotoxina), núcleo, antígeno O (FDA, 2012).

M

Materia prima alimentaria: es toda sustancia que para ser utilizada como alimento, precisa de algún tratamiento o transformación de naturaleza química, física o biológica (RSA, 2013).

Manipulación de alimentos: todas las operaciones del cultivo y recolección, producción, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y venta de los alimentos (RSA, 2013).

Mesófilo: microorganismo cuya temperatura óptima de crecimiento está entre 20°C – 40°C (FDA, 2012).

N

Nutriente: Cualquier sustancia normalmente consumida como un constituyente de un alimento, y que es necesaria para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento normal del organismo o cuya deficiencia hace que se produzcan cambios bioquímicos o fisiológicos característicos (RSA, 2013)

O

Organelos celulares: estructuras con forma determinada encontradas en el citoplasma celular, en biosensores pueden ser utilizados como mitocondrias y cloroplastos, los cuales pueden resultar adecuados para la detección de agentes tóxicos como plaguicidas o metales pesados ya que estos inhiben la funcionalidad de dichas organelos (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

P

Patogenicidad: habilidad de un microorganismo para producir cambios patológicos y enfermedad en su huésped (FDA, 2012).

Pérdida de alimentos: se refiere a la disminución de la masa alimentaria comestible disponible para consumo humano en las distintas fases de la cadena de abastecimiento. Además de pérdidas cuantitativas, los productos alimenticios también pueden sufrir un deterioro de su calidad, lo que conlleva una pérdida de su valor económico y nutricional (FAO, 2011).

PEEK: El poliéter éter cetona es un polímero orgánico termoplástico incoloro utilizado en aplicaciones de ingeniería, que ofrece una combinación de altas propiedades mecánicas, resistencia a la temperatura y excelente resistencia química, por lo que es un material adecuado para aplicaciones que requieren altas prestaciones mecánicas bajo condiciones extremas de temperatura, agresividad química o alta energía radiante. Consecuentemente es empleado en todas las industrias en general, y más aún en los sectores de alta tecnología como los de la industria aeroespacial, nuclear, química, eléctrica y alimenticia (Tecnología de los plásticos, 2015).

PET: El Polietileno Tereftalato Poliéster Termoplástico, tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino. En general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia, resistencia química; esta resina es aceptada por la Food and Drug Administration (FDA). En el mercado se encuentra la participación del PET en envases de: Bebidas Carbonatadas, Agua Purificada, Aceite, Conservas, Cosméticos, Detergentes y Productos Químicos, Productos Farmacéuticos (QuimiNet, 2015).

PIM's: matrices sintetizadas artificialmente que presentan la capacidad de reconocer e interactuar de forma específica con determinados compuestos. Estos elementos fueron utilizados en el diseño de biosensores para detección de plaguicidas, fármacos o toxinas marinas (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Plagas: insectos, roedores, pájaros y otras especies menores capaces de contaminar directa o indirectamente los alimentos (RSA, 2013)

PNA's: Ácidos Nucleicos Peptídicos, moléculas sintéticas que copian al ADN – ARN. Están formados por un esqueleto de monómeros unidos por enlaces peptídicos con bases nitrogenadas púricas y pirimidínicas, a diferencia de los ácidos nucleicos no presentan pentosas ni grupos fosfatos en su estructura. Este elemento de reconocimiento se utiliza en la detección de microorganismos patógenos junto a transductores ópticos de tipo SPR (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Psicrófilo: bacteria con temperatura optima de crecimiento fría, usualmente entre 0°C y 10°C (FDA, 2012).

Q

R

S

Seguridad de los alimentos: La seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana. (La Cumbre Mundial sobre la Alimentación (1996). FAO.)

Septicemia: multiplicación de la bacteria en la sangre, y potencialmente llevar el cuerpo a sepsis (inflamación generalizada del cuerpo) (FDA, 2012).

T

Tejido: estructura constituida por un conjunto de células organizadas. En determinados casos se eligen tejidos vegetales como hojas, raíces, semillas o frutos como elemento de reconocimiento porque todos éstos presentan enzimas específicas relacionadas con su función fisiológica. La ventaja de utilizarlos es que se evitan los costosos procesos de extracción y purificación de enzimas (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Termófilo: bacteria con temperatura optima de crecimiento alta, usualmente entre 40°C y 70°C (FDA, 2012).

Toxicidad: habilidad inherente de una sustancia para producir daño o muerte (Repetto, 1997).

Transductor electroquímico: transductor de un biosensor, transforman la señal que se produce por la interacción entre el sistema de reconocimiento y el analito a detectar en una señal eléctrica. Proporcionan información analítica cuantitativa o semicuantitativa específica. El elemento de reconocimiento biológico y el elemento de transducción deben estar en contacto. Se diferencian cuatro tipos de biosensores electroquímicos que son conductimétricos, potenciométricos,

amperométricos e impedimétricos en función de si detectan cambios en la conductividad, en el potencial, en una corriente generada o en la impedancia. En general se utilizan junto con elementos de reconocimiento biocatalíticos ya que las reacciones enzimáticas generan aparición de sustancias electroactivas, cambios en el pH o en el potencial, etc. (RSA, 2013)

Transductor nanomecánico: Transductor de biosensor, el elemento de reconocimiento biológico se inmoviliza sobre la superficie de una micropalanca de silicio, que se sumerge en una muestra líquida. La interacción entre el elemento de reconocimiento y el analito produce un cambio diferencial en la tensión superficial del líquido y la micropalanca sufre una respuesta de tipo nanomecánico que consiste en un cambio de la deflexión y/o de la frecuencia de resonancia. Actualmente estos dispositivos se están desarrollando para detectar mutaciones y polimorfismos en genes humanos así como para la detección de contaminantes en aguas con alta sensibilidad (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Transductor óptico: se basan en la medición de las variaciones que se producen en las propiedades de la luz como consecuencia de la interacción física o química entre el analito a detectar y el elemento biológico de reconocimiento del biosensor. Las bases físicas de este tipo de sensores son los cambios que ocurren en absorción, fluorescencia, luminiscencia, dispersión o índice de refracción, cuando la luz se refleja en las superficies de reconocimiento. El sistema básico de medida consiste en una fuente de luz, el elemento sensor (donde se encontrarían las moléculas receptoras) y el detector. Este tipo de transductores pueden acoplarse a elementos de reconocimiento biocatalíticos o de bioafinidad (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Transductor piezoeléctrico: también másicos, gravimétricos o acústicos miden cambios directos de masa inducidos por la formación del complejo antígeno-anticuerpo (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

Transductor termométrico: se basan en la detección del calor generado en las reacciones enzimáticas exotérmicas, que se puede relacionar con la concentración de analito. Estos cambios de temperatura normalmente se determinan por medio de termistores a la entrada y a la salida del dispositivo en el que se encuentran inmovilizadas las enzimas. Presentan como inconveniente que pueden existir pérdidas de calor por irradiación, conducción o convección (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005).

U

V

Vida útil de un alimento: período de tiempo durante el cual el alimento se encuentra en condiciones aceptables de consumo, tanto desde el punto de vista organoléptico como de la salud, es decir el tiempo que transcurre entre la producción/envasado del producto y el punto en el cual se vuelve inaceptable bajo determinadas condiciones ambientales (Universidad Nacional del Santa, Perú, 2008).

Virulencia: se refiere a la habilidad relativa de un microorganismo de producir una enfermedad (FDA, 2012).

Y

Z

12. ANEXO

12.1. Apéndice A: Capítulo 1: Seguridad Alimentaria

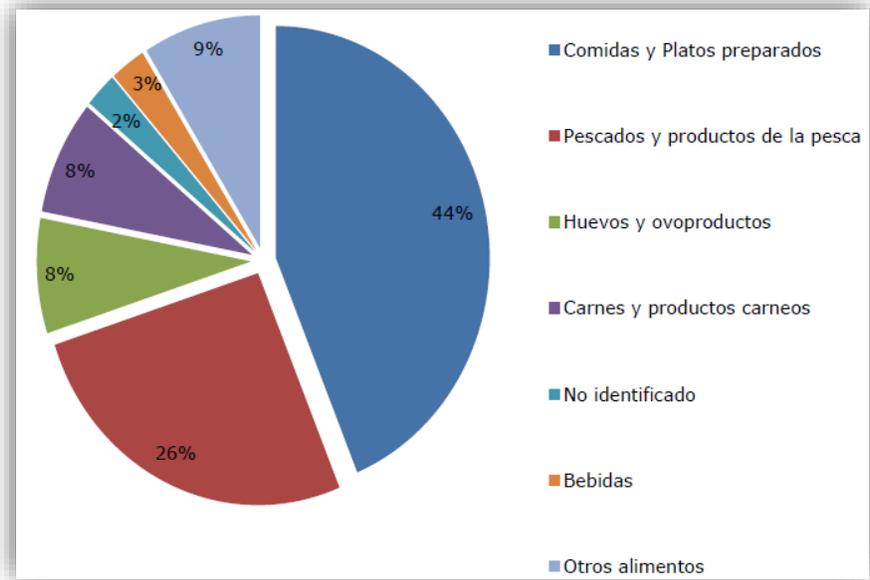


Figura 14: Alimentos involucrados en brotes de ETA's notificados. Chile, año 2014 (*Ministerio de salud, Gobierno de Chile, 2014*)

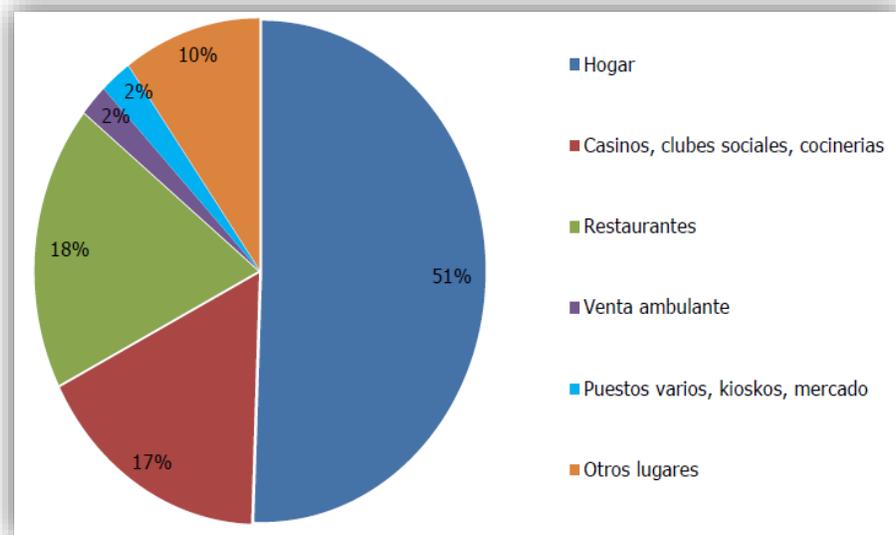


Figura 15: Lugar de consumo en brotes de ETA's notificados. Chile, año 2014. (*Ministerio de salud, Gobierno de Chile, 2014*)

12.2. Apéndice B: Capítulo 2: Pérdida y Desperdicios de Alimentos (PDA)

Líneas de trabajo de AINIA de innovación en prevención de PDA:

1. Lograr una mayor vida útil del alimento a través del desarrollo de nuevas formulaciones y aditivos alimentarios; nuevas técnicas de conservación de alimentos; nuevos materiales de envase como los recubrimientos comestibles en frutas; los materiales barrera (por ejemplo, los absorbentes de oxígeno y etileno); envases activos (por ejemplo, utilizar antioxidantes o aceite esencial de orégano como antimicrobiano) y el desarrollo de nuevos modelos predictivos para la estimación de vida útil mediante estudios acelerados.

2. Innovar en el diseño de envases que tengan en cuenta elementos como la porcionabilidad, mejores sellados o recerrables; envases que permitan la extracción completa del producto; aquellos dirigidos a una mayor resistencia al transporte y a daños mecánicos o los envases y etiquetas inteligentes (con indicadores de descongelación, grado de humedad, de madurez, de

tiempo o de temperatura). Considerando, además el eco-diseño que permiten a través de herramientas predictivas predecir el comportamiento de los envases para evitar roturas, abollamientos o colapsos.

3. Producción a través de la utilización de nuevas tecnologías limpias en procesos y actividades auxiliares que reduzcan la generación de mermas. Innovaciones como el diseño higiénico de equipos e instalaciones para reducir las pérdidas de alimentos durante la producción; la gestión y sincronización de sistemas o procesos y materiales para la prevención y evaluación de pérdidas de alimentos en procesos de fabricación.

4. Control de calidad mediante la implantación de sistemas de inspección avanzada para la identificación de defectos y fallos en el envasado y en el producto para poder corregirlo rápidamente, y evitar así las mermas y el re envasado de producto que no cumple con los requisitos de calidad y seguridad alimentaria.

5. Logística y transporte, con una mayor colaboración e integración de procesos demanda/provisión entre organizaciones para disminuir la pérdida de alimentos mediante una mejor sincronización de envío/recepción de mercancías, integración de stocks o el aseguramiento de niveles de servicio.

6. Lograr una cadena de valor eco-eficiente, gracias a la introducción de sistemas digitales para cadenas de valor colaborativas orientadas a la eficiencia global y minimización de consumo de recursos.

7. Soluciones a medida. Realizando auditorías sobre pérdidas y desperdicio de alimentos, evaluación de la huella ambiental de empresas y productos, análisis de aspectos legislativos para evitar el desperdicio y revisión de requisitos normativos que inciden sobre el potencial despilfarro de alimentos. Asimismo, realizar informes sectoriales y cursos de formación on-line sobre desperdicio de alimentos para todos los agentes que forman parte de la cadena alimentaria.

AINIA da hincapié en que para la reducción de PDA a través de la innovación, actualmente ya se dispone de soluciones innovadoras suficientemente validadas para ser aplicadas como herramienta para evitar y disminuir de forma considerable el desperdicio de alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria, esto es a través de tres ámbitos de innovación aplicada: en **prevención** (por ejemplo con el diseño adecuado en envases, con tecnologías que alarguen la vida útil del producto, mayores controles de calidad o mayor eficiencia en los controles), en lo **social** (por ejemplo con un cambio de modelo de consumo o el desarrollo de APPs de mayor información al consumidor) y en el **aprovechamiento de los desperdicios como producto, ingrediente o valorización energética** (por ejemplo, utilizar los residuos alimentarios para generar biogás agroindustrial)”

Tabla 20: Resumen cifras recopiladas de PDA global

<i>Región</i>	Peso PDA	US\$ PDA	% DA bueno	Peso DA consumo	Peso PA producción
<i>Europa</i>	89 mill ton		42% PDA se producen en los hogares 39% en el procesado 14% en la restauración y 5% en la distribución	95 a 115 kilogramos por persona por año 42% DA en hogares	
<i>Alemania</i>	10,3				
<i>Holanda</i>	9,4				
<i>Francia</i>	9				
<i>Polonia</i>	8,9				
<i>Italia</i>	8,8				
<i>España</i>	7,7		45% se hubiera consumido con mejor gestión, 30% alimento envasado sin abrir, 50% son frutas y verduras y alimentos preparados.		
<i>América del Norte</i>				95 a 115 kilogramos por persona por año 42% DA en hogares	Pierde el 42% de lo que produce
<i>USA</i>	40 mill ton				
<i>Oceanía</i>					Pierde el 42% de lo que produce

<i>Asia</i>	67% del alimento mundial			6 a 11 kilogramos por persona por año	
<i>Japón</i>	18 mill ton				40% alimento producido
<i>África</i>	67% del alimento mundial			6 a 11 kilogramos por persona por año	
<i>América latina y el Caribe</i>	6% alimento mundial		DPA en la cadena : 28% consumidor 28% producción 17% distribución 22% manejo y almacenamiento 6% procesamiento.	220 kg DPA /año/persona. Perdidas en productos: 30% cereales 20% productos lácteos 30% pescados y productos marinos 45% frutas y hortalizas 20% carne de vacuno 20% legumbres y oleaginosas 45% raíces y tubérculos	DPA 15% de lo que produce Principales pérdidas: Frutas y hortalizas (72%), Cereales (23%)
<i>Total</i>	1300 mill ton	750 mil mill	30-50% del alimento producido no llega al consumidor	222 millones ton	230 millones ton

12.3. Apéndice C: Capítulo 3: Tecnología de envasado inteligente en alimentos

CheckPack es un proyecto de investigación básica fundado por IWT, una agencia del gobierno Flamenco para Innovación por Ciencia y Tecnología. Su objetivo es el desarrollo de un sensor óptico que pueda ser integrado en el envasado de alimentos para detectar el deterioro de productos alimenticios (a través de concentraciones de compuestos volátiles) y chequear la integridad de su envasado (a través de concentraciones de CO₂ y O₂). Enfocado principalmente en las industrias de carnes y pescados (**Figura 16**) (CheckPack, 2015).

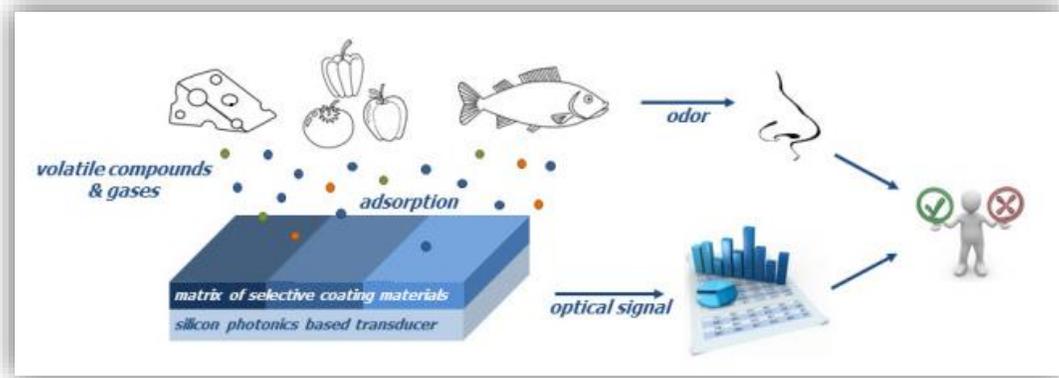


Figura 16: CheckPack. Proyecto de producto de sistema olfativo con señal óptica integrada para detección de deterioro en productos alimenticios (Fuente: CheckPack)

Tabla 21: Resumen de Envases inteligentes en el mercado (ITENE)

	Tipo	Marca TTi
Sistemas físicos	Avance de color a través de una tira porosa	<ul style="list-style-type: none"> • Monitor mark (3M) • Warm mark TM • TempDot • TimeStrip [®]
	Difusión	<ul style="list-style-type: none"> • It's fresh [®] • TTSensor [®]
Sistemas químicos		<ul style="list-style-type: none"> • FreshCheck [®] (TEMPTIME) • Onvu TM • Coolvu • Freshvu
Sistemas biológicos		<ul style="list-style-type: none"> • CheckPoint[®] (Vitsab) • eO[®] (Cryolog) • Traceo[®] (Cryolog)
Electrónicas		<ul style="list-style-type: none"> • FreshTime (Infratab) • ID-tag (Cryolog) • Packsense
		Marca Ti
Indicadores de congelación		<ul style="list-style-type: none"> • Freeze Watch • Freeze tag • DompTemp Freeze indicator • Freeze Check indicator • ColdMark

Indicadores de altas temperaturas		<ul style="list-style-type: none"> • CryoGuard • FredTemp • Telatemp Temperatura recorder Labels
Indicadores termocrómicos	<ul style="list-style-type: none"> • Cristales líquidos termocrómicos • Tintes Leuco 	
Indicadores de frescura		<ul style="list-style-type: none"> • FreshQ • Fresh tag • Litmus • It's Fresh • Sensor Q • Ripe sense®
Indicadores de humedad		<ul style="list-style-type: none"> • Cloruro de cobalto (azul a rosa) • Cloruro de cobre (amarillo a verde)

12.4. Apéndice D: Capítulo 5: Aplicación biotecnológica en envasado inteligente

Características de los biosensores:

En las múltiples aplicaciones de los biosensores dentro de la industria agroalimentaria se requiere que estos dispositivos cuenten con las siguientes características:

- Alta **sensibilidad** para el análisis de ciertos analitos -como por ejemplo, muchos compuestos xenobióticos- con efectos tóxicos sobre la salud humana y animal incluso a concentraciones de partes por billón (mg/l). Existen unidades capaces de detectar cantidades inferiores a los límites exigidos por la ley en el caso de residuos de plaguicidas.
- Alta **selectividad** para que el dispositivo interaccione exclusivamente con el compuesto de interés y no con otros de propiedades similares. Se consigue mediante elementos de reconocimiento muy específicos. A pesar de ello, se conocen algunas excepciones de biosensores que sufren interferencias con sustancias de la misma familia que el analito o bien con componentes del alimento.
- Alta **fiabilidad**. Los sistemas de transducción se diseñan de manera que no puedan ser alterados (o lo sean mínimamente) por la muestra y no tengan problemas de ruidos.

- **Tiempo de vida largo** que no obligue al empleo del dispositivo tras un corto período desde su fabricación ni a sustituciones frecuentes del mismo si está integrado en la línea de producción de una industria. La estabilidad química, física y mecánica del elemento de reconocimiento condiciona su duración. Los componentes biológicos por su propia naturaleza cuentan con una vida media limitada pero las nuevas alternativas basadas en moléculas biomiméticas no presentan este inconveniente.
- **Bajo coste de producción.** En general, estos sistemas pueden fabricarse a escala industrial, lo cual redundaría en un más que considerable abaratamiento de los costes de producción. A pesar de ello, la disponibilidad limitada de algunas enzimas y la existencia de fases críticas en su construcción (procesos de inmovilización) dificultan, en algunos casos, la fabricación de biosensores en masa.
- **Tiempo de análisis corto** que posibilite una actuación rápida, por ejemplo, la retirada de materias primas o productos contaminados o deteriorados antes de su uso o venta o la intervención para corregir algún parámetro en un proceso industrial. Muchos biosensores consumen pocos minutos en cuantificar el compuesto de interés y no precisan un período de espera largo hasta el siguiente análisis.
- **Pretratamiento de la muestra innecesario** lo que supone un ahorro de tiempo, materiales y reactivos. Aunque en la mayoría de las ocasiones esto es así, en ciertas determinaciones son imprescindibles las etapas de concentración y purificación. Éstas permiten eliminar interferencias y asegurar la presencia de una cantidad suficiente del analito en el pequeño volumen utilizado (detección de microorganismos patógenos).
- **Manejo sencillo.** Esta tecnología no requiere personal cualificado.
- **Capaces de realizar análisis en tiempo real.** Esta característica es especialmente interesante en el control de procesos, ya que permite controlar los parámetros deseados de forma inmediata y automática.
- **Portátiles** para que sea posible realizar análisis *in situ*.
- **Automatizables.** Prescindir del control manual de estas unidades facilita su integración dentro de los sistemas que monitorizan los procesos industriales.
- **Miniaturizables.** Gracias a los desarrollos en microelectrónica y nanotecnología se han logrado reducir las dimensiones de estos dispositivos. Así pueden ensamblarse varios de ellos en un mismo sistema que realiza varias tareas a la vez y son aplicables a ensayos

donde el tamaño físico del dispositivo, el volumen de la muestra o la localización de la medida son factores limitantes.

- **Pocos requerimientos operativos y de almacenamiento** que faciliten su empleo y no supongan un coste adicional. Los biosensores que incorporan moléculas biomiméticas suelen presentar estas características. En el resto de dispositivos, los componentes biológicos pueden necesitar condiciones controladas (pH, temperatura) para su uso y conservación debido a su baja estabilidad.
- Con capacidad **multi-análisis**. Ciertos biosensores llevan a cabo la determinación de diferentes analitos de forma simultánea.

ENZIMAS	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Elevada sensibilidad. - Respuesta rápida. - Autorregenerables. - Permiten monitorización continua. - No requieren pasos de lavado. - Gran variedad de enzimas disponibles. - Permiten detectar tóxicos desconocidos que inhiben enzimas. - Permiten amplificar señales. - Diseño sencillo. - Fácil construcción. - Bajo coste. - Manejo sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad frente a condiciones ambientales (pH, temperatura o fuerza iónica). - En ocasiones requieren presencia de cofactores. - Pueden ser inhibidos por sustancias de la muestra. - Tiempo de vida limitado.
ANTICUERPOS	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Elevadas sensibilidad y especificidad. - Estabilidad química. - Afinidad variable. - Respuesta rápida. - Bajo coste. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil regeneración. - Requieren contacto directo con la muestra. - En ocasiones requieren marcaje. - No amplifican la señal. - No existe consumo del analito por lo que se saturan (rango de operación de concentración estrecho). - No permiten detectar sustancias desconocidas.

Figura 17: Ventajas e inconvenientes de enzimas y anticuerpos como elementos de reconocimiento en biosensores (González Rumayor, García Iglesias, Ruiz Galán, & Gago Cabezas, 2005)

Centros de investigación:

Flex-Alert, es una empresa de investigación y desarrollo con sede en Ottawa y Vancouver, Canadá, con operaciones en La Haya, los Países Bajos y el este de África. Su misión es el desarrollo de biosensores de bajo costo para el envasado de alimentos inteligentes, para la detección de patógenos en cereales, frutas perecedoras, y la producción de vino. La tecnología del sensor se basa en la deposición de antitoxinas en películas de plástico con una conexión a una red inalámbrica. Las aplicaciones incluyen la detección de patógenos cancerígenos, como las aflatoxinas B1 y la ocratoxina A, que se encuentra en los maní, café, chocolate, mantequilla de maní, aceitunas, la vainilla o el maíz. La tecnología de la compañía incluye autenticación de Radio Frecuencia ID (RFID) y tecnologías de protección de marca, así como Near Field Communication (NFC) permite la monitorización, seguimiento y ventas on-line a través del uso de las redes móviles y teléfonos inteligentes. La compañía ofrece también el asesoramiento imparcial de las organizaciones sin fines de lucro sobre la evolución y las oportunidades de la tecnología.

Productos:

- Technology originally developed for visual Salmonella inspection to be extended for other pathogens
- RFID tag electronic extensions
- RFID middleware software
- RFID tag readers

Biosensores: Flex Alert, con socios con sede en Vancouver, ha desarrollado una solución para la detección de toxinas en los alimentos envasados a lo largo de la cadena de suministro. Las etiquetas RFID flexibles se combinan con los envases para alertar visualmente a los distribuidores y consumidores de desarrollo de toxicidad.

La base de esta tecnología es la deposición de anti-toxinas en los materiales plásticos. Los biosensores están conectados a una red inalámbrica para la monitorización en tiempo real. La detección temprana les permite a los agricultores y fabricantes que tomen medidas preventivas.

Ya se encuentra patentado el biosensor para detectar contaminación con E. coli y Salmonella, sin embargo otros biosensores Alerta Flex están en desarrollo para la prueba de aflatoxinas (fuertemente asociadas con daños en el hígado y el cáncer) y otros patógenos (Listeria, Contaminación del corcho (TCA) Botrytis, moho polvoriento)

AINIA ha aportado en ENVIFOOD Meeting Point 12 líneas de trabajo en innovaciones para prevenir y valorizar los desperdicios, dentro de ellas 7 son líneas de trabajo de innovación en prevención, en donde se destacan para la aplicación de envasado inteligente:

- **Control de calidad mediante la implantación de sistemas de inspección avanzada** para la identificación de defectos y fallos en el envasado y en el producto para poder corregirlo rápidamente, y evitar así las mermas y el re envasado de producto que no cumple con los requisitos de calidad y seguridad alimentaria.
- **Innovar en el diseño de envases** que tengan en cuenta elementos como la porcionabilidad, mejores sellados; aquellos dirigidos a una mayor resistencia al transporte y a daños mecánicos o los envases y etiquetas inteligentes (con indicadores de descongelación, grado de humedad, de madurez, de tiempo o de temperatura). Considerando, además el eco-diseño que permiten a través de herramientas predictivas predecir el comportamiento de los envases para evitar roturas, abollamientos o colapsos.

Empresas que utilizan Envasado Inteligente

El proyecto Nafispack –financiado por 7º Programa Marco de la UE y en el que han participado 17 socios europeos- ha desarrollado además indicadores sobre la frescura de los productos, indicadores que pueden producirse a bajo costo, de forma que el precio de los mismos no sean un obstáculo para la implantación de los envases inteligentes.

Entre los resultados más esperanzadores del proyecto destaca la eficacia de los materiales activos e inteligentes y su fácil implementación industrial, sin que sea necesaria la modificación de la maquinaria industrial para su procesado o envasado.

Además se han llevado a cabo estudios toxicológicos y se ha observado que ninguno de los aditivos naturales probados está presente en la fracción que será absorbida por el intestino en concentraciones de relevancia toxicológica.

El proyecto Nafispack cuenta con la coordinación de ITENE y la colaboración de empresas y organismos de investigación como: CSIC, las universidades de Zaragoza y Milán y los centros y empresas Innventia AB, Nofima, SIK, VTT, ttz-Bremerhaven, Danisco AS, Metalvuoto SPA, Artibal SA, Envaflex SA, Lackskontor GMBH, Verdifresh SL, Tommen Gram Folier AS y Nutreco.