

**TRABAJO FIN DE MASTER  
INGENIERÍA AVANZADA EN PRODUCCIÓN,  
LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**PROPUESTA DE SISTEMA DE TRAZABILIDAD PARA  
UNA CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE EN EL  
SECTOR AGROALIMENTARIO**

AUTOR: LAURA GASPAR CELDA

DIRECTOR: FAUSTINO ALARCÓN VALERO

Curso académico 2016-2017

## **RESUMEN**

El objetivo del Trabajo Final de Máster con título: “Propuesta de Sistema de Trazabilidad para una Cadena de Suministro Sostenible en el sector agroalimentario” es definir las bases y proponer un sistema de trazabilidad para una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario, de forma que la información referente a la sostenibilidad de la cadena de suministro en cuestión pueda ser recopilada, almacenada y consultada para cada uno de los eslabones o etapas de la cadena.

Para ello, primero se procede a analizar en la literatura disponible, el concepto de sostenibilidad en la cadena de suministro y sus diferentes dimensiones. Con esto, se pretenden definir las características y propiedades específicas que una cadena de suministro, en general y en el sector agroalimentario en particular, debe cumplir para ser sostenible. Posteriormente se define, en base a la literatura, la trazabilidad de una cadena de suministro y se presentan las características de un sistema de trazabilidad, los últimos avances en sistemas de trazabilidad, así como, la normativa específica en trazabilidad en el sector de la alimentación.

Por último, se presentan los puntos a considerar en el diseño de un sistema de trazabilidad de la cadena de suministro sostenible en el sector de la alimentación, para finalmente definir una propuesta de sistema de trazabilidad para una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario.

## **RESUM**

L'objectiu del Treball Final de Màster amb títol: " *Propuesta de Sistema de Trazabilidad para una Cadena de Suministro Sostenible en el sector agroalimentario* " és definir les bases i proposar un sistema de traçabilitat per a una cadena de subministrament sostenible en el sector agroalimentari, de manera que la informació referent a la sostenibilitat de la cadena de subministrament en qüestió puga ser recopilada, emmagatzemada i consultada per a cada una de les etapes de la cadena.

Per a això, primer es procedeix a analitzar en la literatura disponible, el concepte de sostenibilitat en la cadena de subministrament i les seues diferents dimensions. Amb això, es pretenen definir les característiques i propietats específiques que una cadena de subministrament, en general i en el sector agroalimentari en particular, ha de complir per a ser sostenible. Posteriorment es defineix, d'acord amb la literatura, la traçabilitat d'una cadena de subministrament i es presenten les característiques d'un sistema de traçabilitat, els últims avanços en sistemes de traçabilitat, així com, la normativa específica en traçabilitat en el sector de l'alimentació.

Per últim, es presenten els punts a considerar en el disseny d'un sistema de traçabilitat de la cadena de subministrament sostenible en el sector de l'alimentació, per finalment definir una proposta de sistema de traçabilitat per a una cadena de subministrament sostenible en el sector agroalimentari.

## **ABSTRACT**

The aim of the Final Master's Thesis with title: "*Propuesta de Sistema de Trazabilidad para una Cadena de Suministro Sostenible en el sector agroalimentario*" is to define the bases and propose a traceability system for a sustainable supply chain in the agri-food sector, so that, information related to the sustainability of the supply chain can be collected, stored and consulted for each of the stages of the supply chain.

To do this, first the concept of sustainability in the supply chain and its different dimensions is analyzed in the available literature. With this, it is intended to define the specific characteristics and properties that a supply chain, in general and in the agri-food sector in particular, must comply to be sustainable. Subsequently, on the basis of the literature, the traceability of a supply chain is defined and the characteristics of a traceability system are presented, the latest advances in traceability systems, as well as the specific legislation on traceability in the food sector.

Finally, the points to be considered in the design of a traceability system for the sustainable supply chain in the food sector are presented and a proposal for a traceability system for a sustainable supply chain in the agri-food sector is defined.

## Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	- 6 -
<b>2. Objetivo</b> .....	- 7 -
<b>3. Sostenibilidad</b> .....	- 8 -
3.1 Definición de Sostenibilidad .....	- 8 -
3.2 ¿Qué es un Producto sostenible?.....	- 11 -
3.3 Sostenibilidad en la Cadena de Suministro .....	- 11 -
3.4 El papel de las dimensiones Social, Medioambiental y Económica en la Cadena de Suministro.....	- 13 -
3.5 Prácticas para la gestión de la cadena de suministro sostenible .....	- 17 -
3.6 Cadena de Suministro Sostenible en el sector Agroalimentario .....	- 18 -
3.7 Sostenibilidad en la agricultura y ganadería .....	- 22 -
3.8 Medición y Control de la Sostenibilidad en la Cadena de Suministro en el sector Agroalimentario .....	- 24 -
3.8.1 Ejemplo: comparación del nivel de Sostenibilidad entre dos Cadenas de Suministro..	- 30 -
<b>4. La Trazabilidad en la SC</b> .....	- 31 -
4.1 Definición de Trazabilidad .....	- 31 -
4.2 Trazabilidad en la CdS en el sector Agroalimentario.....	- 34 -
4.2.1 Definición de Trazabilidad en el sector Agroalimentario .....	- 36 -
4.2.2 Características y elementos de la Trazabilidad en el sector Agroalimentario .....	- 37 -
4.2.3 Tendencias Trazabilidad en el sector Agroalimentario .....	- 40 -
4.3 Tecnologías más recientes en Sistemas de Trazabilidad .....	- 43 -
4.4 Normativa referente a la Trazabilidad en Agroalimentación.....	- 48 -
4.4.1 Productos ecológicos .....	- 50 -
4.4.2 Responsabilidad Social Corporativa.....	- 53 -
<b>5. Propuesta de un Sistema de Trazabilidad en una Cadena de Suministro Sostenible en el sector Agroalimentario</b> .....	- 55 -
5.1 Trazabilidad de la Sostenibilidad en la CdS en el sector Agroalimentario .....	- 56 -
5.2 Normativa sobre Trazabilidad de la CdS sostenible .....	- 59 -
5.3 Dispositivos.....	- 60 -
5.4 Gestión de la Información.....	- 61 -
5.5 Datos e información para la trazabilidad de la sostenibilidad en la SC en el sector agroalimentario.....	- 62 -
<b>6. Conclusión</b> .....	- 69 -
<b>7. Bibliografía</b> .....	- 71 -

## 1. Introducción

Los últimos avances tecnológicos, así como, los avances en las tecnologías de la información y comunicación (TIC's), durante las últimas décadas, han llevado al aumento de la globalización en todos los aspectos relacionados con la actividad empresarial, entre otras cosas. La estrategia y la gestión de las cadenas de suministro se han visto directamente influenciadas por este hecho, de forma que las cadenas de suministro son cada vez más amplias y con más distancia física entre los distintos actores de la cadena, desde el punto de vista geográfico.

El movimiento hacia los mercados emergentes de crecimiento rápido y la reducción de costes, lleva a muchas empresas a transferir gran parte de sus procesos de valor añadido a proveedores en países con niveles de costes más bajos (Cheung et al., 2009; Reuter et al., 2010; Gold et al., 2013, Schaltegger & Burrit, 2014), mientras que las sedes y los mercados “home” establecidos de muchas empresas líderes se mantienen en países desarrollados (Schaltegger & Burrit, 2014).

Todo esto lleva a una mayor complejidad de las **cadenas de suministro** y con ello se hace indispensable el disponer de sistemas de trazabilidad robustos para su correcta gestión. En el sector de la alimentación, el hecho de disponer de un sistema de trazabilidad adecuado es de gran importancia, debido a la necesidad de mantener y garantizar la seguridad de los alimentos, puesto que afectan directamente a la salud humana. Además, la naturaleza de los productos, ya que, son perecederos y muchos de ellos requieren de ciertas condiciones especiales para su procesado, mantenimiento y transporte, presenta un alto grado de exigencia en cuanto a trazabilidad.

Por otro lado, muchas prácticas actuales necesarias para el procesado, transporte y comercialización de productos influyen directamente en problemas a nivel global y local de tipo medioambiental, como el incremento de la contaminación del medioambiente, la disminución de los recursos naturales y el cambio climático.

La actividad relacionada con el sector de la alimentación tiene un gran impacto medioambiental y social. En el sector de la alimentación, las prácticas de cultivo tradicionales basadas en la explotación de grandes extensiones de cultivo de forma intensiva, reducen de forma más rápida de lo normal la fertilidad de los terrenos. Además, la necesidad del uso de grandes cantidades de agua y energía para la producción de alimentos supone un gran impacto en el medio ambiente. La creciente población mundial hace que esto vaya en aumento para mantener a la población alimentada. Sin embargo, a pesar del incremento en la producción de alimentos sigue habiendo hambruna en el mundo y grandes diferencias sociales. La importancia de la alimentación en la salud humana y los factores descritos anteriormente llevan a la necesidad de desarrollar cadenas de suministro sostenibles.

Las empresas privadas han intentado responder ante los problemas medioambientales. Actualmente, el **desempeño económico** de un negocio es considerado, a menudo, conjuntamente con el **desempeño social y medioambiental** (Steg et al., 2001; Gerbens-Leenes & Moll, 2003). El rendimiento corporativo sostenible medioambiental (*Environmental*

*Sustainable Corporate Performance – SCP*), a través de la prevención de la contaminación y los residuos y el uso eficiente de recursos naturales escasos, es considerado como un tema importante para cada compañía. Para muchas empresas, esta nueva perspectiva es esencial para su licencia para operar y forma la base de los principios y prácticas del negocio. Esta perspectiva busca unir las demandas sociales para un comportamiento responsable de la empresa y encaja en una cultura moderna que pide responsabilidad y transparencia de las instituciones más poderosas. El aumento de la influencia de las empresas en la sociedad en todo el mundo debe ir acompañada de un aumento de su responsabilidad (SER, 2001; Gerbens-Leenes & Moll, 2003).

Hoy en día los consumidores adquieren y consumen alimentos o ingredientes alimenticios provenientes de países o continentes lejanos, con cadenas de suministro amplias y poco transparentes. La seguridad debe ser considerada en diversas cadenas de suministro.

Al mismo tiempo y en relación con los riesgos de **sostenibilidad en las cadenas de suministro**, la demanda de productos y servicios respetuosos con el medio ambiente y responsables socialmente, ha aumentado en muchos países en todo el mundo (Greffen & Rothenberg, 2000; Carter & Jennings, 2004; Guoyou et al., 2013; Schaltegger & Burrit, 2014). Además, los riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad han dado lugar a innovaciones orientadas hacia la sostenibilidad en un número creciente de industrias y mercados y se han convertido en un impulsor competitivo entre compañías (Porter & van der Linde, 1995; Hansen et al., 2009; Harms et al., 2013; Schaltegger & Wagner, 20119; Schaltegger & Burrit, 2014).

Con todo esto, se plantea incluir la sostenibilidad en la **trazabilidad** de la cadena de suministro del alimento, de forma que dentro del mercado de productos, sea posible diferenciar entre aquellos cuya cadena de suministro sea o no sostenible, dándole un valor añadido al producto en cuestión y creando así, un mayor conocimiento y consciencia entre consumidores y productores/distribuidores/comerciantes de la importancia de la sostenibilidad asociada a las cadenas de suministro.

## 2. Objetivo

El objetivo del presente Trabajo Final de Máster es definir las bases de un sistema de trazabilidad de una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario, de forma que la información referente a la sostenibilidad de la cadena de suministro pueda ser recopilada, almacenada y consultada para cada uno de los eslabones o etapas de la cadena. Dicha información relativa a la sostenibilidad recopilada a lo largo de cadena puede ser utilizada por los distintos actores de la cadena u organizaciones encargadas del control de los alimentos, así como, también por el propio consumidor, incrementando el valor añadido del producto.

Para ello, primero se ha procedido a analizar en la literatura disponible, el concepto de sostenibilidad en la cadena de suministro y sus diferentes dimensiones. Con esto, se pretenden definir las características y propiedades específicas que una cadena de suministro en general y en el sector agroalimentario en particular, debe cumplir para ser sostenible. Posteriormente se define, en base a la literatura, la trazabilidad de una cadena de suministro y se presentan las

características de un sistema de trazabilidad, los últimos avances en sistemas de trazabilidad, así como, la normativa específica en trazabilidad en el sector de la alimentación.

Por último, se describen los puntos a considerar en el diseño de un sistema de trazabilidad de la cadena de suministro sostenible en el sector de la alimentación, para finalmente definir una propuesta de sistema de trazabilidad para una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario.

### 3. Sostenibilidad

Como se ha descrito en el apartado anterior, el objetivo del presente Trabajo Final de Máster es definir las bases de un sistema de trazabilidad para una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario. Para definir dichas bases, es necesario analizar previamente el concepto y definición de sostenibilidad, tanto de forma genérica, como aplicado a la cadena de suministro, para poder conocer sus implicaciones e impactos en la cadena de suministro y en particular a la cadena de suministro en el sector agroalimentario.

#### 3.1 Definición de Sostenibilidad

En el Diccionario de la Real Academia Española (RAE), el concepto de sostenible/sostenibilidad se define por:

1. adj. Que se puede sostener. Opinión, situación sostenible.
2. adj. Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente. Desarrollo, economía sostenible.

El origen de la palabra **sostenibilidad** se sitúa en 1987 con el informe socio-económico Brundtland (WCED, 1987) elaborado para la ONU, por una comisión encabezada por la doctora Gro Harlem Brundtland. En este informe, se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible (o desarrollo sustentable), definido como: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades”.

El uso de este término conlleva un cambio importante respecto a la idea de sustentabilidad, que ha sido tradicionalmente una idea ecológica y a un marco que da también importancia al contexto económico y social del desarrollo.

Los diferentes aspectos que engloban el concepto de sostenibilidad, definen lo que se conoce como triple vertiente de la sostenibilidad o triple línea de fondo (Elkington, 1997; Elkafi Hassini et al., 2012):



### **Sostenibilidad Económica**

La sostenibilidad económica se da cuando la actividad que se mueve hacia la sostenibilidad ambiental y social es financieramente posible, rentable y aporta crecimiento y estabilidad.

### **Sostenibilidad Medioambiental**

Se basa en la compatibilidad entre las diferentes actividades económicas y la preservación actual y futura de la biodiversidad, los ecosistemas y los recursos naturales, evitando su degradación y contaminación.

En la mayoría de la literatura se hace referencia a la sostenibilidad medioambiental. Sin embargo, en algunas fuentes se ha encontrado el concepto de ecología en lugar del concepto medioambiental.

### **Sostenibilidad Social**

Se basa en el mantenimiento de la cohesión social y de su habilidad para trabajar en la persecución de objetivos comunes. Busca la equidad intra-generacional, así como inter-generacional en el desarrollo económico y ambiental.

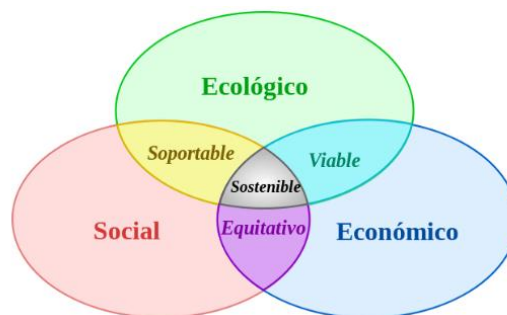


Figura 1. Dimensiones de la Sostenibilidad según Wiki media.

Según la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (1998) (Informe E / CN. 17/1998/4 Industria y Desarrollo Sostenible Nueva York 6ª sesión. 13 de abril a 1º de mayo de 1989), tanto los negocios como la actividad industrial pueden contribuir a alcanzar objetivos relacionados con el desarrollo sostenible en sus tres ámbitos centrales: promoción del crecimiento económico y fomento de una economía abierta y competitiva (objetivos

económicos); creación de empleo productivo, erradicación de la pobreza, igualdad de género, mejora de las normas laborales, mejora en el acceso a la educación y a la atención sanitaria (objetivos sociales); protección del medio ambiente natural y mejora del desempeño ambiental (objetivos ambientales) (Yakovleva, 2007).

La sostenibilidad es un concepto dinámico y no estático. Las percepciones sobre la sostenibilidad han cambiado significativamente durante la última década. Dichas percepciones sobre la sostenibilidad están asociadas con el cambio de conciencia, conocimiento, tecnología, preferencias de mercado y política gubernamental (Bowers, 1997; Tietenberg, 2001; Ashby et al., 2006).

La comprensión del desarrollo sostenible es a menudo bastante simplista. En su mayoría, se hace referencia a la definición de Brundtland (WCED, 1987). Sin embargo, no se discute si se adopta una comprensión más técnica del concepto, positivista o basada en las ciencias sociales, es decir, cuando la sostenibilidad se entiende como un concepto relacionado con la regulación. Consecuentemente, el entendimiento de desarrollo sostenible no está generalmente consolidado y mayoritariamente es entendido en base a una única dimensión, la dimensión medioambiental. Se requiere una perspectiva integrada para futuras investigaciones, donde los aspectos sociales, en particular, y la interrelación de las tres dimensiones necesitan ser investigadas más a fondo (Seuring and Müller 2008).

Uno de los principales retos de la sostenibilidad es hacer la definición de Brundtland operativa, es decir, hacerla útil para guiar la toma de decisiones dentro de las empresas. Los objetivos relacionados con la sostenibilidad del “Millennium Development” de la ONU, sugieren que debería prestarse atención, tanto a las necesidades que son básicas para alcanzar la sostenibilidad, como las que van más allá de dichas necesidades básicas. Los objetivos del “Millennium Development” de la ONU, promueven cubrir las necesidades más básicas de sostenibilidad, como pueden ser la reducción de la pobreza, mejoras en la salud humana y protección del sistema ecológico, pero también promueven considerar necesidades de más alto nivel, tales como aquellas asociadas con la educación y la igualdad de género. Así pues, las empresas que tienen como objetivo alcanzar una sostenibilidad profunda, pueden fomentar, por ejemplo, dentro de la dimensión social de sostenibilidad, prácticas sociales que permiten a las personas satisfacer necesidades de más alto nivel, como puedan ser, aquellas relacionadas con la seguridad, la calidad de vida e igualdad (Yakovleva, 2007).

El concepto de sostenibilidad, ha sido definido desde una **postura filosófica intergeneracional**, desde una **perspectiva multidimensional**, así como también, desde una **visión multiescala** para la gestión de negocios. La definición de sostenibilidad basada en la postura filosófica intergeneracional, se centra en asegurarse de que las futuras generaciones no reciben un impacto negativo por las decisiones que hacemos en la actualidad. Por otro lado, la perspectiva multidimensional, ya nombrada en apartados anteriores, incluye los temas relacionados con el “triple –bottom line” del balance corporativo de la responsabilidad social, incluyendo el balance económico, y las dimensiones medioambiental y social de la sostenibilidad. Por último, la visión multiescala considera la escala geográfica, institucional y temporal. Esto es, la sostenibilidad ha sido aplicada en regiones y países, así como, organizaciones individuales y asociaciones incluyendo tanto las dimensiones a corto como a largo plazo (meses/años, décadas). Esta amplitud del tema y sus diferentes significados y

dimensiones han hecho difícil una investigación coherente a gran escala (Hamprecht et al., 2015).

### 3.2 ¿Qué es un Producto sostenible?

El término de producto sostenible abarca todo tipo de productos que tienen un impacto directo en la sostenibilidad o que tienen como objetivo una mejora de la calidad medioambiental y social, lo cual puede relacionarse con la implementación de estándares sociales y medioambientales (Seuring & Müller 2008).

Centrándonos en los productos duraderos en lugar de en los servicios y en el interés actual en mejorar el rendimiento del desarrollo del nuevo producto. La producción ambientalmente responsable y el desarrollo de nuevos productos se centran en la reducción de emisiones, eliminación de materiales peligrosos y menor peso del producto sin sacrificar funcionalidad (Müller et al., 2008).

El diseño de un producto, así como su ciclo de vida, influyen directamente en la cadena de suministro. Un aspecto importante a considerar para alcanzar la sostenibilidad de la cadena de suministro, es partir de la base de un producto, que al menos tenga como objetivo el ser sostenible.

### 3.3 Sostenibilidad en la Cadena de Suministro

Chopra y Meindl, (2007) definen una **cadena de suministro**, como todas las partes involucradas en llevar a cabo el cumplimiento de un pedido de cliente. En particular, destacan el hecho de que más de un decisor está involucrado en la gestión de recursos, información y / o procesos que pueden no estar totalmente bajo el control de su empresa. Además, definen la gestión de la cadena de suministro como el control de las operaciones, los recursos, la información y la financiación de la misma para maximizar su rentabilidad o beneficios.

Podemos definir la **sostenibilidad de un negocio** como la capacidad de llevar dicho negocio teniendo como objetivo a largo plazo, mantener el bienestar de la economía, del medio ambiente y de la sociedad. Una definición unificada para la gestión sostenible de la cadena de suministro, se describe como la gestión de las operaciones de la misma, los recursos, la información y la financiación, con el fin de maximizar la rentabilidad de la cadena de suministro y al mismo tiempo, minimizar los impactos ambientales y maximizar el bienestar social: tratar con múltiples decisores y evaluar los impactos ambientales y los beneficios sociales en una cadena de suministro de varios integrantes (Elkafi Hassini et al., 2012).

De acuerdo con la definición dada por Seuring y Müller (2008a), la **cadena de suministro sostenible** puede definirse como "la gestión de flujos materiales, de información y de capital, así como la cooperación entre empresas a lo largo de la cadena, adoptando los objetivos de las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, ambiental y social), que se derivan de las necesidades de los clientes y de los integrantes de la cadena de suministro". En esta

definición, se especifica concretamente la cooperación de los participantes de la cadena. Esto está en línea con otros investigadores que pusieron énfasis en las relaciones fortalecidas de la cadena de suministro sostenible (por ejemplo, Sharfman et al., 2009). Además, sugiere la igualdad de consideración de las tres dimensiones de sostenibilidad, algo que Elkington (1997) ha denominado como el enfoque de la Triple Línea de Fondo (Gimenez et al., 2012; Philip Beske et al., 2013). Finalmente, la definición centra la atención en los actores de la cadena de suministro, que deben ser reconocidos, como aquellos que poseen los requisitos legítimos para llevar a cabo las actividades de las cadenas de suministro (Müller et al., 2009; Philip Beske et al., 2013).

La diferencia más notable que se observa al comparar la definición de una cadena de suministro, frente a la de una cadena de suministro sostenible, es la introducción de las dimensiones medioambientales y sociales, aparte de la económica, que ya se tiene en cuenta como objetivo implícito en la definición tradicional de cadena de suministro.

Por otro lado, Chopra y Meindl (2007) han definido seis factores principales para el desempeño de la cadena de suministro: transporte, inventario, instalaciones, información, precios y abastecimiento. Por lo tanto, para que una cadena de suministro sea sostenible, debe serlo también en cada uno de dichos factores principales de desempeño (Seuring & Müller, 2008).

La calidad de las relaciones entre los participantes de la cadena de suministro, ya que éstos afectan a la incertidumbre y el riesgo del negocio, es un determinante crítico de la sostenibilidad. De hecho, un desempeño económico satisfactorio se considera un requisito previo, si se cumplen los objetivos sociales y ambientales (Seuring & Müller 2008).

En este contexto, las barreras más consideradas a la hora de implementar cadenas de suministro sostenibles son: costes más elevados, esfuerzo de coordinación y complejidad, insuficiente o falta de comunicación entre los distintos actores de la cadena (Seuring & Müller 2008).

Considerando la información presentada en este apartado, se puede definir la cadena de suministro sostenible como la gestión de las operaciones de la misma, de los recursos y flujos materiales, de información y de capital, así como la cooperación entre empresas a lo largo de la cadena, adoptando los objetivos de las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, ambiental y social), que se basan en maximizar la rentabilidad de la cadena y al mismo tiempo, en minimizar los impactos ambientales y maximizar el bienestar social: evaluar los impactos ambientales y los beneficios sociales en una cadena de suministro de varios integrantes.

Para que una cadena de suministro sea sostenible, debe serlo también en cada uno de sus factores principales de desempeño y distintos eslabones de la cadena.

### 3.4 El papel de las dimensiones Social, Medioambiental y Económica en la Cadena de Suministro

Con respecto a la **dimensión económica de la sostenibilidad** en la Cadena de Suministro, cabe destacar que, en la mayor parte de la literatura relacionada con dicha temática, se da por hecho que la dimensión económica está presente en la CdS. Esto es así, porque se considera que si una CdS y, por tanto, la actividad económica que está relacionada con ella, no fuera económicamente sostenible y viable, dicha actividad no tendría lugar y no se podría hablar de sostenibilidad social y medioambiental de su CdS. Es por ello, que se parte de la premisa de que la CdS es económicamente sostenible (dimensión clásica) y se analiza su impacto en la sostenibilidad social y medioambiental, dimensiones introducidas posteriormente en la definición de sostenibilidad de Brundtland (WCED, 1987). Estas dos últimas dimensiones de sostenibilidad mucho menos consideradas en la CdS clásica que la dimensión la económica.

Desde el **punto de vista medioambiental**, los puntos críticos del sistema actual (no sostenible) son el agotamiento de los recursos naturales (como las materias primas y los combustibles fósiles), la destrucción y fragmentación de los ecosistemas, la pérdida de diversidad biológica o biodiversidad, lo que reduce la capacidad de resistencia del planeta. El desarrollo (industrial, agrícola, urbano) genera contaminaciones inmediatas y pospuestas (por ejemplo, la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y a la explotación excesiva de los recursos naturales, o la deforestación de la selva tropical). Esto provoca una pérdida inestimable de diversidad biológica en términos de extinción, y por tanto irreversible, de las especies de plantas o animal. Esta evolución provoca un agotamiento de los combustibles fósiles y de las materias primas que hace inminente acercarnos al agotamiento de muchos recursos naturales vitales (Elkafi Hassini et al., 2012).

En cuanto a las funciones de la cadena, el suministro y transformación son funciones críticas en una cadena de suministro sostenible. Uno de los aspectos clave de la cadena de suministro verde y sostenible es el uso de prácticas sostenibles. La idea es que la compañía focal en la cadena de suministro fuerce a sus proveedores a adoptar y adaptar tecnologías y prácticas, que resulten en fuentes de materiales más eficientes y más respetuosas con el medio ambiente, involucrarse en prácticas laborales consideradas éticas y que resulten en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como, un bajo impacto en el medio ambiente (Elkafi Hassini et al., 2012).

El proceso de suministro es un término amplio, utilizado para abarcar muchos procesos operacionales. La elección de la ubicación cerca del cliente vs, cerca de la fuente de materia prima puede tener un impacto significativo en las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero). La elección del modo de transporte es una decisión importante para las emisiones de GEI, pero al mismo tiempo la necesidad de que el producto se entregue a tiempo de forma rápida y barata es una preocupación clave para cualquier negocio. Por otro lado, uno de los temas menos investigados en las prácticas sostenibles es la elección de la política de gestión de inventario. Por ejemplo, los modelos de período único y multi-período pretenden reducir el stock total, los pedidos y los costes y no incorporan criterios de sostenibilidad en el marco de toma de decisiones (Elkafi Hassini et al., 2012).

La demanda medioambiental cruza fronteras industriales y geográficas, dando paso a estándares globales (Hamprrecht et al., 2005). Esto presenta complicaciones importantes, a la hora de alcanzar la sostenibilidad de una cadena de suministro que involucre a distintos países con distintas regulaciones y estándares.

Respecto a la **dimensión social de la sostenibilidad**, ésta ha sido mucho menos tratada en la literatura que la dimensión medioambiental. Sin embargo, se reconoce que el beneficio es sólo un elemento a largo plazo en el éxito de las empresas, y que el futuro de las personas (internas y externas) y del planeta son nuevas preocupaciones de legitimidad (Kleindorfer et al., 2005; Ahsby et al., 2011). La sostenibilidad debería ser un código ético para la supervivencia y el progreso humano (Sharma & Ruud, 2003; Ahsby et al., 2011) y lograda de manera "inclusiva, conectada, equitativa, prudente y segura" (Gladwin et al., 1995; Ahsby et al., 2011). Los tres primeros elementos de esta definición están estrechamente relacionados con la dimensión social (Schaefer, 2004; Ahsby et al., 2011) y puede ser promulgada a través de las cadenas de suministro, reduciendo el desempleo, protegiendo la salud y la seguridad de los empleados, garantizando la igualdad de trato y evitando la exclusión social (Leire & Mont, 2010; Ahsby et al., 2011). Si bien la sostenibilidad ambiental hace hincapié en la gestión de los recursos naturales, la sostenibilidad social se ocupa de la gestión de los recursos sociales, incluyendo las características y habilidades de las personas, de las instituciones, de las relaciones y de los valores sociales (Sarkis et al., 2010; Ahsby et al., 2011). A nivel de negocio, esto requiere que las empresas y sus proveedores agreguen valor, aumentando el capital humano de las personas y el capital social de las comunidades (Dyllick & Hockerts, 2002; Ahsby et al., 2011).

La equidad social es un componente clave de la sostenibilidad social y requiere que todos los miembros de la sociedad tengan igual acceso a recursos y oportunidades (Bansal, 2005; Ahsby et al., 2011), extendiéndose al trato justo y equitativo de los empleados. Se ocupa de la pobreza, la injusticia y los derechos humanos y desde una perspectiva de la cadena de suministro, considera el bienestar de todos los empleados a nivel mundial (Krause et al., 2009; Ashby et al., 2011). Socialmente, se espera que la gestión de la cadena de suministro imponga los valores y estándares de una empresa con sus proveedores (Tate et al., 2010; Ahsby et al., 2011) y enfatice la importancia de las relaciones a largo plazo, la comunicación y el desarrollo de proveedores (Ashby et al., 2011).

La sostenibilidad social está fuertemente ligada a la responsabilidad social corporativa (RSE), que comprende acciones no exigidas por la ley, pero que fomentan el bien social, más allá de los intereses explícitos y transaccionales de una empresa (Sarkis et al., 2010; Ahsby et al., 2011).

La cuestión del trato justo y equitativo en las cadenas de suministro se aborda en gran medida a través de normas comunes aplicadas por las ONG. Por ejemplo, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) tiene un conjunto de principios que incluyen los aspectos de los derechos humanos, el trabajo infantil y forzado, el empleo, los salarios y la formación (Leire & Mont, 2010; Ahsby et al., 2011). La certificación a través de estos organismos se considera como una de las pocas áreas en la literatura de investigación donde se abordan explícitamente cuestiones sociales como el trabajo infantil y las condiciones de trabajo inseguras (Pagell & Wu, 2009; Ahsby et al., 2011) y se pueden utilizar para establecer un conjunto de criterios

sociales que se aplicarán a la cadena de suministro, supervisando a los proveedores para asegurar el cumplimiento (Leire & Mont, 2010; Ahsby et al., 2011). El “Fairtrade” es una práctica social bien desarrollada que, además de buscar relaciones más justas con los proveedores, tiene como objetivo establecer relaciones más directas entre grupos de productores y consumidores (Barratt Brown, 1993; Ahsby et al., 2011).

Una apreciación del **nivel "local" de sostenibilidad** se extiende a lograr un desarrollo social equilibrado dentro de los ecosistemas locales. Requiere la integración de los esfuerzos ambientales y sociales de una empresa en cooperación con proveedores y otros actores sociales para crear sostenibilidad regional y local (Schaefer, 2004; Ahsby et al., 2011). Esto enfatiza el papel de las relaciones y la comunicación dentro de las cadenas de suministro, así como el reconocimiento del impacto de los actores externos (Maignan et al., 2002; Ahsby et al., 2011). Podría adoptar la forma de políticas ambientales y sociales integradoras que se aplicarían a lo largo de toda la cadena de suministro y dar lugar a informes ambientales y sociales conjuntos para comunicar el progreso a las partes interesadas (Schaefer, 2004; Ahsby et al., 2011). La función de gestión de la oferta puede desempeñar un papel importante en la creación del capital social (Spekman et al., 1998; Ahsby et al., 2011). El capital social comprende el capital humano en términos de habilidades, motivación y lealtad de las personas, y el capital social que incluye la educación y la cultura (Dyllick & Hockerts, 2002; Ahsby et al., 2011).

En el esquema siguiente, Hassini et al., (2012) muestra algunos conceptos y prácticas a tener en cuenta para poder cumplir con las dimensiones social y medioambiental en la gestión de la cadena de suministro sostenible:

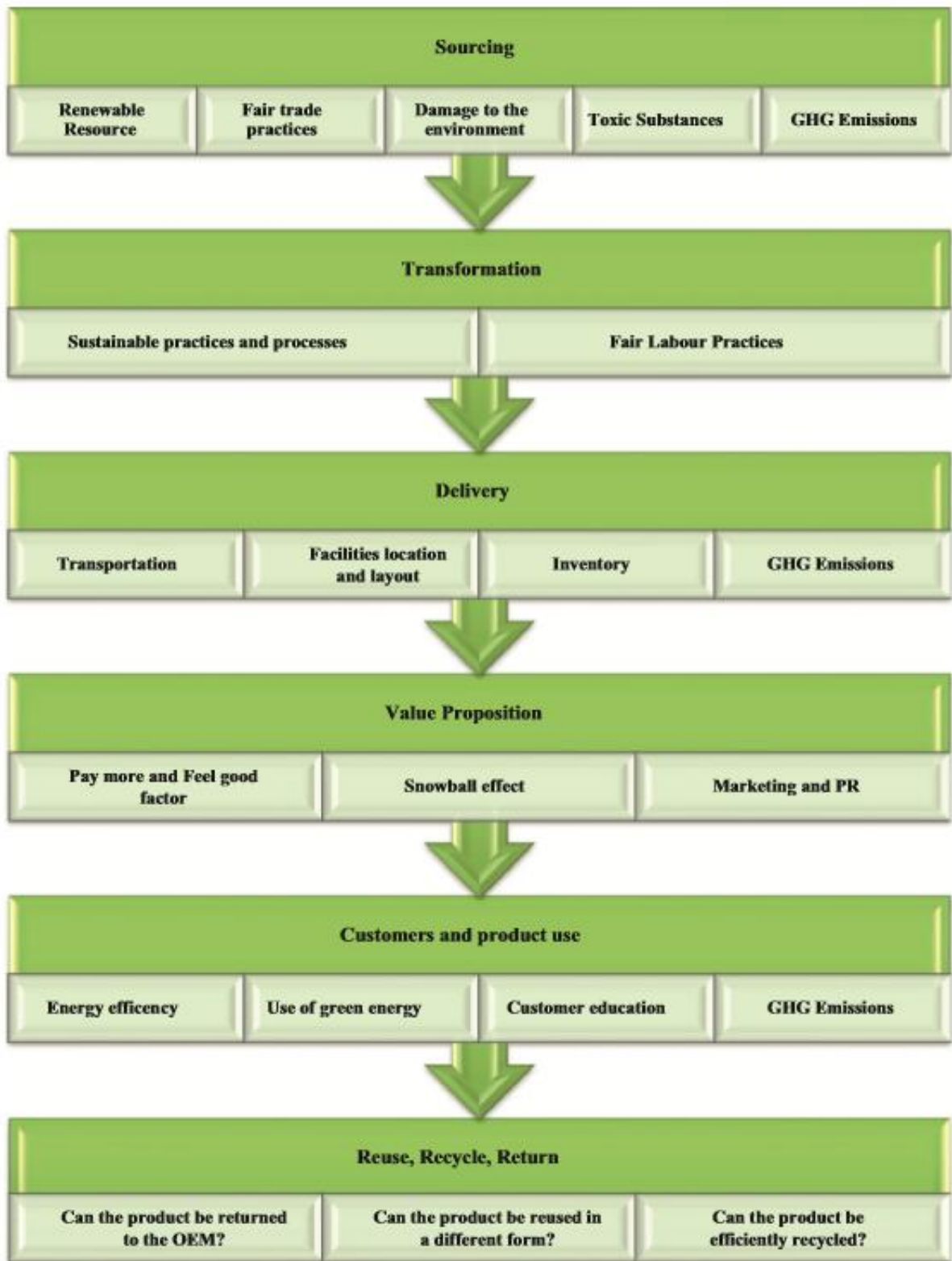


Figura 2. Temas para una Gestión de la Cadena de Suministro Sostenible. Adaptada de (Elkafi Hassini et al., 2012).



A modo resumen de este apartado, se puede concretar que desde el punto de vista medioambiental, los aspectos más críticos a tener en cuenta para la sostenibilidad son aquellos relacionados con el agotamiento de los recursos naturales (como las materias primas y los combustibles fósiles), la destrucción de los ecosistemas, la pérdida de diversidad biológica o biodiversidad. Para que una cadena de suministro sea sostenible debe llevar a cabo prácticas sostenibles, de forma que la empresa central fuerce a sus proveedores a adoptar tecnologías y prácticas más respetuosas con el medio ambiente y que tengan un impacto bajo o nulo en el mismo, así como a involucrarse en prácticas laborales consideradas éticas y sostenibles desde el punto de vista social y que se enfatice la importancia de las relaciones a largo plazo, la comunicación y el desarrollo de proveedores. Prácticas sostenibles desde el punto de vista medioambiental son prácticas de protección ambiental, prácticas que minimicen los daños ambientales durante todo el ciclo de vida, uso de sistemas de gestión ambiental, uso de tecnologías más limpias, eco-eficiencia y gestión de residuos.

La dimensión social de la sostenibilidad ha sido mucho menos tratada en la literatura que la dimensión medioambiental. Son consideradas prácticas sostenibles desde el punto de vista social, aquellas que promuevan la reducción del desempleo, la protección de la seguridad de los empleados y la salud de las personas, garanticen la igualdad de trato, eviten la exclusión social, promuevan la equidad social, el trato justo y equitativo y promuevan la formación de los empleados. La sostenibilidad social está ligada a la responsabilidad social corporativa (RSE), que comprende acciones no exigidas por la ley, pero que fomentan el bien social.

### 3.5 Prácticas para la gestión de la cadena de suministro sostenible

Beske, Land y Seuring, (2013) hablan de prácticas relevantes para la gestión sostenible de la cadena de suministro. Se centran en prácticas que, por ejemplo, mejoran las relaciones entre los socios, el flujo de bienes e información o cuestiones que afectan directamente a la sostenibilidad. Afirman que se deberían incluir aspectos de la gestión de la cadena de suministro, tales como, benchmarking o medición del desempeño financiero. Las prácticas mencionadas son: estrategia sostenible de la cadena de suministro, continuidad, colaboración, gestión del riesgo y pro-actividad. A continuación, se detallan las ideas descritas por Beske, Land y Seuring, (2013).

**Estrategia sostenible de la cadena de suministro:** Las empresas que siguen una estrategia de sostenibilidad, suelen estar guiadas por la Triple Línea de Fondo (TBL) (Dyllick & Hockerts, 2002, Nikolaou et al., 2011, Gimenez et al., 2012; Beske et al., 2013), es decir, dando igual importancia a las tres dimensiones de sostenibilidad para la toma de decisiones.

**Continuidad:** La segunda categoría del marco se refiere a la estructura de la red de suministro. Esto se refiere a la forma en que los actores de la CdS interactúan a un nivel permanente. Por lo tanto, las prácticas utilizadas para construir relaciones a largo plazo, el desarrollo de los actores de la CdS y la selección de socios cualificados se encuentran en este punto (Pagell & Wu, 2009; Gold et al., 2010; Beske et al., 2013). Estas prácticas se resumen en la categoría de continuidad, la exitosa competitividad a largo plazo de la cadena de suministro (Ziggers & Trienekens, 1999, Ashby et al., 2012, Miemczyk et al., 2012; Beske et al., 2013).

**Colaboración:** La colaboración hace un vínculo de los aspectos estructurales referidos a la integración técnica y logística de los actores de la cadena y la calidad de la información compartida (Vlajic et al., 2012; Beske et al., 2013). Por un lado, las decisiones estructurales sobre cómo integrar técnica y logísticamente a los socios en la cadena de suministro y la calidad de la información compartida (Vachon & Klassen, 2008; Beske et al., 2013). El desarrollo conjunto tiene como objetivo desarrollar de manera colaborativa nuevas tecnologías, procesos y productos. Por otro lado, la organización más operativa puede estar vinculada al nivel de procesos de la gestión de la cadena de suministro sostenible (SSCM).

**Gestión de riesgos:** Las cadenas de suministro sostenibles enfrentan altos riesgos debido a la alta presión de demandas de grupos o una base de proveedores relativamente pequeña y el riesgo de interrupción relacionado (Walker et al., 2008; Seuring & Müller, 2008b; Beske et al., 2013). Esto lleva a las empresas a la adopción de diversas prácticas de gestión de riesgos para mitigarlos (Seuring & Müller, 2008a, Holt & Ghobadian, 2009; Beske et al., 2013). El monitoreo individual de proveedores específicos es una práctica que se puede observar en la SSCM. A menudo, los propios auditores o empleados de la empresa son enviados a las instalaciones de integrantes individuales de la CdS para identificar sus necesidades y progresar hacia objetivos específicos (Koplin et al., 2007; Beske et al., 2013). Normalmente, las normas y certificaciones son más generalizadas, como la ISO 14001 o el EMAS, y se dirigen a una amplia gama de empresas. Al mismo tiempo, pueden ser manejados por auditores externos y conservar alta credibilidad (Müller et al., 2009b). En cuanto a la gestión de las partes interesadas, no sólo tendrían que ser monitoreados, sino activamente comprometidos y gestionados (Seuring & Müller, 2008b; Beske et al., 2013).

**Proactividad (para la sostenibilidad):** El conjunto más amplio de actores de la CS se encuentra en la categoría pro-actividad de SSCM. Al involucrar activamente a los actores, como a los consumidores, las empresas son capaces de contrarrestar la presión y el beneficio del conocimiento de las partes integrantes (Pagell & Wu, 2009; Beske et al., 2013). El aprendizaje, por ejemplo, de los integrantes de la CS y otras fuentes, es otra práctica importante. Además, es importante tener en cuenta el ciclo de vida de un producto, cuando se persigue una estrategia de sostenibilidad, ya que influye en las fases de desarrollo y a lo largo de todo el ciclo de vida (Seuring, 2011; Beske et al., 2013). Por último, la capacidad general de ser innovador como empresa.

### 3.6 Cadena de Suministro Sostenible en el sector Agroalimentario

La industria alimentaria es una industria muy dinámica con cambios constantes en las demandas de los clientes (Van der Vorst & Beulens, 2002; Wiengarten et al., 2011; Trienekens et al., 2012; Beske et al., 2013). Esto requiere la capacidad de adaptar rápidamente las estrategias y reconfigurar recursos, (Teece et al., 1997, Barreto, 2010, Foerstl et al., 2010, Zhu et al., 2012; Beske et al., 2013). En la industria alimentaria moderna, los procesos se han industrializado, caracterizados por la producción en masa. Además, la producción, la financiación y la comercialización se han integrado internacionalmente para formar cadenas de suministro de alimentos globales (Manning et al., 2005; Rene et al., 2007; Trienekens et al., 2012; Beske et al., 2013). Dichas cadenas de suministro de alimentos pueden definirse como "un

conjunto de empresas interdependientes que trabajan en estrecha colaboración para gestionar el flujo de bienes y servicios a lo largo de la cadena de valor agregado de los productos agrícolas y alimenticios, con el fin de lograr un valor añadido para el consumidor al menor costo posible "(Folkerts & Koehorst, 1998; Beske et al., 2013). La globalización junto con las cambiantes técnicas de comercialización, las tendencias de consumo y la tecnología moderna han suscitado preocupaciones simultáneamente con respecto a la economía, la sociedad y el medio ambiente (Yakovleva, 2008; Zanoni & Zavanella, 2012; Beske et al., 2013). Al mismo tiempo, la seguridad y la calidad son de suma importancia en la industria alimentaria, lo que lleva a controlar toda la cadena de suministro (Manning et al., 2005; Beske et al., 2013), el aseguramiento de la calidad (Manning et al., 2006; Beske et al., 2013), y una mejora en la trazabilidad, un aspecto importante en este sector (por ejemplo, Wang et al., 2009). Una práctica es la necesidad de colaboración (Matopulos et al., 2007; Beske et al., 2013) y la coordinación, a menudo enfatizada en la industria alimentaria (Ziggers & Trienekens, 1999; Beske et al., 2013). Por lo tanto, los consumidores se preocupan cada vez más por los productos que consumen, incluyendo su origen, los insumos utilizados durante la producción, las normas laborales implementadas, por ejemplo, por los agricultores y las corporaciones de alimentos, el trato de los animales y el impacto ambiental de la producción (Trienekens et al. Al., 2012, Cross et al., 2009; Beske et al., 2013). Por lo tanto, la sostenibilidad, es decir, los impactos ecológicos, sociales y económicos de la industria alimentaria han estado bajo observación del público durante algún tiempo. Especialmente las iniciativas de comercio de alimentos orgánicos y comercio justo son importantes a este respecto. La relevancia de los alimentos para todas las personas, la dinámica de la industria y las demandas de los consumidores antes mencionadas, califican a esta industria como un foco fuerte de investigación al integrar capacidades dinámicas en SSCM (Beske et al., 2013).

La sostenibilidad intenta equilibrar los tres componentes del desarrollo que definen la calidad de la vida humana en un sentido más amplio: objetivos económicos, sociales y ambientales (OCDE, 1997). En este contexto, se han planteado interrogantes sobre la sostenibilidad de la producción de alimentos para el consumo humano, especialmente en lo que respecta a la degradación de los recursos naturales, la contaminación ambiental, los riesgos potenciales de salud y seguridad asociados con la agricultura intensiva. Al mismo tiempo, la disminución general y mayor volatilidad de la rentabilidad agrícola han afectado negativamente el empleo y los medios de subsistencia en las zonas rurales (Stefan Seuring, 2008).

Según Yakovleva, (2011), la cadena alimentaria consta de distintas etapas de producción agrícola, procesamiento industrial, comercialización y consumo. La cadena de suministro de alimentos no es sólo un sistema de etapas alineadas en una secuencia particular de actividades económicas, a través de las cuales fluyen recursos, materiales e información, sino que también es una red de organizaciones cuyas relaciones permiten el funcionamiento de la cadena de suministro. En términos generales, la cadena de suministro puede ampliarse para abarcar el sistema alimentario que incluye los reguladores, los proveedores de equipos y materiales, así como las operaciones de eliminación de desechos, ya que también influyen en el funcionamiento de la cadena de suministro.

Del lado de la oferta, la **producción sostenible** significa asegurar que todos los sectores económicos reduzcan al mínimo el uso de materiales y eviten que la contaminación y los residuos lleguen a niveles por lo menos con capacidad de carga local y global. Esto implicaría protección ambiental, sistemas de gestión ambiental, tecnologías más limpias, códigos de conducta voluntarios, eco-eficiencia y gestión de residuos. Por el lado de la demanda, el consumo sostenible significa asegurar que los bienes y servicios respondan a las necesidades básicas de alimentación, vivienda, movilidad, ocio y comunicaciones y mejorar la calidad de vida, minimizando los daños ambientales durante todo el ciclo de vida (Yakovleva, 2011).

Al analizar la sostenibilidad de la cadena de suministro de alimentos se deben tener en cuenta varios elementos. En primer lugar, la evaluación de la sostenibilidad debe abarcar todas las etapas de la cadena, es decir, el origen del recurso, el cultivo y la producción agrícola, la transformación de los alimentos (primaria, posterior y final), al por mayor y al por menor alimenticios, los servicios alimentarios y el consumo interno. Por ejemplo, Heller & Keoleian, (2003) presentaron un intento exitoso de captar la cadena de suministro de alimentos a través de la evaluación del ciclo de vida del producto. En segundo lugar, la evaluación de la sostenibilidad debe incluir al menos tres aspectos de la sostenibilidad: económica, social y ambiental, mientras que el cuarto aspecto institucional es más aplicable a nivel nacional y, en cierta medida, al nivel firme de evaluación de sostenibilidad (Yakovleva, 2011).

Por otro lado, es importante destacar el papel de la **innovación en la sostenibilidad**. La innovación sostenible puede considerarse como los cambios tecnológicos y sociales que no sólo son ambientalmente sostenibles (conservan el medio ambiente, minimizan el impacto ambiental y protegen el medio ambiente natural), sino que son sostenibles en términos económicos (sostener el crecimiento económico) y sociales (mejorar la calidad de Vida y calidad del empleo). Existen cuatro presiones importantes para el desarrollo de innovaciones sostenibles dentro de la cadena de suministro de alimentos (Yakovleva, 2011). Estos son:

- ✓ Tecnología-eficiencia energética, estandarización de productos y seguridad alimentaria
- ✓ Regulación - legislación, estrategias y políticas medioambientales de la UE y del Reino Unido en materia de desarrollo sostenible, bienestar de los animales e inocuidad de los alimentos
- ✓ Voluntad de mercado de las empresas para aumentar su cuota de mercado, explorar nuevos mercados, responder a la retroalimentación de los consumidores y disminuir los costos de los empleados
- ✓ Preocupaciones medioambientales-sociales, envasado, generación de residuos y salud

Según Yakovleva (2011), hay varias **preocupaciones sociales** en relación con el sistema alimentario que tienen el potencial de influir en el curso de las innovaciones, incluyendo:

- ✓ Salud y nutrición: los consumidores están cada vez más preocupados por los aspectos sanitarios de los alimentos, como los niveles de sal, azúcar y grasa en las comidas;
- ✓ Calidad de vida: el alimento no sólo tiene como objetivo satisfacer una función nutricional, sino que también tiene que contribuir a mejorar la calidad de vida;
- ✓ La sensibilización medioambiental, lo que genera demandas de mejora de los resultados medioambientales, especialmente en la agricultura y la industria alimentaria;
- ✓ La sociedad del bienestar animal está cada vez más preocupada por el bienestar de los animales en el sistema alimentario, la forma en que se crían, se cultivan, se transportan y se sacrifican.

Históricamente, la sostenibilidad de los alimentos ha sido considerada desde una perspectiva concentrada en la producción agrícola. Sin embargo, la expansión de la industria manufacturera de alimentos y el surgimiento de algunas grandes cadenas de supermercados que dominan el mercado minorista de alimentos requieren cambios importantes, en cómo se ve el sistema alimentario y cómo se abordan los impactos económicos, sociales y ambientales asociados a él. Un enfoque de la cadena de suministro de alimentos es un punto de partida útil para adoptar una visión holística del sistema alimentario que permita considerar no sólo los flujos monetarios y de productos, sino también los flujos de insumos y productos ambientales y las preocupaciones sociales asociadas a cada etapa del proceso de la cadena de suministro. Un enfoque de la cadena de suministro también ayuda a establecer las interacciones importantes entre los actores de la cadena de suministro para el funcionamiento de todo el sistema alimentario. Sin embargo, los cambios en la tecnología, el marketing y la estructura industrial, los patrones de consumo y la evolución de las demandas de consumo son la causa de las crecientes preocupaciones medioambientales y sociales, que cuestionan la sostenibilidad del sistema de alimentación (Yakovleva, 2007).

Las preocupaciones clave sobre operaciones e impactos del sistema moderno de alimentación incluye: impactos del sistema en el entorno ambiental como la erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, uso ineficiente de la tierra, reducción del agua, así como el incremento del consumo de los recursos naturales y la contaminación asociada con la producción y el consumo de comida, incluyendo el incremento en el uso de energía y las emisiones de efecto invernadero (Yakovleva, 2007).

La definición dada en el apartado anterior de sostenibilidad de la cadena de suministro y las prácticas sostenibles nombradas para las cadenas de suministro en general en los puntos anteriores, también son consideradas por la literatura de forma particular para la **sostenibilidad de las cadenas de suministro en el sector de la alimentación**, así que también pueden ser aplicadas al concepto de sostenibilidad en la cadena de suministro del sector

agroalimentario. Así pues, se define la cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario como la gestión de las operaciones de la cadena de suministro, de los recursos y flujos materiales, de información y de capital, así como la cooperación entre empresas a lo largo de la cadena, adoptando los objetivos de las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, ambiental y social), que se basan en maximizar la rentabilidad de la cadena y al mismo tiempo, en minimizar los impactos ambientales y maximizar el bienestar social: evaluar los impactos ambientales y los beneficios sociales en una cadena de suministro de varios integrantes.

Como resumen de este apartado se puede decir que cada vez aumenta la preocupación de los consumidores por los productos que consumen, dando importancia no sólo a su origen, sino también a los sistemas de producción empleados, los insumos utilizados, las normas laborales implementadas, el trato de los animales y el impacto medioambiental de la producción. Por ello, los impactos medioambientales, sociales y económicos de la industria alimentaria están siendo cada vez más observados y considerados por los consumidores. En concreto, iniciativas de comercio de alimentos orgánicos y comercio justo han ganado importancia a este respecto.

Tradicionalmente, la sostenibilidad de los alimentos ha sido considerada únicamente en la etapa de la producción agrícola. Sin embargo, la globalización, la expansión de la industria de producción de alimentos y el surgimiento de grandes cadenas de supermercados que controlan el mercado minorista de alimentos requieren la consideración de ciertos cambios importantes en las cadenas de suministro en el sector de la alimentación, y por tanto en cómo abordar los impactos económicos, sociales y ambientales que éstos provocan. Para que una cadena de suministro sea sostenible, debe serlo en cada uno de sus factores principales de desempeño y distintos eslabones de la cadena (producción agrícola y ganadera en la granja, la transformación de los alimentos, transporte, venta al por mayor y al por menor y servicios alimentarios (transporte, inventario, instalaciones, información, precios y abastecimiento)).

### 3.7 Sostenibilidad en la agricultura y ganadería

En el contexto de la cadena de suministro de alimentos, el concepto de sostenibilidad se ha desarrollado tradicionalmente entorno a la producción agrícola, ya que produce el impacto ambiental más significativo en comparación con otras etapas de la cadena. Es por ello que se pretende enfatizar en este apartado, la definición de las prácticas consideradas medioambientalmente sostenibles de las etapas de la cadena basadas en la agricultura y ganadería.

La industria alimentaria fue una de las primeras en estudiar los aspectos de la **sostenibilidad**, incluyendo la contaminación, las normas laborales, la ética en las relaciones con los proveedores y los residuos (Fritz & Schiefer, 2008; Sarkis et al., 2013). En cuanto a los niveles regional, sectorial y de empresa, se han desarrollado diversos marcos para estudiar los efectos del sector alimentario, en particular los impactos de sostenibilidad del ciclo de vida, el costo económico de la granja, los kilómetros de alimentos, la contabilidad energética en ciclos de vida de producto, (Linstead & Ekins, 2001; Sarkis et al., 2013).

Durante la segunda mitad del siglo XX, la agricultura y ganadería han sido muy exitosas en la provisión de alimento frente a la creciente población humana. En los cultivos básicos como trigo y arroz se han incrementado significativamente los rendimientos y los precios se han reducido. Este auge en la producción de alimento se debe principalmente, a los avances científicos, e innovaciones tecnológicas que incluyen el desarrollo de nuevas variedades de plantas, uso de fertilizantes y plaguicidas y el crecimiento de la infraestructura de riego (Gliessman-Turrialba & Stephen, 2002).

A pesar de esto, nuestros sistemas de producción de alimentos se encuentran en el proceso de erosionar las bases fundamentales que los sostienen. Paradójicamente, las innovaciones tecnológicas, las prácticas y las políticas que explican el incremento en la productividad, también están erosionando las bases de esa productividad. Por un lado han abusado y degradado los recursos naturales de los que depende la agricultura: suelo, agua y diversidad genética. Por otro lado, han creado una dependencia en el uso de recursos no renovables, como el petróleo, y también están fomentando un sistema que elimina la responsabilidad de los agricultores y trabajadores del campo, del proceso de producir alimentos. **La agricultura moderna es insostenible**, a largo plazo no tiene el potencial para producir suficiente alimento como demanda la población, debido a que está erosionando las condiciones que la hacen posible. La agricultura convencional se basa en dos objetivos: la maximización de la producción y las ganancias. Para alcanzar estos objetivos se han desarrollado prácticas que no consideran las consecuencias a largo plazo, ni la dinámica ecológica de los agro-ecosistemas. Las seis prácticas básicas que constituyen la columna vertebral de la agricultura moderna son: labranza intensiva, monocultivo, irrigación, aplicación de fertilizantes inorgánicos, control químico de plagas y manipulación genética de los cultivos. La agricultura convencional tiende a favorecer la alta productividad a corto plazo, comprometiendo así la productividad de los cultivos en el futuro. La agricultura no puede ser sostenible mientras dependa de insumos externos. En primer lugar, los recursos naturales de los cuales provienen los insumos, son no renovables y de cantidades finitas. En segundo lugar, la dependencia a insumos externos hace que el agricultor, las regiones y todo el país sean vulnerables a la oferta de insumos, a las fluctuaciones del mercado y al incremento de precios. La agricultura a gran escala, orientada hacia la maximización de la producción y de las ganancias, también pretende controlar la producción de alimentos en las comunidades rurales. Esta tendencia es preocupante porque el manejo requerido para la producción sostenible debe incluir el control de la comunidad local sobre sus recursos y el conocimiento del lugar. La producción de alimentos con base a las exigencias del mercado global y el uso de la tecnología desarrollada externamente, contradice los principios ecológicos (Gliessman-Turrialba & Stephen, 2002).

A los pequeños agricultores se les han reducido sus ganancias cada vez más, los últimos años, de forma que existen pocos incentivos para que permanezcan y mantengan su granja. En los casos en los que las granjas están adyacentes a centros de población con rápido crecimiento, el incentivo es vender la tierra para desarrollo urbano. Incrementar la producción aumentando la superficie de cultivo es problemático. En casi todo el mundo, el suelo que es adecuado para uso agrícola ya ha sido convertido para algún uso humano. Del área total disponible la proporción que podría ser cultivada está disminuyendo rápidamente debido al crecimiento urbano, degradación del suelo y desertificación. Por otro lado y a pesar de los

incrementos en productividad, todavía persiste la hambruna en el mundo (Gliessman-Turrialba & Stephen, 2002).

Según Gliessman-Turrialba y Stephen, (2002), la **agricultura sostenible** se basa en los siguientes principios:

- Tener el mínimo efecto negativo en el ambiente y no liberar sustancias tóxicas o dañinas a la atmósfera y el agua superficial o subterránea.
- Preservar y reconstruir la fertilidad del suelo, prevenir la erosión y mantener la salud ecológica del suelo.
- Usar agua en forma tal que permita la recarga de los acuíferos y su uso por parte de la población humana y otros elementos del ecosistema.
- 
- Hacer uso de los recursos dentro del agro-ecosistema, incluyendo las comunidades cercanas, reemplazando los insumos externos con un mejor ciclo de nutrientes, adecuada conservación y amplio conocimiento ecológico.
- Valorar y conservar la diversidad biológica.
- Garantizar la equidad en el acceso a las prácticas agrícolas apropiadas, al conocimiento y a la tecnología así como permitir el control local de los recursos agrícolas.

El agotamiento de las tierras de cultivo y la creciente población mundial, exigen controlar la sostenibilidad de las aportaciones agrícolas a la industria. Controlar la sostenibilidad de estos suministros significa controlar el funcionamiento económico, social y ambiental de la cadena de suministro (Beske et al., 2013).

### 3.8 Medición y Control de la Sostenibilidad en la Cadena de Suministro en el sector Agroalimentario

La medición y evaluación de la sostenibilidad de la cadena de suministro en base a indicadores que permitan comparar el nivel de sostenibilidad de distintas cadenas es una tarea compleja que varios autores han intentado resolver, sin dar una solución completamente robusta que englobe los tres enfoques de sostenibilidad. En el este apartado se lleva a cabo un estado del arte relativo a la investigación de distintos métodos para medir y evaluar la sostenibilidad de la cadena de suministro, que han sido desarrollados y/o estudiados hasta el momento. Aunque el objetivo del presente Trabajo Final de Máster no es evaluar la sostenibilidad de la cadena, este apartado aporta información y amplía ideas relacionadas con la sostenibilidad de la cadena, para con ello definir un sistema de trazabilidad en una CdS sostenible. Esto abre una posible vía para futuras investigaciones que puedan llegar a ampliar este tema en el contexto de la trazabilidad de la cadena de suministro.



En la actualidad, la sostenibilidad es un tema clave para muchas empresas privadas que abordan su desempeño corporativo sostenible. Sin embargo, la falta de normas internacionalmente aceptadas sobre qué, cuándo y dónde informar hace difícil evaluar la sostenibilidad. Falta un sistema de medición y presentación de datos generalmente aceptado (Gerbens-Leenes et al., 2003). Por lo tanto, existe una necesidad significativa de medir la sostenibilidad en toda la cadena de suministro (Sarkis et al., 2013).

Es necesario desarrollar **indicadores de desarrollo sostenible** que proporcionen bases sólidas para la toma de decisiones a todos los niveles y contribuyan a una sostenibilidad autorregulada de los sistemas integrados. Durante las últimas décadas, el desarrollo de indicadores de desarrollo sostenible ha sido popular entre los organismos públicos y privados a varios niveles. Las principales tendencias en la creación de indicadores han sido: la construcción de índices agregados (como la huella ecológica y el índice de sostenibilidad ambiental); formación de indicadores generales; y la aparición de indicadores orientados a objetivos determinados (tales como los Indicadores presentado por los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU) (Yakovleva, 2007).

La integración de los controles económicos, sociales y ambientales difieren de una cadena de suministro a otra. La naturaleza de los problemas ambientales y sociales puede ser muy diferentes de una cadena de suministro a otra. Por ejemplo, el exceso de nutrientes puede contaminar el agua del subsuelo. Esto es un reto que los granjeros de Europa y Norte América deben afrontar. Sin embargo, en las regiones del trópico, los granjeros deben evitar la degradación del suelo por falta de nutrientes. Se requieren medidas objetivas y verificables de sostenibilidad para guiar y reportar el desempeño de la cadena de suministro (Hamprecht et al., 2005).

Para ser coherente, cualquier **evaluación de la sostenibilidad** debe aplicarse a la cadena de suministro en su conjunto, en lugar de a una u otra parte de ella. De lo contrario, por ejemplo, se podrían perder los beneficios de la mejora del rendimiento medioambiental de los sistemas agrícolas (donde hasta la fecha se ha concentrado la mayor parte de la cadena de suministro de alimentos), si las etapas posteriores de elaboración o distribución ocasionan un incremento de residuos o de riesgos medioambientales. Por esta razón, los participantes en la cadena de suministro de alimentos más allá de la puerta de la granja, alentados por una mezcla de controladores de mercado y reguladores, han tratado de evaluar y mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro de alimentos (M & S, 1999, 2004; MAFF, 1999; Defra, 2001) (Hamprecht et al., 2005).

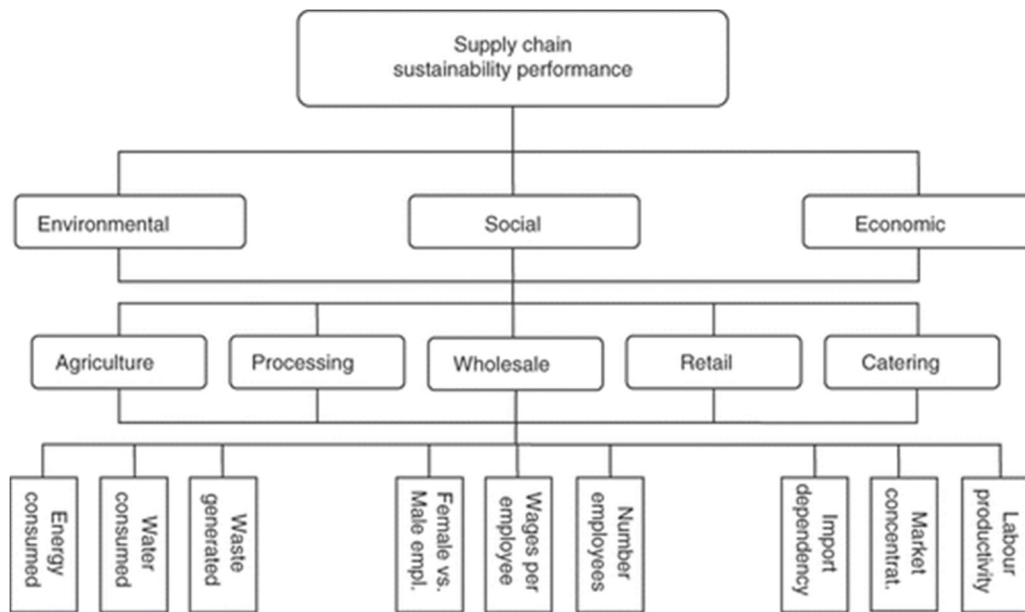


Figura 3: Jerarquía en la CdS del sector agroalimentario frente a las dimensiones de la sostenibilidad. Adaptada de (Natalia Yakovleva, 2011).

El control de la sostenibilidad del suministro presenta dos grandes desafíos. Primero, los controles deben ser revisados o ampliados regularmente, para asegurar la consideración de los nuevos hallazgos en investigación. Por ejemplo, la lista de herbicidas que se pueden recomendar a los agricultores necesita ser revisada regularmente, para asegurar que la protección de los cultivos tenga un impacto mínimo en la biodiversidad. En segundo lugar, los controles relacionados con aspectos de desempeño ambiental y social, deben integrarse con los controles económicos. A fin de garantizar la aplicación eficaz de los aspectos ambientales y de desempeño social, los controles del desempeño social y ambiental también deben vincularse estrechamente con otros controles de la cadena de suministro de alimentos, como la calidad, la seguridad de los alimentos y los costos. Siempre que sea posible, deben crearse sinergias en el proceso de control. Idealmente, un dato informativo de una cadena de suministro debe servir para varios propósitos, con el fin de minimizar el tiempo de recopilación de datos (Hamprecht et al., 2005).

Teniendo en cuenta las características de la cadena de suministro de alimentos, la evaluación de la sostenibilidad debe emplear cuatro grupos de indicadores que corresponden a etapas de la cadena de suministro: para la agricultura, para la transformación industrial, para la distribución de alimentos y el consumo de alimentos. Los indicadores de sostenibilidad deben ser capaces de evaluar varios temas dentro de cada etapa de la cadena de suministro de alimentos que tienen implicaciones significativas para la sostenibilidad, incluyendo, por ejemplo, los residuos, el transporte y el consumo de energía. Además, los indicadores deben ser capaces de proporcionar medios para comparar los efectos de la sostenibilidad de las diferentes estrategias de producción y consumo de alimentos. Esto podría lograrse comparando los impactos de estrategias competitivas como la cadena de suministro orgánica

frente a la cadena de suministro convencional y la cadena de suministro local frente a la cadena de suministro global (Yakovleva, 2011).

Gerbens-Leenes, Moll, & Uiterkamp, (2003) proponen un **método de medición para la sostenibilidad** ambiental utilizando un enfoque de sistemas. En primer lugar, dicho método evalúa la sostenibilidad ambiental de los procesos en las empresas. En segundo lugar, calcula la sostenibilidad de un sistema de producción. Revela los efectos ambientales generales relacionados con la producción de alimentos y amplía el “Sustainable Corporate Performance” (SCP) de una empresa individual hacia el SCP de todas las empresas que contribuyen a un sistema de producción. De esta manera, las empresas tienen una responsabilidad directa por los efectos relacionados con sus propias operaciones y una responsabilidad compartida por los efectos relacionados con la cadena. Tres indicadores abordan la cuestión de la sostenibilidad: (i) uso de la tierra, (ii) uso del agua y (iii) uso de la energía. Por ejemplo, MJ por Kg, o MJ per 1000kg por km. La cantidad de uso de la tierra, el uso del agua, y el uso de energía se puede calcular para cualquier empresa a lo largo de una cadena de producción de alimentos (Gerbens-Leenes et al., 2003). Sin embargo, Gerbens-Leenes, Moll, & Uiterkamp, (2003) únicamente se centran en la dimensión medioambiental, sin tener en cuenta la triple vertiente de la sostenibilidad.

Margot J. Hutchins & John W. Sutherland, (2008) comparan dos **marcos de sostenibilidad**. El primero de estos marcos, adoptado por la División de Naciones Unidas para el desarrollo sostenible (UNSD), mide el progreso hacia la sostenibilidad a través de indicadores que están atados a los objetivos del “Millenium Development” y los otros, las guías del reporte de sostenibilidad, enfatizan la sostenibilidad con un enfoque en la estandarización y procedimientos. El marco de la UNSD fue establecido para organizar y seleccionar indicadores de desarrollo sostenible. Este marco clasifica los indicadores, primero por la dimensión primaria del desarrollo sostenible (social, medioambiental y económico), a continuación, por temas (por ejemplo la educación) y por último por subtemas (por ejemplo, el alfabetismo). Los temas, dentro de la dimensión social de desarrollo sostenible son: igualdad, salud, educación, alojamiento, seguridad y población. Cada uno de los subtemas, tiene al menos uno, y tres indicadores cuantificables asociados con ello (Hutchins & Sutherland, 2008).

Tsuda y Takaoka, (2006) han propuesto un **índice de sostenibilidad** comprensible, el índice “gross-social feel-good” (GSF). Este índice está compuesto de seis índices, centrados en el medioambiente, economía, seguridad, salud, confort y felicidad. El énfasis de su trabajo está centrado en los índices de seguridad, salud y confort. Por otro lado, Labuschagne y Brent intentaron determinar el “social footprint” (análogo al “environmental footprint”) asociado con tres proyectos y usando sus propias métricas, no pudieron calcular todos los indicadores que propusieron (Hutchins & Sutherland, 2008). Los indicadores propuestos por Margot J. Hutchins & John W. Sutherland, (2008) están dirigidos a evaluar y medir únicamente la dimensión social de sostenibilidad.

Cada indicador ha sido construido de forma que incrementa según mayores sean los logros en sostenibilidad social. Está reconocido que estos cuatro indicadores no cubren totalmente todas las dimensiones de la sostenibilidad social. Sin embargo, están orientados a un espectro de necesidades sociales y humanas, desde un nivel básico a uno más elevado, y

por tanto representa un punto de partida para evaluar la sostenibilidad social en las cadenas de suministro (Hutchins & Sutherland, 2008).

Según Yakovleva, (2011) existen varios niveles en los que podría aplicarse la evaluación y medición de la sostenibilidad: a nivel nacional o regional (por ejemplo, marco de la ONU, huella ecológica); a nivel industrial (por ejemplo, LCA, enfoque modular, eco-eficiencia); y en un nivel firme (por ejemplo, eco-eficiencia, sostenibilidad corporativa, desempeño ambiental corporativo). Además, se han desarrollado algunos marcos específicos de evaluación para el sector alimentario (Yakovleva, 2011).

El conjunto desarrollado de indicadores de sostenibilidad debe considerarse en conjunto con el modelo de los insumos y productos del sistema de consumo y producción de alimentos, esbozados en la Figura 4.

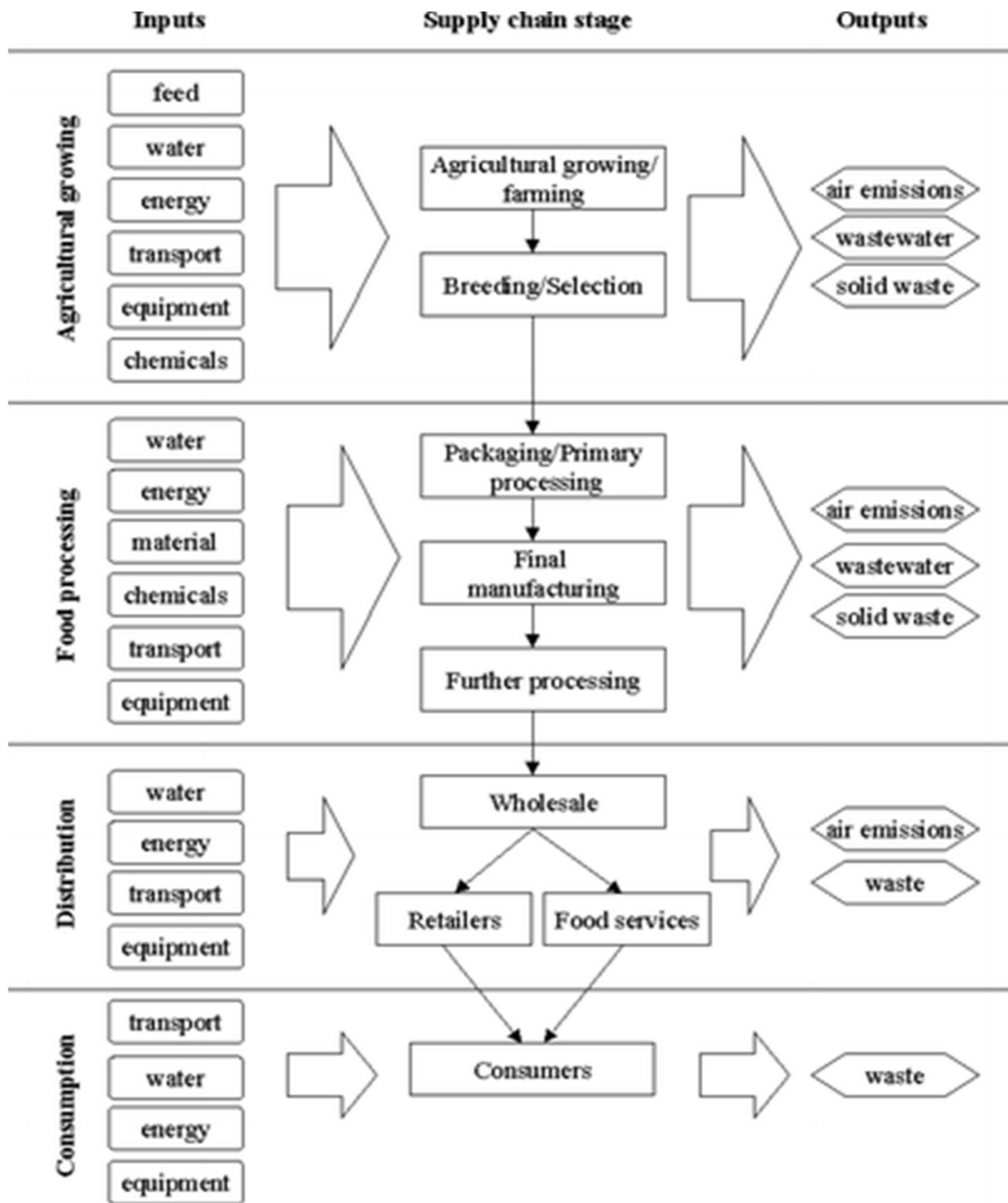


Figura 4: "Inputs and Outputs" de la cadena de suministro en el sector agroalimentario. Adaptada de Yakovleva, 2011.

A diferencia de los autores mencionados anteriormente, Yakovleva (2011) introduce las tres dimensiones de sostenibilidad en la definición de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en la cadena de suministro en el sector agroalimentario.

Schaltegger & Burritt, (2014) desarrollan un marco analítico para la evaluación de enfoques de medición y gestión del desempeño de sostenibilidad de las cadenas de suministro. Muy pocas investigaciones sobre esta cuestión han sido desarrolladas.

Dentro del marco analítico mencionado, Schaltegger & Burritt, (2014) proponen coeficientes proporcionados por la huella de carbono de un producto ( $\text{CO}_2$  / unidad de producto), la intensidad de material de un producto (toneladas de materiales / unidad de producto), o la intensidad energética de un producto (insumo de energía / unidad de producto). Estos son ejemplos de las medidas de rendimiento relativas de eco-eficiencia y socio-eficiencia de una cadena de suministro completa. Medidas de rendimiento similares pueden aplicarse en cada paso de la cadena de suministro.

Otros autores mencionan la huella ecológica (la distancia que el alimento viaja de la granja al consumidor) como un indicador importante de la sostenibilidad de la producción y de la distribución del alimento.

La selección de indicadores, sin embargo, no sugiere que no haya compensaciones entre los criterios de sostenibilidad seleccionados. Por ejemplo, si bien el aumento de la concentración del mercado reduce las posibilidades de competencia en el mercado libre, puede conducir a una reducción del uso de los recursos naturales debido a las economías de escala, pero por otro lado, puede conducir a una disminución del número de puestos de trabajo (Yakovleva, 2011).

### 3.8.1 Ejemplo: comparación del nivel de Sostenibilidad entre dos Cadenas de Suministro

En la revisión realizada de la literatura, se ha encontrado un único artículo que realiza una comparativa de la sostenibilidad de dos Cadenas de Suministro de productos alimenticios diferentes: Yakovleva, 2007 y otro artículo posterior que complementa al primero Yakovleva, Sarkis & Sloan, 2013. Se trata de las Cadenas de Suministro de patatas y pollos de engorde en el Reino Unido. La comparativa se lleva a cabo según el procedimiento de evaluación de indicadores propuestos por Sarkis, Yakovleva & Sloan, 2013. Para realizar la evaluación comparativa se consideran diferentes objetivos relacionados con la sostenibilidad medioambiental, social y económica y se seleccionaron diferentes criterios de medida en cada etapa de la cadena para obtener finalmente un único indicador usando ponderaciones.

El estudio mostrado supone un punto de partida importante para la evaluación comparativa de la sostenibilidad en cadenas de suministro para el sector agroalimentario. Sin embargo, presenta varios puntos a tener en cuenta, si se pretende estandarizar el método comparativo para uso global. Principalmente, la ponderación con índices de importancia de los indicadores seleccionados y la influencia de los propios actores de las cadenas de suministro

en dichas ponderaciones, hace que el método y por tanto sus resultados no sean objetivos, ni imparciales. Además, tampoco se aplica el mismo peso en importancia a las tres vertientes de la sostenibilidad, económica, ambiental y social y esto contradice a la propia definición de sostenibilidad. También cabe señalar, la dificultad de comparar cadenas de suministro de productos con procesos totalmente diferentes como son la patata y el pollo, así como, la dificultad de recopilar toda la información requerida de una forma fiable y transparente.

## 4. La Trazabilidad en la SC

En los sub-apartados presentados a continuación, se define la trazabilidad en la cadena de suministro y concretamente la trazabilidad en la SC en el sector agroalimentario, así como sus características, particularidades, tendencias, sistemas aplicados en la actualidad y normativa a cumplir. Con ello, se pretende disponer de una base informativa que sirva de apoyo para definir las bases de un sistema de trazabilidad para una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario

### 4.1 Definición de Trazabilidad

Actualmente, la trazabilidad está teniendo nuevas aplicaciones en base a nuevos conceptos que se centran en registrar, no sólo el origen de los productos, sino también, nuevos parámetros integrados de lo que se conoce como logística inteligente. De esta forma, es posible saber la calidad del producto y por tanto, mejorar el diseño de la cadena y del flujo de productos. La conexión entre identificadores o registradores de sucesos permite una trazabilidad dinámica, de calidad y ajustada, y que lleva a la posibilidad de alcanzar un sistema de trazabilidad homogéneo (Aung & Chang 2014).

En el futuro se espera tener la información de trazabilidad totalmente centralizada a lo largo de la CdS, siendo posible tener acceso en cualquier momento a dicha información para actuar en caso necesario. Parece ser, que esta posibilidad aún está lejos de llegar, ya que se ha probado que la trazabilidad continua durante la CdS es difícil de alcanzar (Aung & Chang 2014).

A continuación se muestran diferentes definiciones del concepto de trazabilidad, tal y como están recogidas en las normas internacionales, seguidas de definiciones y conceptos encontrados en la literatura.

En la Organización Internacional de Normalización (ISO) 8402 (ISO, 1994) se encuentra una definición antigua, práctica y frecuentemente utilizada de **trazabilidad**, en la que la queda definida como: "La capacidad de rastrear el historial, la aplicación o la ubicación de una entidad mediante identificaciones registradas" (Aung and Chang 2014; Olsen and Borit 2013). Esta definición establece claramente lo que debe ser rastreado (historia, aplicación y ubicación) y también cómo debe realizarse el rastreo (mediante identificaciones registradas). Sin embargo, esta definición es recursiva y, por tanto, incompleta ya que está relacionada con el hecho de que la trazabilidad se define utilizando el término rastrear, y en concreto ese término no queda

definido. Un problema adicional es que la ISO 8402 fue retirada y reemplazada por ISO 9000 que utiliza una definición diferente de trazabilidad (Olsen et al., 2013).

La ISO 9000 (ISO, 2000) tiene una definición ligeramente menos específica de trazabilidad: "La capacidad de rastrear la historia, la aplicación o la ubicación de lo que se está considerando". En esta nueva definición, el fragmento "por medio de identificaciones registradas" ha sido eliminado (Olsen et al., 2013).

La definición ISO 22005 (ISO, 2005) es igual que la definición ISO 9000, pero ISO 9000 es un estándar para sistemas de gestión de calidad en general, mientras que ISO 22005 es un estándar específico para la **trazabilidad en la cadena alimentaria**. ISO 22005 añade que deben evitarse términos tales como: "rastreadibilidad de documentos", "trazabilidad de equipos" o "trazabilidad comercial". Para todas estas definiciones ISO (ISO 8402, ISO 9000, ISO 22005) existe una cláusula adicional, que establece que cuando se trata de productos, la trazabilidad implica específicamente 'el origen de materiales y partes, el historial de procesamiento y la distribución y ubicación del producto después de la entrega' (Olsen et al., 2013).

Por otro lado, la definición de trazabilidad más extensa en el diccionario, se encuentra en el diccionario en línea de Webster (WOD) (Webster's Online Dictionary, 2012), donde se dan definiciones de dominio, expresiones especiales y definiciones extendidas. Bajo el dominio "Medio ambiente" WOD, que menciona 'la capacidad de rastrear el historial, la aplicación o la ubicación de un elemento, datos o muestra utilizando documentación grabada', que está muy cerca de la definición ISO 8402, incluida la recursividad. WOD agrega: "La trazabilidad se refiere a la integridad de la información sobre cada paso en una cadena de proceso", "La trazabilidad es la capacidad de relacionar cronológicamente las entidades identificables de una manera que importa", "La trazabilidad es la capacidad de verificar la historia, localización o aplicación de un artículo por medio de una identificación registrada" (Olsen et al., 2013).

Cheng y Simmons, (1994) describen la **trazabilidad** como 'la capacidad de reconstruir pasos y verificar que ciertos eventos han tenido lugar', mientras que Opara y Mazaud, (2001) presentan la trazabilidad como 'la recolección, documentación, mantenimiento y aplicación de la información relacionada con todos los procesos de la cadena de suministro, de manera que garantice al consumidor el origen y el ciclo de vida de un producto'. Bollen, Riden y Opara, (2006) tienen otro concepto de trazabilidad, que definen como 'los medios por los cuales se proporciona información'. Sin embargo, García, Santos y Windels, (2008) definen la trazabilidad como 'la capacidad de trazar todos los elementos que pueden considerarse lo suficientemente relevantes para la organización dentro de un proyecto particular o producto de software' (Karlsen et al. 2013)

En la literatura, la definición de trazabilidad también se divide en diferentes tipos. Lindwall y Sandahl, (1996) diferencian entre trazabilidad horizontal y trazabilidad vertical, donde la trazabilidad horizontal es la capacidad 'de rastrear los elementos correspondientes entre diferentes modelos', y la trazabilidad vertical es la capacidad 'de rastrear elementos dependientes dentro de un modelo'. Moe, (1998) proporciona otra descripción de los diferentes tipos de trazabilidad: "la trazabilidad de la cadena es la capacidad de rastrear un lote de productos y su historia a través de la totalidad o parte de una cadena de producción desde la cosecha u origen hasta el transporte, almacenamiento y procesado, distribución y



ventas". Por otro lado, la trazabilidad interna ha sido definida como: "la capacidad de rastrear en cada uno de los eslabones de la cadena" (Karlsen et al. 2013).

Storøy et al. (2008) adoptan una visión similar de la trazabilidad, pero la describen con más detalle. Afirman que las unidades comerciales deben ser identificadas de manera única y que la información adicional debe estar vinculada a estas unidades, a través del número de identificación único, y que deben registrarse todas las transformaciones (división y uniones). Las transformaciones son puntos en los que los recursos se mezclan, se transfieren, se agregan y / o se dividen (Derrick & Dillon, 2004; Karlsen et al., 2013). Las relaciones entre las unidades rastreables pueden ser uno a uno, muchos a uno, uno a muchos o muchos a muchos. Identificar unidades trazables y relaciones de transformación es la clave para rastrear un producto internamente y / o en las cadenas de suministro (Storøy et al., 2008; Karlsen et al., 2013). La información del producto se puede vincular al número de identificación de unidades trazables (Karlsen et al. 2013).

Bianchi, Fasolino y Visaggio (2000) dividen la trazabilidad en tres dimensiones: 1) 'trazabilidad vertical y horizontal' (si la interconexión entre elementos está en el mismo modelo de software o en diferentes modelos), 2) 'enlaces explícitos o implícitos' (tipos de enlaces entre los elementos), y 3) 'vínculos estructurales o cognitivos' (descripción más detallada del enlace implícito) (Karlsen et al. 2013).

Olsen y Borit (2013) dan su propia definición de trazabilidad: "capacidad o habilidad para acceder a parte o toda la información relacionada con lo que tenga que considerarse, a lo largo de su ciclo de vida completo y a partir de identificaciones registradas o guardadas" (Badia-Melis et al., 2015).

Karlsen, Olsen y Donnelly (2010) destacaron que la trazabilidad no es la información del producto y proceso en sí, sino una herramienta que hace posible encontrar esta información nuevamente en una fecha posterior. La trazabilidad se define como: "una herramienta para rastrear y seguir", "una herramienta para la recuperación de información", "un sistema de mantenimiento de registros" y "una parte de la gestión logística". Algunas definiciones no mencionan que la trazabilidad puede funcionar bidireccionalmente a lo largo de las cadenas de suministro (Aung & Chang 2014).

La trazabilidad sólo puede lograrse con éxito si se basa en estándares globales que permitan la interoperabilidad entre los sistemas de trazabilidad en toda la cadena de suministro. El estándar GS1 de trazabilidad global es un estándar de proceso de negocio voluntario que describe el proceso de trazabilidad independientemente de la elección de tecnologías habilitadoras. Cumple con las necesidades legislativas y empresariales básicas para realizar un seguimiento y seguimiento económico en cualquier punto, a lo largo de toda la cadena de suministro. Debido a su capacidad de proporcionar una identificación única a nivel mundial de artículos comerciales, activos, unidades logísticas, partes y ubicaciones, el sistema GS1 es particularmente adecuado para ser utilizado con fines de trazabilidad (GS1, 2009). EPC global Inc., una subsidiaria de GS1, soporta la adopción global de los Servicios de Información del Código de Productos Electrónicos (EPCIS), que es una norma diseñada para permitir el intercambio de datos relacionados con el EPC dentro y entre empresas (EPCglobal, 2009; Aung & Chang, 2014).

Thakur y Donnelly hablan de los obstáculos a superar en la implementación de la trazabilidad. Los obstáculos pueden verse en dos categorías: organizativa y tecnológica. En las redes de la cadena de suministro, la transparencia entre los actores de la cadena de suministro es importante para el intercambio de datos. Cada actor es responsable de mantener y comunicar su propia información de producto, proceso y transformación. Existe una preocupación constante por mantener un equilibrio entre la transparencia útil y la confidencialidad de la información de cada entidad en la cadena (Thakur & Donnelly, 2010; Aung & Chang, 2014).

## 4.2 Trazabilidad en la CdS en el sector Agroalimentario

Hoy en día, la distancia que los alimentos transitan desde el productor hasta el consumidor ha aumentado como resultado de la globalización en el comercio de alimentos. Por lo tanto, mantener la seguridad y la calidad a lo largo de la cadena de suministro de alimentos se ha convertido en un reto importante. Durante las dos últimas décadas, la credibilidad de la industria alimentaria fue duramente desafiada después de una serie de crisis y escándalos alimentarios (Aung & Chang 2014).

Se ha descubierto que los problemas de seguridad en los alimentos pueden asociarse al hecho de tratarse de CdS globales y que algunas de las áreas de intervención para minimizar los problemas de seguridad, pueden atribuirse a los sistemas de trazabilidad y gestión de reclamos (Mattevi et al., 2016).

Los consumidores también exigen pruebas verificables de la trazabilidad, como criterio importante de calidad y seguridad de los alimentos. Para hacer frente a estos requerimientos, existe la necesidad de un sistema de trazabilidad que proporcione información sobre el origen, procesado, venta al por menor y destino final de los productos alimenticios (Bertolini et al., 2006; Peres et al., 2007; Aung & Chang, 2014). Para el suministro de alimentos de alta calidad, inocuos y nutritivos, así como, para reconstruir la confianza del público en la cadena alimentaria, el diseño y la implementación de la trazabilidad de toda la cadena desde la granja hasta el usuario final, se ha convertido en una parte importante del sistema general de garantía de la calidad alimentaria (Opara, 2003; Aung & Chang, 2014). La FAO (2003) declaró que la gestión de la inocuidad y la calidad de los alimentos son una responsabilidad compartida de todos los agentes de la cadena alimentaria, incluidos los gobiernos, la industria y los consumidores (Aung & Chang 2014).

La trazabilidad en el sector de la alimentación pretende ser utilizada como una protección potencial para los consumidores, en base a la retirada de productos, así como, a la eliminación de alimentos no consumibles. También pretende ser utilizada, para promover la investigación de las causas de los problemas de seguridad en los alimentos.

La aceptación mundial de la trazabilidad en alimentación incrementa el fortalecimiento de la fe de la comunidad global (Badia-Melis et al., 2015). Algunos ejemplos son:

- **“Patagonia traces in Argentina”** (Welt & Blanchfield, 2012; Badia-Melis et al., 2015),
- el emergente GS1 Australia con **“Efficient Consumer Response Australasia(ECRA)”** apoyado por el **“Australian Food & Grocery Council (AFGC)”** y otras agencias gubernamentales clave y departamentos para establecer un portal para la retirada de todos los productos (Australia GS1, 2010; Badia-Melis et al., 2015),
- el **“National Agriculture & Food Traceability System (nAFTS, 2013)”** en Canadá,
- la acogida del Internet de las Cosas y el establecimiento del centro de una futura nube computacional en el distrito Jinshan de Shanghai para asegurar la trazabilidad en la alimentación en China (Anon, 2011; Badia-Melis et al., 2015),
- la Unión Europea regulación no. 178/2002 y **“EU Rapid Alert System for Food Feed (RASFF)”**, también el uso del software de rastreo y seguimiento **“Grapenet”** para la exportación de uva desde India a la Unión Europea (Buiji, 2012; Badia-Melis et al., 2015),
- la introducción del sistema completo de trazabilidad de la carne de vaca en Korea (ITC, 2011),
- o el **“US Bioterrorism Act”** (2001, H.R. 3448) y **“The Food Modernization & Safety Act”** (FMSA, 2011. H.R 2751) en USA.

Los sistemas de trazabilidad ayudan a las empresas a aislar la fuente y el alcance de los problemas de seguridad o control de calidad. Cuanto más preciso sea el sistema de rastreo, un productor podrá identificar y resolver problemas de inocuidad o calidad de los alimentos más rápido (Golan et al., 2004; Aung & Chang, 2014).

Además, la trazabilidad también puede ser vista como una herramienta estratégica para mejorar la calidad de las materias primas (Galvão et al., 2010; Aung & Chang, 2014), así como, mejorar la gestión de inventario, como una forma de ventaja competitiva (Alfaro & Rábade, 2009; Aung & Chang, 2014).

En la literatura existente se relaciona la trazabilidad en el sector de la alimentación principalmente con la calidad y seguridad de los alimentos (además de la gestión de inventario). La trazabilidad se presenta mayoritariamente como una herramienta a utilizar para minimizar problemas en calidad y seguridad alimentaria, así como, para detectar las causas que originan dichos problemas. Los sistemas de trazabilidad, pretenden ser utilizados como garantía de calidad para los consumidores. Sin embargo, en la literatura encontrada al

respecto, no se menciona el concepto de sostenibilidad en la trazabilidad de la cadena de suministro alimentaria.

A continuación, se define el concepto de trazabilidad en el sector agroalimentario y sus tendencias actuales. Con dicha información, se pretende posteriormente hacer una propuesta de trazabilidad de la CdS sostenible en el sector agroalimentario.

#### 4.2.1 Definición de Trazabilidad en el sector Agroalimentario

Varias definiciones de trazabilidad y clasificaciones que provienen de organizaciones, legislaciones y literatura de investigación, se presentan a continuación:

El Reglamento de la Unión Europea (UE) 178/2002 (UE, 2002) restringe la definición a la industria alimentaria al definir la trazabilidad como: "la capacidad de rastrear y seguir a un alimento, pienso, animal productor de alimentos o sustancia que pretende ser incorporada en un alimento o pienso, a través de todas las etapas de producción, procesado y distribución". La Comisión del Codex Alimentario (CAC, 2005) aporta una definición más concisa de la trazabilidad: "la capacidad de seguir el movimiento de un alimento a través de etapas específicas de producción, procesado y distribución" (Aung & Chang 2014; Olsen et al., 2013).

Las definiciones ISO definen la trazabilidad genérica y no especifican los productos alimenticios (Aung & Chang 2014).

La revisión de la literatura demuestra que no existe un entendimiento común en las definiciones y los principios de trazabilidad, así como, tampoco existe un sólido marco teórico común, con respecto a la implementación de la **trazabilidad de los alimentos**. El hecho de no existir un marco teórico común afecta al proceso de implementación de la trazabilidad en la industria alimentaria. Con un marco teórico común, los estudios de trazabilidad podrían ser más similares y los procesos de implementación podrían orientarse hacia la eficiencia y hacia determinados objetivos concretos (Karlsen et al. 2013).

La capacidad de rastrear (trazar) productos significa, que el flujo de material e información dentro de una empresa y / o a través de una cadena de suministro puede ser seguido. Los escándalos en alimentación de los años noventa llevaron a la incorporación de la trazabilidad, en la reglamentación de alimentos (Karlsen et al. 2013).

La definición de la trazabilidad de los alimentos encontrada en la literatura, es diferente dependiendo del sector de la industria alimentaria a la que se refiera. Para la cadena de suministro del sector agroalimentario, Wilson y Clarke, (1998) definieron la trazabilidad de los alimentos como: "la información necesaria para describir la historia de la producción de un cultivo alimenticio y cualquier transformación o proceso posterior, al que el cultivo podría estar sujeto desde el productor hasta el consumidor". En cambio, Dalvit et al., (2007) y McKean, (2001) definen la trazabilidad como: "un sistema capaz de mantener una custodia creíble de la identificación de animales o productos animales, a través de varias etapas dentro de la cadena alimenticia, desde la granja hasta el minorista" (Aung & Chang 2014).

Bosona y Gebresenbet (2013) definen la trazabilidad como: “parte de la gestión logística que captura, almacena y transmite información adecuada sobre un alimento, alimentación de animales, animales de producción de alimentos o sustancias en todas las etapas de la CdS alimenticia, de tal forma que el producto puede ser comprobado por un control de seguridad y calidad, rastreado aguas arriba y abajo de la cadena en cualquier momento”(Mattevi and Jones 2016).

Considerando las definiciones anteriores relacionadas con la trazabilidad y la trazabilidad en la CdS en el sector agroalimentario, se propone como definición de trazabilidad en la CdS en el sector *agroalimentario*, la herramienta que forma parte de la gestión logística capaz de seguir, capturar, almacenar y transmitir información sobre unidades trazables de un alimento, pienso, animal productor de alimentos o sustancia que forma parte de un alimento o pienso, en cada una de las etapas de la CdS alimenticia, de tal forma que el producto y la información relativa al mismo, pueda ser rastreado en cualquier punto de la cadena y en cualquier momento. Las unidades comerciales deben ser identificadas de manera única y la información debe estar vinculada a dichas unidades a través del número de identificación único.

#### 4.2.2 Características y elementos de la Trazabilidad en el sector Agroalimentario

Un organismo independiente de vigilancia de la inocuidad de los alimentos, “Food Standard Agency” (FSA, 2002) identificó tres características básicas para los **sistemas de trazabilidad** (Aung & Chang, 2014):

- 1) Identificación de unidades / lotes de todos los ingredientes y productos,
- 2) Información sobre cuándo y dónde se mueven y transforman,
- 3) un sistema que vincula estos datos. Para habilitar la trazabilidad, una entidad a rastrear debe ser una unidad de recursos rastreables (TRU). Existen tres tipos de unidades rastreables: lote, unidad comercial y unidad logística (Aung & Chang 2014).

La trazabilidad puede clasificarse en función de la actividad o la dirección en la que se recupera la información de la cadena alimentaria. Dependiendo de la actividad de la cadena alimentaria, se pueden distinguir tres tipos diferentes de trazabilidad: “*back traceability*” o trazabilidad de proveedores, trazabilidad interna o de proceso y “*forward traceability*” o trazabilidad de cliente (Perez-Aloe et al., 2007; Aung & Chang, 2014). Dependiendo de la dirección en la que se recupera la información en la cadena, la “*backward traceability*” es la capacidad, en cada punto de la cadena de suministro, de encontrar el origen y las características de un producto en base a uno o varios criterios dados. Por el contrario, la “*forward traceability*”, es la capacidad, en cada punto de la cadena de suministro, para encontrar la localización de los productos, en base a varios criterios dados. Es importante que un sistema de información apoye ambos tipos de trazabilidad, ya que la efectividad de una de ellas no implica necesariamente la efectividad de la otra (Kelepouris et al., 2007; Aung & Chang, 2014). Según Jansen-Vullers, Van Drop y Beulens (2003), la trazabilidad puede ser vista en un

sentido pasivo y en un sentido activo, en función de su uso. En el sentido pasivo, la trazabilidad proporciona la visibilidad de dónde están los elementos en todo momento y de su disposición. Pero en un sentido activo, la información de seguimiento en línea se utiliza adicionalmente para optimizar y controlar los procesos en y entre los diferentes eslabones de la cadena de suministro, además de mantener registros históricos mediante una identificación registrada (Aung & Chang 2014).

Opara (2003) clasificó la trazabilidad en seis elementos importantes: trazabilidad del producto, trazabilidad del proceso, trazabilidad genética, trazabilidad de los insumos, trazabilidad de las enfermedades y plagas, y trazabilidad de la medición centrada en la cadena agroalimentaria (Aung & Chang 2014).

Según Opara (2003), la **trazabilidad** consta de seis elementos:

- 1) "trazabilidad del producto" (que determina la ubicación física de un producto)
- 2) "trazabilidad del proceso" (que determina el tipo y secuencias de actividades que han afectado al producto)
- 3) "trazabilidad genética" (que determina la constitución genética del producto)
- 4) "rastreadabilidad de los insumos" (que determina el tipo y origen de los insumos)
- 5) "trazabilidad de las enfermedades y plagas" (Plagas y peligros bióticos)
- 6) "trazabilidad de las mediciones" (que relaciona los resultados de las mediciones individuales con una cadena ininterrumpida de calibraciones con normas de referencia aceptadas) (Karlsen et al. 2013).

Olsen y Borit, (2013) definen las características y propiedades que debe tener un sistema de trazabilidad. Éstas se detallan a continuación:

1. Los ingredientes y las materias primas deben agruparse de alguna manera en unidades con propiedades similares, lo que Moe (1998) y Kim, Fox y Grüniger (1999) denominan "unidades de recursos trazables".

2. Los identificadores deben ser asignados a estas unidades. Idealmente, estos identificadores deben ser únicos en todo el mundo y nunca reutilizados, pero en la práctica la trazabilidad en la industria alimentaria depende de identificadores que sean únicos dentro de un contexto dado (típicamente son únicos para un día dado, para la producción de un tipo de producto dado y para una empresa determinada).

3. Las propiedades del producto y del proceso deben registrarse, directa o indirectamente (por ejemplo, mediante una marca de tiempo), vinculadas a estos identificadores.

4. Debe existir un mecanismo para obtener acceso a estas propiedades.

Todos estos requisitos son necesarios para la trazabilidad de los productos alimenticios.

Podemos concluir que un sistema de trazabilidad para los productos alimenticios debe tener las siguientes propiedades:

- Debe ser capaz de proporcionar acceso a todas las propiedades de un producto alimenticio, no sólo aquellas que pueden ser verificadas analíticamente.

- Debe ser capaz de proporcionar acceso a las propiedades de un producto o ingrediente alimentario en todas sus formas, en todos los eslabones de la cadena de suministro, no sólo en el nivel del lote del producto.

- Debería facilitar la trazabilidad tanto hacia atrás (origen de los productos alimenticios), como hacia adelante (hacia dónde se dirigen).

- La trazabilidad debe basarse en grabaciones sistemáticas e intercambio de éstas. Hay muchas propiedades relevantes que pueden perderse si no hay un sistema de mantenimiento de registros y una forma de distribuir / compartir la información.

- En la práctica, esto significa que debe estar presente un sistema de identificación de unidades o de numeración.

Se propone considerar como información a tener en cuenta en la trazabilidad de la cadena de suministro alimenticia los elementos propuestos por Opara (2003) mencionados anteriormente: trazabilidad del producto, trazabilidad del proceso, trazabilidad genética, trazabilidad de los insumos, trazabilidad de las enfermedades y plagas, y trazabilidad de la medición centrada en la cadena agroalimentaria.

Cabe destacar que la transparencia entre los actores de la cadena de suministro es importante para el intercambio de datos. Cada actor es responsable de mantener y comunicar su propia información de producto, proceso y transformación.

### 4.2.3 Tendencias Trazabilidad en el sector Agroalimentario

En los últimos años, el mundo se ha vuelto más global, la trazabilidad de los alimentos ha ganado importancia, los métodos tradicionales no son suficientes para ciertos productos y la necesidad de obtener datos e información de los alimentos ha aumentado (Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015).

Pizzuti, Mirabelli, Sanz-bobi y Gómez-González, (2014) escriben sobre la falta de habilidad de conectar los registros de las CdS alimenticias que caracterizan los sistemas de trazabilidad existentes, también describen la falta de exactitud y errores en los archivos y retrasos en la obtención de información esencial. El acceso a esta información es clave en caso de un brote de enfermedad alimentaria y es necesaria para el trabajo de los agentes de seguridad alimenticia (Badia-Melis et al., 2015).

Uno de los mayores desafíos con la trazabilidad de la cadena de suministro es el intercambio de información en un formato estandarizado entre varios enlaces de la cadena. Esta información debe ser intercambiada de manera precisa, efectiva y electrónica (FSA, 2002; Moe, 1998; Aung & Chang, 2014).

La forma de adquirir y transmitir la información se está volviendo más estandarizada, gracias a conceptos como el marco **“Trace Food”** (Aung and Chang 2014). Hay una necesidad de cambio, en la que todos los agentes de la CdS ganan, hay nuevas tendencias en la trazabilidad en el sector de alimentación centradas en mejorar los procesos, tales como, **“Food track and Trace Ontology (FTTO) and Critical Tracking Point (CTE)”** combinados dentro del marco **“TraceFood”**, pueden proporcionar nuevos avances para mejorar la eficiencia y compatibilidad de los sistemas de trazabilidad presentes. Por un lado, el **“Critical Tracking Event”** proporciona un sistema de trazabilidad en alimentación rápido y efectivo (Mcentire et al., 2010) con seguridad en términos de propiedad de información, y **“Food Track and trace Ontology”** proporciona integración entre bases de datos heterogéneas permitiendo la interoperabilidad entre diferentes sistemas (Pizzuti et al., 2014), lo cual no es un hecho común en la trazabilidad en el sector de la alimentación. Por otra parte, el marco **“TraceFood”** proporciona principios y guías para implementar la trazabilidad en cadenas de valor de la alimentación. La creciente difusión de nuevas tecnologías junto con la disponibilidad de nuevos sistemas computacionales y modelos de simulación parece ser una mejora significativa del valor presente de la trazabilidad en los alimentos, que puede resolver problemas de falta de comunicación entre agentes y proporcionar una línea sólida y homogénea de trabajo, en lugar de tener una variedad completa de reglas totalmente heterogéneas (Badia-Melis et al., 2015).

Por otro lado, los estándares de **“Trace Fish”** (2011), ISO-12875: 2011 (2011) y el marco **“Trace Food”** (2012): Los requisitos previos para lograr la trazabilidad son la identificación única de unidades rastreables y registro de transformaciones. Los estándares de **“Trace Fish”** son especificaciones de la información que se debe registrar en las cadenas de distribución de pescado y pescado de crianza. **“Trace Food”** es un marco que comprende principios, estándares y métodos para implementar la trazabilidad en la industria alimentaria. El marco de



“Trace Food” (2012) divide las unidades rastreables en 1) lote, 2) unidad de comercio (TU), y 3) unidad logística (LU) (Karlsen et al. 2013).

En el trabajo de investigación de Pituzzi et al., (2014), la Ontología de FTTO propuesta es incluir los conceptos de los alimentos más representativos involucrados en una CdS juntos en una sola jerarquía ordenada, capaz de integrar y conectar las principales características del dominio de trazabilidad de los alimentos (Pizzuti et al., 2014).

En este contexto, las ontologías pueden utilizarse para integrar bases de datos heterogéneas y posibilitar la interoperabilidad entre diferentes sistemas, ya que se necesita un vocabulario coherente para buscar y unificar información sin ambigüedades de múltiples fuentes (Jagadish, 1990; Pizzuti et al., 2014).

La eficiencia de un sistema de trazabilidad depende de la capacidad de rastrear cada producto individual y unidad de distribución (logística), de manera que permita el monitoreo continuo de la producción primaria (por ejemplo, recolección, captura y retiro) hasta su disposición final por el consumidor. Los esquemas de trazabilidad se pueden dividir en dos tipos: rastreabilidad logística que sigue solamente al movimiento físico del producto y trata a los alimentos como un producto y trazabilidad cualitativa que asocia información adicional relacionada con la calidad del producto y la seguridad del consumidor, tales como pre-cosecha y poscosecha Técnicas, condiciones de almacenamiento y distribución, etc. (Folinas et al., 2006; Aung & Chang, 2014).

La cadena alimentaria que demanda tanto logística como **rastreabilidad cualitativa** es la cadena de suministro fría en la que los alimentos son artículos perecederos y muy sensibles a las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y la luz, etc. La capacidad de recopilar esta información y usarla para garantizar la calidad del producto en tiempo real, proporciona beneficios tangibles para la industria alimentaria. Además, proporciona una mayor seguridad de la calidad del producto y permite una rápida identificación de los problemas. Por lo tanto, puede reducir el desperdicio de alimentos y el deterioro. También proporciona el mecanismo para comunicar al consumidor la diligencia con la que opera la empresa (Wilson & Clarke, 1998; Aung & Chang, 2014).

La trazabilidad se refiere a muchos productos de la industria alimentaria. Los productos a granel son más difíciles de rastrear que los productos frescos. Los productos como grano, café, aceite de oliva, arroz y leche de varias granjas se combinan en silos y tanques de almacenamiento, lo que dificulta el rastreo a sus fuentes (IFT, 2009). Una serie de marcos y modelos propuestos para la trazabilidad se encuentran en la literatura de investigación. Sin embargo, no existe un marco teórico común con respecto a la implementación de la trazabilidad de los alimentos (Karlsen et al., 2013; Aung & Chang, 2014).

La siguiente sección describe los factores de la trazabilidad de los alimentos identificados en la literatura.

En la literatura, se han identificado diez factores de trazabilidad de los alimentos:

- 1) Legislación (Bollen, 2004, Opara y Mazaud, 2001, Schröder, 2008, Schwagele, 2005, Sebestyen et al., 2008, Senneset et al., 2007, Skoglund & Dejimek, 2007; Karlsen et al., 2013)
- 2) Seguridad alimentaria (Elbers et al., 2001; Moe, 1998; Karlsen et al., 2013)
- 3) Calidad de la alimentación (Frederiksen, et al., 2002; Galvão et al., 2010; Riden & Bollen, 2007; Wang & Li, 2006; Zadernowski et al., 2001; Karlsen et al., 2013)
- 4) La **sostenibilidad** (Roheim & Sutinen, 2006; Schmid & Connelly, 2009; Karlsen et al., 2013)
- 5) El bienestar (Madec et al., 2001; Bevilacqua et al., 2009; Frosch et al., 2008; Roheim & Sutinen, 2006; Schmid & Connelly, 2009; Karlsen et al., 2013)
- 7) Ventajas competitivas (Sant'Ana et al., 2010; Karlsen et al., 2013)
- 8) Amenazas bioterroristas (Olson, 2005; Thakur et al., 2010; Thompson et al., 2005; Karlsen et al., 2013)
- 9) La optimización de la producción (Ruiz-Garcia et al., 2010; Karlsen et al., 2013)

En los últimos años, la trazabilidad de los alimentos ha ganado importancia y se ha observado que los métodos tradicionales de trazabilidad no son suficientemente eficientes para ciertos productos. Algunos autores escriben sobre la existencia de errores y retrasos en la obtención de información de trazabilidad. Sin embargo, están apareciendo nuevas tendencias en cuanto a la estandarización de la trazabilidad en el sector de la alimentación, mejorando así su eficiencia. Entre ellos cabe nombrar el marco de “Trace Food” que proporciona principios y guías para implementar la trazabilidad en cadenas de valor de la alimentación, el marco “Food track and Trace Ontology (FTTO)” que proporciona integración entre bases de datos heterogéneas permitiendo la interoperabilidad entre diferentes sistemas, “Critical Tracking Event” que proporciona seguridad en términos de propiedad de información y “TraceFish” que proporciona especificaciones de la información que se debe registrar en las cadenas de distribución de pescado y pescado de crianza.

### 4.3 Tecnologías más recientes en Sistemas de Trazabilidad

Los sistemas de trazabilidad actuales están caracterizados por la falta de habilidad para vincular los archivos de las CdS de alimentación, por poca exactitud y errores en los datos, así como, retrasos en la obtención de datos esenciales, los cuales son fundamentales en caso de brote de enfermedades causadas por el consumo de alimentos. Estos sistemas deberían ser capaces de dirigir o guiar la retirada de productos no consumibles. El artículo de Badia-Melis et al., (2015) proporciona una revisión de varios de los últimos avances tecnológicos en sistemas de trazabilidad en el sector de la alimentación. También son presentados algunos avances conceptuales en el campo de la trazabilidad en la alimentación, tales como, el desarrollo de un marco común hacia la unificación de las normativas técnicas presentes, la interconectividad entre agentes, registradores medioambientales y productos, todos ellos en la forma del sistema de internet de las cosas, así como, el desarrollo de trazabilidad inteligente, con la que es posible recuperar la temperatura de un producto o su tiempo de vida restante en la estantería del supermercado. Estas nuevas técnicas y conceptos proporcionan nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y la compatibilidad de los sistemas de trazabilidad presentes (Badia-Melis et al., 2015).

Para hacer un monitoreo de producto eficiente, las industrias siempre han requerido una técnica de trazabilidad fácil de aplicar y de bajo coste. Los avances más recientes pueden ofrecer eficiencia con las últimas tecnologías, tales como, modelado en quimiometría, análisis de isótopos o código de barras de DNA, a pesar de no ser las técnicas más baratas. Y por otro lado, los aparatos de monitoreo sin cable están siendo mejorados e implementados en muchos estudios de investigación innovadora, con el propósito de aportar una forma fácil y permisible económicamente de trazabilidad (Badia-Melis et al., 2015).

Los avances más recientes en trazabilidad de alimentos en términos de tecnología son capaces de proporcionar cierto incremento en eficiencia y efectividad. Actualmente, es posible conseguir información esencial al usar RFID a lo largo de CdS y NFC, desde que el producto comienza hasta el consumidor final. Estos aparatos de supervisión sin cables han sido mejorados durante los últimos años. Ofrecen control *in situ* o en el momento en el que los bienes están “en movimiento”. A pesar de esto, ninguno es capaz de cumplir todos los requerimientos de las CdS heterogéneas actuales. Los últimos avances (código de barras DNA, quimiométrica...) pueden cubrir algunos de estos vacíos, como control de propagación de enfermedades o control histórico, pero estas tecnologías están en fase de pruebas o requieren un gran despliegue de recursos que no pueden permitirse todos los participantes de la CdS. Por tanto, se asume que éstas no serán una alternativa a corto plazo. Nuevas tendencias sobre cómo abordar la trazabilidad están apareciendo, centrándose en las partes implicadas en la CdS de alimentos, tales como, agentes involucrados, procesos, elementos añadidos a la comida y el producto en sí mismo, el cual era el objeto de estudio antes de estas nuevas tendencias (Aung & Chang 2014).

## RFID

Los avances actuales en la tecnología RFID y la incorporación de partes integrales, tales como, capacidad de registro de datos y sensores integrados, ha proporcionado una nueva dimensión a la aplicación de la tecnología RFID en los sistemas de trazabilidad de alimentos, tal y como es recogido en el artículo de Ruiz-García y Lunadei (2011). Las aplicaciones de la tecnología RFID en la trazabilidad de alimentos son muchas y variadas. Durante la última década, RFID ha surgido como un actor dirigente en el desarrollo de los sistemas de trazabilidad en la CdS de alimentos y sus implementaciones están aumentando a alta velocidad (Costa et al., 2013; Badia Melis et al., 2015). Con la implementación de la tecnología RFID, los sistemas de trazabilidad de alimentos pueden volverse más fiables y eficientes puesto que el RFID permite una tasa de lectura mayor que los tradicionales códigos de barras (Hong et al., 2011; Badia-Melis et al., 2015). Con identificación de productos sin ningún tipo de contacto físico, la tecnología RFID permite compartir información efectiva con trato efectivo y personalizado (Zhang & Li, 2012; Badia-Melis et al., 2015).

Los procesos de logística y gestión de la CdS en el sector agroalimentario para la trazabilidad de alimentos usando RFID son discutidas desde hace varios años por diversos autores, por ejemplo: Jones, Clarke-Hill, Shears, Comfort & Hillier (2004), Angeles (2005), Twist (2005), Attaran (2007), Ngai, Cheng, Au & Lai (2007), Sugahara (2009), (Badia-Melis et al., 2015).

Una plataforma del Internet de las Cosas con una arquitectura de red de dos capas es la forma innovadora de implementar RFID para trazabilidad en lo que se llama la logística de alimentos inteligente. Consiste en una conexión asimétrica de lector de etiquetas (capa RFID) y una conexión *ad-hoc* entre lectores (capa WSN), los cuales están también conectados a internet, a través del móvil o Wifi (Zou et al., 2014; Badia Melis et al., 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis, Mishra, and Ruiz-García 2015)(Badia-Melis et al., 2015).

Se trata de un tipo de identificación automática y está constituido por un lector (en ocasiones denominado un interrogador) y un transponedor (o etiqueta), que generalmente está provisto de un microchip con una antena. Existen diferentes tipos de sistemas RFID, pero por lo general el lector envía ondas electromagnéticas con una señal con la cual la etiqueta debe responder (RFID Journal, 2017).

Aunque presenta muchas ventajas, la tecnología RFID no es aún la elección preferida para la mayoría de las empresas, ya que conlleva costes adicionales. Sin embargo, el balance entre el beneficio y los requerimientos de seguridad de la compañía, son la mayor fuerza impulsora para la adopción de tecnologías como RFID (Zhang & Li, 2012; Badia Melis et al., 2015).



Figura 5: Sistema RFID consiste en tres componentes principales: una etiqueta RFID, un lector RFID con una antena y un transceptor, y un sistema “host” o una conexión a un sistema de información. Adaptada de (Wei Yhou & Selwyn Piramuthu, 2016).

**RFID** puede mejorar la eficiencia de la CdS de los alimentos, al almacenar la información más importante, tal como, el área de producción, los métodos de agricultura, los procesos de producción y otra información especial que el consumidor considerará cuando compre los productos (Yhang & Li, 2012). La integración de los sensores de información ha sido explotada usando EPC (*Electronic Product Code*) en RFID (Theodorou, 2007). Dimitris (2011) introdujo los “productos inteligentes”, que se refiere a los que son utilizados en el Internet de las cosas (Badia-Melis et al., 2015).

El Código Electrónico de Producto (EPC) fue desarrollado como posible sucesor del código de barras, cuyo objetivo fue crear un método de seguimiento y rastreo utilizando la tecnología RFID. El **EPC** es una serie de números y letras, que consta de un encabezado y de tres compartimentos de información. El primer compartimento identifica al fabricante, el segundo identifica el tipo de producto (unidad de mantenimiento de existencias) y el tercero es el número de serie particular para el producto (RFID Journal, 2017).

**EPCIS** (Servicio de Información de Códigos de Productos Electrónicos) es una especificación para una norma estándar para el acceso a información relacionada con la EPC. La EPCIS permite que los participantes en una cadena de suministro puedan compartir e intercambiar información de una manera eficiente, al ofrecer una interfaz. El resultado es menos tiempo invertido en la integración, puesto que todas las partes intervinientes pueden usar la misma interfaz, sin importar los diferentes tipos de bases de datos que se empleen en el almacenamiento de datos (RFID Journal, 2017).

Las etiquetas RFID se dividen en dos grandes variedades: las que tienen una fuente de alimentación (etiqueta activa) y las que no tienen (etiqueta pasiva). En terminología, un dispositivo pasivo se conoce como "etiqueta", mientras que un dispositivo activo se conoce como "etiqueta activa" o "transpondedor". Las etiquetas activas generalmente tienen una mayor huella, y son más caras que las etiquetas pasivas. Sin una fuente de alimentación interna, las etiquetas RFID pasivas responden a señales de radiofrecuencia entrantes a través de la pequeña corriente eléctrica inducida en la antena para el circuito integrado de semiconductor (Selwyn & Yhou, 2016).

**NFC** o “Near Field Communication” es actualmente una extensión o subcategoría de RFID. Permite la interacción simple y segura entre dos aparatos electrónicos, complementa muchas tecnologías sin cable a nivel de consumidor. Estas etiquetas son muy pequeñas, de forma, que caben dentro de los productos por varias razones, entre ellas, seguridad, antirrobo e identificación individual. NFC permite compartir información en menos de 4cm. NFC es la versión más nueva de RFID, que es típicamente usada en cortas distancias para hacer pagos y

recuperación de información. Al igual que en RFID, la mayor ventaja de la tecnología NFC frente a los códigos de barras QR, es que no necesita de un haz láser para tener un camino sólido (Badia-Melis et al., 2015).

Recientemente, Mainetti, Mele et al., (2013), describen los usos potenciales de la combinación RFID y NFC. Ésta permite al consumidor final conocer la historia completa del producto adquirido. NFC se ha probado junto con una app de móvil para permitir la conexión de plantas y la información de trazabilidad (Mainetti, Patrono et al. 2013; Badia Melis et al., 2015).

Chen, Wangang Jan (2014) proponen un escenario en un futuro cercano, en el que el consumidor puede usar el *Smart Phone* para leer información pasiva y parámetros esenciales, y finalmente comprar el alimento (Badia-Melis et al., 2015).

El término de logística inteligente de alimentos está alcanzando mayor importancia en la cadena de los alimentos en la actualidad, tal y como describen, Jdermann et al. (2014). La logística inteligente de los alimentos está llamada a reducir los desechos perecederos a lo largo de la CdS a partir de la reducción de desviaciones de la cadena óptima de frío (Badia-Melis et al., 2015).

La capacidad de comprobar la seguridad alimentaria en manos del consumidor se ha convertido en una realidad marcando productos con RFID o códigos de barras que se pueden leer con un teléfono móvil. Los teléfonos de la actualidad podrían ser el futuro dispositivo portátil para la trazabilidad debido a su portabilidad, movilidad, accesibilidad a Internet y soporte de software de aplicaciones. Los consumidores pueden escanear el código en la tienda usando una cámara de teléfono móvil o un lector de RFID móvil incorporado para que puedan encontrar la historia del producto en sus dedos y hacer compras para alimentos seguros y de calidad. Incluso pueden ofrecer comentarios al agricultor (Aung & Chang 2014).

En un futuro próximo, RFID y sistemas basados en sensores serán ampliamente utilizados, no sólo para el seguimiento de las mercancías, sino también para el seguimiento de la calidad de los productos y la cadena de suministro en sí. Esto permitirá detectar el deterioro de los productos alimenticios y mejorar la continuidad de la cadena de suministro de alimentos.

La tendencia más grande en el futuro es la convergencia de los teléfonos inteligentes con el Internet de las Cosas. Dispositivos como los teléfonos inteligentes se convierten en sensores y lectores RFID, que permiten a los consumidores interactuar con objetos del mundo real de una manera mucho más detallada (Aung & Chang 2014).

## ANÁLISIS ISOTOPOS Y CODIGO DE BARRAS DNA

El **análisis de isótopos estables** ha surgido como una herramienta potente para rastrear el origen geográfico de productos en el sector de la agroalimentación. Con variedad en los niveles de éxito, se ha obtenido la identificación y diferenciación de diferentes productos agroalimentarios, tales como, carne, leche, cereales, vino y aceite. Horacek y Min, (2010)

examinaron el ratio de isótopos de carbono, nitrógeno e hidrógeno en muestras de masa desgrasada de carne de vacuno de Korea, USA, Mexico, Australia y Nueva Zelanda y obtuvieron una clara tendencia de isótopos de carbono para cada grupo de muestras e identificaron su origen. Molkentin y Giesemnn, (2007) diferenciaron entre la leche convencional y la orgánica exitosamente, con el análisis del isótopo de carbono (Badia-Melis et al., 2015)..

La validación de la autenticidad de los alimentos se basa principalmente en el **análisis de proteínas y secuencias de DNA**. Ha sido probado que los códigos de barras basados en DNA son particularmente efectivos en la trazabilidad del marisco (Becker et al., 2011; Badia Melis et al., 2015), esto puede considerarse como un método fiable de trazabilidad de carne mamífera (Cai et al., 2011; Badia Melis et al., 2015) o leche cruda (Arcuri et al., 2013; Badia Melis et al., 2015), así como para la trazabilidad de plantas comestibles (De Mattia et al., 2011; Badia Melis et al., 2015). Otros usos también se han encontrado para comida procesada, fruta, residuos de fruta en zumos, purees, chocolates, galletas etc (Sakai et al., 2010; Badia Melis et al., 2015).

Desde un punto de vista tecnológico, la técnica basada en el ADN, como el código de barras de ADN, es eficaz para certificar el origen y la calidad de las materias primas y detectar las adulteraciones que se producen en la cadena alimentaria industrial. Pero se basa en la disponibilidad de un repositorio de plataforma internacional BOLD (código de barras de la base de datos de vida). Además, las semillas, las frutas y las diferentes partes de plantas y animales se transforman en alimentos con una forma definida, sabor y olor a través de tratamientos físicos (es decir, calentamiento, ebullición, radiación UV) o químicos (es decir, adición de conservantes de alimentos, edulcorantes artificiales) Podría alterar la estructura del ADN (Galimberti et al., 2013; Aung & Chang, 2014). Estas técnicas son demasiado caras para aplicar en pruebas de rutina, pero podrían ser una herramienta de confianza para la verificación de sospechas de fraude (Dalvit et al., 2007; Aung & Chang, 2014).

Los biocaptos se utilizarán muy probablemente para diversos usos, como la detección de micotoxinas, bactericidas, alérgenos y microbios contaminantes (Aarnisalo et al., 2007; Aung & Chang, 2014). Las técnicas avanzadas como la cromatografía de gases y las narices electrónicas (es decir, una máquina que puede detectar y discriminar entre los olores complejos utilizando una matriz de sensores) se utilizarán cada vez más en el campo de la gestión de la calidad de los alimentos (Peris & Escuder-Gilabert, 2009; Aung & Chang, 2014).

## **QUIMIOMETRÍA Y NIRS PARA LA TRAZABILIDAD EN LOS ALIMENTOS**

Quimiometría es el modelado matemático y estadístico aplicado a la información analítica adquirida en amplios rangos de plataformas para obtener información química relevante. Los beneficios de los modelos quimiométricos sobre los modelos estadísticos normales son la facilidad de mantener con buena actualización, simples, robustos y además pueden ser convertidos fácilmente en un conjunto de especificaciones. Dichas especificaciones pueden ayudar a desarrollar normas de decisión en la autenticidad del origen de los alimentos, lo cual es una consideración importante para los estudios de trazabilidad. El uso de la sinergia de técnicas de análisis instrumental y el modelado de quimiometría,

representa una forma prometedora para el desarrollo de modelos de trazabilidad y autenticidad, ya que la trazabilidad de los alimentos es un elemento esencial para asegurar la seguridad y la alta calidad de la alimentación (Bertacchini et al., 2013; Badia Melis et al., 2015).

En este capítulo se ha hecho una revisión de varios de los últimos avances tecnológicos en sistemas de trazabilidad en el sector de la alimentación. Entre ellos cabe destacar el sistema RFID, que permite la identificación de productos sin ningún tipo de contacto físico. NFC es la versión más nueva de RFID, que es típicamente usada en cortas distancias para hacer pagos y recuperación de información. Al igual que en RFID, la mayor ventaja de la tecnología NFC frente a los códigos de barras QR, es que permite la identificación de productos sin ningún tipo de contacto físico, una mayor capacidad de almacenamiento de información y la posibilidad de almacenar y rastrear datos en tiempo real a través de sensores.

El análisis de isótopos estables es una herramienta potente para rastrear y determinar el origen geográfico de los productos. Por otro lado, el análisis de código de barras DNA se basa principalmente en el análisis de proteínas y secuencias de DNA y es eficaz para certificar el origen y la calidad de las materias primas y detectar las adulteraciones que se producen en la cadena alimentaria industrial.

La Quimiometría es el modelado matemático y estadístico aplicado a la información analítica adquirida en amplios rangos de plataformas para obtener información química relevante. Esta técnica puede ayudar a desarrollar normas de decisión en la autenticidad del origen de los alimentos.

Estas últimas técnicas descritas (análisis de isótopos estables, análisis de código de barras DNA y la Quimiometría) pueden considerarse como técnicas de apoyo a los sistemas de trazabilidad, debido a su elevado coste y aún bajo desarrollo.

#### 4.4 Normativa referente a la Trazabilidad en Agroalimentación

Tal y como se recoge en la “European Commission Health and Consumers (2010)”, la **trazabilidad y seguimiento** empezó a ser obligatorio por legislación en 2005 por la Unión Europea. (Aung and Chang 2014).

Los requerimientos recogidos en esta regulación son bajos y se restringen a una documentación basada en relaciones de proveedor y cliente. Por otro lado, no requieren el monitoreo y control de lotes dentro de las empresas u otras especificaciones de calidad (Regattieri et al., 2007; Aung & Chang, 2014).

Dos actores principales que lideran los esfuerzos legislativos para exigir la trazabilidad de los alimentos son la UE y los EE.UU. (Aung & Chang 2014).

En Europa, la Directiva de la UE 178/2002 entró en vigor el 1 de enero de 2005 y exige la trazabilidad obligatoria de todos los alimentos y piensos vendidos en los países de la Unión Europea (Folinas e tal., 2006; Aung & Chang, 2014). La directiva aplica una legislación estricta sobre los sistemas de etiquetado de los productos alimenticios. En los Estados Unidos, la Ley



de Bioterrorismo de 2002 menciona que la persona que fabrica, procesa, embala, transporta, distribuye, recibe, tiene o importa alimentos tiene la responsabilidad de establecer y mantener registros. También permite a la FDA (*Food and Drug Administration*) inspeccionar esos registros si hay una creencia razonable de que un alimento presenta una seria amenaza para la salud (Levinson, 2009; Aung & Chang, 2014). La Ley de Modernización de la Seguridad Alimentaria de la FDA (FSMA: *Food Safety and Modernization Act*), que se convirtió en ley el 4 de enero de 2011, requiere instalaciones registradas de alimentos y piensos para evaluar los peligros de la inocuidad de los alimentos que podrían afectar a los alimentos y piensos que se fabrican, procesan, embalan o almacenan, e implementar controles preventivos para hacer frente a esos peligros. Esto es para asegurar la seguridad, tanto del suministro de alimentos importados, como del nacional, centrándose en la prevención de la contaminación en lugar de responder a la contaminación (FDA, 2011; Aung & Chang, 2014).

Otras organizaciones como la CAC (Comisión del Codex Alimentarius) establecida por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y la OMS (Organización Mundial de la Salud); y la Organización Internacional de Normalización (ISO) desempeñan un papel importante en el desarrollo de normas internacionales y directrices de la industria para la **trazabilidad de los alimentos** (Petersen, 2004, Aung & Chang, 2014). En 1993, la CAC recomendó el Análisis de Riesgos como punto crítico de control (HACCP) como el sistema más efectivo para mantener la seguridad de un suministro seguro de alimentos (Beulens et al., 2005; Aung & Chang, 2014). En 2003, se publicó la norma del Codex Alimentarius para servir de guía para la inocuidad de los alimentos y apoyar las relaciones comerciales equilibradas en los alimentos. Los problemas estándar del Codex abarcan desde características específicas de materia prima y procesada, a la higiene de los alimentos, los residuos de plaguicidas, los contaminantes y el etiquetado, y a métodos de análisis y muestreo (Trienekens & Zuurbier, 2008; Aung & Chang, 2014).

ISO es el mayor desarrollador y editor del mundo de estándares internacionales. Las normas ISO se utilizan para lograr la uniformidad y para prevenir barreras técnicas al comercio en todo el mundo. La más utilizada de todas las normas ISO es la serie ISO 9000 para Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) en entornos de producción que son independientes de cualquier industria específica. La versión 2000 ISO 9001 (2000) abordó el modelo estándar para la gestión de la calidad y el aseguramiento de la calidad, pero no abordó la inocuidad de los alimentos. El requisito de seguridad alimentaria y trazabilidad se añade en las nuevas normas ISO con más énfasis en la trazabilidad. ISO 22000 (2005) especificó los requisitos para un sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos en el que una organización de la cadena alimentaria necesita demostrar su capacidad para controlar los riesgos de inocuidad de los alimentos para garantizar que los alimentos son seguros en el momento del consumo humano. Esta norma incluye el análisis de los métodos de los riesgos alimentarios de HACCP y el enfoque del sistema de gestión de ISO 9001 (FMRIC, 2008). Además, ISO 22005 (2007) definió los principios y objetivos de la trazabilidad y también especificó los requisitos básicos para el diseño e implementación de un sistema de trazabilidad de piensos y alimentos. Puede ser aplicado por una organización que opera en cualquier etapa de la cadena alimentaria y alimenticia (Aung & Chang 2014).

Además, existen otras normas privadas de calidad y seguridad de los alimentos, como Eurep-GAP, Norma Internacional de Auditoría de Proveedores de Alimentos (IFS), British Retail Consortium (BRC) y Safe Quality Food (SQF) (Aung & Chang 2014).

En Europa, la legislación alimentaria es particularmente estricta y los sistemas de trazabilidad, basados en el etiquetado de los productos, son obligatorios en todos los países europeos. En los Estados Unidos, el Congreso de los Estados Unidos ordenó el etiquetado del país de origen (COOL) para muchos cultivos / productos alimenticios como requisito (Smith et al., 2005; Aung & Chang, 2014). Sin embargo, la aplicación de estos sistemas no garantiza a los consumidores, que no exista fraude. Los documentos en papel pueden ser falsificados por lo que se necesitan métodos alternativos para sistemas de trazabilidad genética basados en la identificación del producto (Dalvit et al., 2007; Aung & Chang, 2014).

El **marco regulador de la trazabilidad** de los alimentos es amplio y heterogéneo. Si se considera la perspectiva reguladora, empresas de todo el mundo (UE, Japón, Estados Unidos, etc.) se ocupan de diferentes implementaciones de responsabilidad y regulación de la responsabilidad de los productos (Mirabelli et al., 2012; Aung & Chang, 2014). En Europa, la Directiva de la CE 178/2002 (Comisión Europea, 2002) del Parlamento Europeo y del Consejo, establece los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria, por el que se establece la Norma Europea de Seguridad Alimentaria (Comisión Europea, 2002; Aung & Chang, 2014).

El registro de la información está limitado por la falta de normas comunes para la codificación y gestión de la información (De Cindio et al., 2011; Aung & Chang, 2014), que representa el principal problema relacionado con el desarrollo de un sistema eficiente de trazabilidad. Por consiguiente, se requieren normas para registrar e intercambiar información. Es imprescindible asegurar una forma, con la que cualquier empresa pueda conectarse a un sistema de información global para el intercambio de información en la CdS y para ello es necesario resolver cuestiones importantes sobre integración y estandarización de sistemas de información. Para asegurar la interoperabilidad del sistema y la comunicación entre los diferentes actores, se requiere el uso de estándares para codificar información para todos los operadores de referencia (De Cindio et al., 2011b; Aung & Chang, 2014).

Con el fin de facilitar la identificación de un producto responsable de un brote de enfermedades transmitidas por alimentos, la información y su organización deben ser normalizadas y conceptualizadas (Pizzuti et al. 2014).

Las normativas presentadas anteriormente están relacionadas la trazabilidad de los alimentos con el objetivo de asegurar la calidad y seguridad de los mismos. Ninguna de ellas hace referencia a la sostenibilidad de dichos productos o a sus cadenas de suministro.

#### 4.4.1 Productos ecológicos

En cuanto a los alimentos ecológicos, existen sellos que acreditan el uso de ciertas prácticas ecológicas, desde el punto de vista medioambiental, en la producción u obtención de los alimentos que están marcados con dichos sellos.

Actualmente la forma de garantizar la procedencia ecológica de los productos es la utilización de los **sellos de acreditación ecológica**. Cada producto puede llevar uno o varios sellos. Los sellos son logotipos que certifican según normas establecidas por comunidades, países o regiones. Normalmente las certificaciones cuentan con: el nombre de la certificación, el código de la autoridad que la da y la leyenda “Agricultura Ecológica” (Ifeelmaps, 2017).

Por ejemplo, un producto ecológico español llevará el sello de su consejo Regulador, especificando la comunidad de la que procede. Los alimentos pueden llevar dichos sellos y ser vendidos con el sello orgánico de la Unión Europea, cuando tanto la empresa focal, como sus proveedores cumplan con las disposiciones del “Reglamento Ecológico Europeo” y con los controles de inspección sobre el estado ecológico de los productos. El cumplimiento de los requerimientos para todos los productos ecológicos en la UE es supervisado a través de centros de referencia para la certificación, por cada Estado. Es decir que el sello orgánico indica que los productos que cumplen, al menos, con los requisitos de la UE en cuanto a la regulación ecológica. Adicionalmente, existen sellos de certificación de carácter privado, los cuales tienen unos requisitos más estrictos (Ifeelmaps, 2017).

La legislación que regula la producción ecológica en Europa es el Reglamento C.E.E. 2092/91. Esta norma abarca la producción, la transformación y la comercialización de los productos ecológicos (Ifeelmaps, 2017).

Para garantizar el cumplimiento de la normativa europea en materia de producción ecológica agraria y ganadera, existen diferentes entidades de certificación autorizadas e independientes que realizan controles adicionales. Estos avales ofrecen garantías de transparencia frente al consumidor, calidad y cumplimiento de normas establecidas para la producción ecológica. En España el órgano que tiene las competencias es el CRAE, Comisión Reguladora de Agricultura Ecológica, adscrita al MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). Su función es asesorar, ser foro de encuentro del sector entre consumidores, la administración central y las Comunidades Autónomas (Ifeelmaps, 2017).



Ilustración 1: Sellos de certificación ecológica. Adaptada de (Ifeelmaps, 2017).

La certificación ecológica no es gratuita. El coste varía en función de si lo solicita un productor vegetal, ganadero o de la industria agroalimentaria. Este esfuerzo económico adicional, sumado a los requisitos que se deben cumplir y los controles que se siguen, incrementa el coste final del producto.

El Reglamento (CE) no 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, establece un marco jurídico para los productos ecológicos. Contiene los objetivos básicos y los principios generales de la agricultura ecológica y especifica las normas relativas a la producción, etiquetado, control e intercambios con países de fuera de la Unión Europea (UE). El marco regula los productos agrícolas (incluida la acuicultura) no transformados o transformados y destinados a la alimentación humana, los piensos, el material de reproducción vegetativa y las levaduras destinadas al consumo humano o animal (Ecoagricultor, 2017).

Según las normas generales de producción ecológica, los organismos modificados genéticamente (OMG) están prohibidos en todas sus formas. Las normas que regulan el etiquetado de los alimentos permiten a los operadores asegurarse de que respetan esa prohibición. Está prohibido, además, el tratamiento por radiaciones ionizantes.

Los agentes que quieran hacer coexistir ambos tipos de producción agraria (ecológica y no ecológica) deben mantener una separación entre animales y entre terrenos.

La **producción vegetal-ecológica** debe cumplir ciertas normas sobre:

- Los tratamientos del suelo, que deben respetar la vida y fertilidad natural del suelo
- La prevención de daños, que debe basarse en métodos naturales pero para lo cual se permite utilizar un número limitado de productos fito-farmacéuticos autorizados por la comisión europea
- Las semillas y los materiales de reproducción vegetativa, que han de producirse ecológicamente
- Los productos de limpieza, que deben haber sido autorizados por la Comisión (Mapama, 2017).

La **producción ganadero-ecológica** debe cumplir ciertas normas sobre:

- El origen de los animales, que deben nacer y criarse en explotaciones ecológicas
- Las prácticas de gestión y cuidado, por ejemplo, en relación con ciertas características del alojamiento de los animales
- Los métodos de reproducción de los animales, en general naturales
- Los piensos, que deben ser de origen ecológico
- La prevención de enfermedades
- La limpieza y desinfección, en las que deben emplearse únicamente productos autorizados por la Comisión (Mapama, 2017).

A los animales de acuicultura se aplican normas específicas similares.

En la agricultura ecológica, la Comisión autoriza la utilización de un número limitado de productos y sustancias. Estos productos pueden destinarse al cuidado de las plantas, a la alimentación de los animales y a la limpieza de las instalaciones utilizadas para la producción animal y vegetal. Asimismo, la Comisión puede fijar ciertos límites y condiciones para la aplicación de estos productos.

Los piensos ecológicos transformados deben contener materias primas ecológicas y no pueden transformarse con disolventes de síntesis. Los alimentos procesados han de contener principalmente ingredientes de origen agrícola. La levadura ecológica debe producirse a partir de sustratos ecológicos y otros ingredientes autorizados.

El cumplimiento de las disposiciones del presente Reglamento se controla mediante un sistema basado en el Reglamento (CE) nº 882/2004 y en medidas precautorias y de control establecidas por la Comisión (Ecoagricultor, 2017).

Sin embargo, no existe ningún sello que acredite el uso de prácticas sostenibles en las tres dimensiones de sostenibilidad (medioambiental, social y económica). Además, la certificación de los sellos ecológicos se centra únicamente en un eslabón de la cadena de suministro. Tampoco existen definiciones ni estándares en sistemas de trazabilidad para la sostenibilidad de la cadena de suministro.

#### 4.4.2 Responsabilidad Social Corporativa

En cuanto a la **dimensión social de la sostenibilidad**, no existen regulaciones como tal, pero sí iniciativas y comunicaciones a nivel europeo y estatal que intentan fomentar la sostenibilidad social en las empresas. Éstas no son específicas para el sector de la alimentación pero lo son para la actividad empresarial en general.

Por parte de la Comisión Europea, las bases de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) en la política de la Unión Europea se recogieron, por primera vez, en la publicación del **Libro Verde**- “Fomentar un marco Europeo para la Responsabilidad Social de las Empresas”, (2001) (EOI wiki, 2017).

Su objetivo es fomentar el desarrollo de prácticas innovadoras, aumentar la transparencia e incrementar la fiabilidad de la evaluación y la validación. A lo largo de todo el libro verde se dan pautas sobre aspectos relacionados con la responsabilidad social, tanto con la dimensión interna como externa de la empresa. También aborda la integración de la gestión de la responsabilidad social en la estrategia organizacional, la elaboración de informes de sostenibilidad, el etiquetado de productos y servicios, la calidad en el trabajo y la inversión socialmente responsable (EOI wiki, 2017).

- **Foro Multistakeholder RSE**

El Foro Multistakeholder de RSE se creó en 2002 con el apoyo de la Comisión Europea, con el objetivo de agrupar a sindicatos, empresas, ONGs europeas, etc., para promover la innovación, la convergencia y la transparencia en las prácticas y herramientas de

responsabilidad social corporativa. El Foro, presidido por la Comisión Europea y compuesto por un plenario y una serie de mesas redondas, tiene como fin fomentar y promover las mejores prácticas para la aplicación de la responsabilidad social empresarial en la Unión Europea y cualquier otro lugar del mundo. Desde su creación sólo ha emitido un informe (2004) y ha celebrado tres foros (2006, 2009 y 2010), el último de los cuales se ha centrado en el consumo responsable, la inversión responsable, la relación entre la RSE y la competitividad, la transparencia y la divulgación de información no financiera y la dimensión global de la RSE (EOI wiki, 2017).

- **CSR Europe**

CSR Europe es una red europea de negocios para la responsabilidad social de las empresas. Fundada en 1995 por algunas de las empresas europeas líderes que tiene como objetivo principal apoyar a las empresas en la integración de la responsabilidad social en su modelo de negocio (EOI wiki, 2017).

Principalmente los temas y cuestiones que trabaja CSR Europe en materia de la RSE son:

- ✓ La innovación y el espíritu emprendedor
- ✓ La consolidación de capacidades y competencias
- ✓ La igualdad de oportunidades y diversidad
- ✓ La seguridad y la salud
- ✓ La protección del medio ambiente
- ✓ La integración de la RSE
- ✓ La participación y el compromiso con los grupos de interés
- ✓ Liderazgo y Gobernanza
- ✓ Comunicación y transparencia
- ✓ Cooperación y alianzas entre empresas

- **Libro blanco de la RSE**

Con el objeto de potenciar y promover la RSE en España, en febrero de 2005, una subcomisión del Congreso de los diputados plasmó en el Libro blanco de la RSE, las aportaciones y conclusiones a las que llegó como resultado de sus investigaciones en esta materia. En junio de 2006, este documento fue aprobado por unanimidad de todos los grupos parlamentarios, y fue el primero, de este tipo, aprobado en Europa por un parlamento nacional (EOI wiki, 2017).

- **SGE21**

La SGE 21, Sistema de Gestión Ética y Socialmente Responsable, es un estándar certificable en materia de responsabilidad social de ámbito español y latinoamericano. Esta asociación fue constituida en 1999 por un conjunto de empresas y profesionales de la RSE, y tiene como objetivo fomentar la cultura de la gestión ética y la responsabilidad social dotando

a las organizaciones de conocimiento y herramientas útiles para desarrollar con éxito un modelo de negocio competitivo y sostenible (EOI wiki, 2017).

- **RS10**

La RS10:2009 promovida por AENOR y de ámbito estatal, es una especificación certificable. La RS10:2009 establece los requisitos para un sistema de gestión de la responsabilidad social empresarial inspirado en los principios establecidos en la guía ISO 26000 (que en el momento de su publicación estaba en fase de borrador) y la norma experimental UNE 165010:2009 *EX Ética. Sistema de gestión de la Responsabilidad Social de las empresas* (EOI wiki, 2017).

- **Modelo efr**

Efr es un movimiento internacional que, formando parte de la RSE, se ocupa de avanzar y dar respuestas en materia de responsabilidad y respeto a la conciliación de la vida familiar y laboral. Así mismo, también fomenta el apoyo en la igualdad de oportunidades y la inclusión de los más desfavorecidos, tomando como base la legislación vigente y vinculante y la negociación colectiva, de forma que las empresas efr realizan una autorregulación voluntaria en la materia (EOI wiki, 2017).

Otras organizaciones y movimientos a nivel estatal cuyo objetivo es promover la responsabilidad social de las empresas, considerando la dimensión social de **sostenibilidad** son: Consejo Estatal de RSE (CERSE), Ley de Economía Sostenible y Ley de Responsabilidad Social de Extremadura.

## **5. Propuesta de un Sistema de Trazabilidad en una Cadena de Suministro Sostenible en el sector Agroalimentario**

En los puntos anteriores se han descrito y definido, en base a la literatura, los conceptos y bases de las cadenas de suministro sostenibles, haciendo mención a las particularidades en cuanto a sostenibilidad de las cadenas en el sector de la agroalimentación. Por otro lado, en otro apartado se ha definido la trazabilidad de las cadenas de suministro en dicho sector, sus particularidades, aplicación y últimas tecnologías utilizadas. Con esto, y haciendo una combinación de ambos conceptos se pretende, en este apartado definir las bases para una propuesta de trazabilidad de una cadena de suministro sostenible en agroalimentación.

Hasta el momento, la trazabilidad llevada a cabo en las cadenas de suministro de los productos alimenticios se centra principalmente en el seguimiento de datos y factores o características de la cadena, que o bien permitan controlar ciertas condiciones relacionadas con la ubicación física, origen y estado de los alimentos para asegurar su calidad y seguridad

desde el punto de vista de salud alimentaria, o bien, faciliten encontrar los causantes de problemas de calidad, en el caso de un brote de enfermedad por el consumo de alimentos. Actualmente, no es una práctica habitual incluir datos relacionados con la sostenibilidad de la cadena de suministro en los sistemas de trazabilidad de los productos agroalimentarios.

En los apartados siguientes se presenta una propuesta basada en el desarrollo de distintos puntos que son necesarios para conseguir la trazabilidad de la sostenibilidad en la CdS en el sector agroalimentario. Para determinar dichos puntos necesarios, se procede primero a dar una definición de trazabilidad de la sostenibilidad en la CdS en el sector de la agroalimentación. Dicha definición permite tener un punto de partida, para descifrar la información básica a considerar en la propuesta, como por ejemplo, qué debe hacer el sistema, qué tipo de información debe capturar, en qué momento debe capturarse dicha información, qué características específicas debe tener y cuál es el objetivo del sistema propuesto. Estos puntos dan lugar a cuestiones más específicas acerca del sistema, como los dispositivos y tecnología actuales más adecuados para el sistema propuesto, la gestión de la información a seguir y almacenar, es decir, quién debe encargarse de capturar los datos y cómo hacerlo, qué datos exactamente deben ser recopilados y si existen restricciones o pautas fijadas por normativas relacionadas con la trazabilidad de la sostenibilidad de la cadena de suministro en el sector agroalimentario. Estos aspectos se desarrollan en los apartados siguientes.

## 5.1 Trazabilidad de la Sostenibilidad en la CdS en el sector Agroalimentario

A partir de las definiciones de trazabilidad, y más concretamente de trazabilidad en la CdS en el sector agroalimentario, encontradas en la literatura y descritas en los apartados 4.1 y 4.2 del presente trabajo, y combinadas con los conceptos de cadena de suministro sostenible desarrollados en los puntos 3.3 y 3.6, se propone la siguiente definición para la trazabilidad de la sostenibilidad en la CdS en el sector agroalimentario:

El sistema de trazabilidad para la sostenibilidad de la cadena debe ser capaz de seguir, capturar, almacenar y transmitir información relacionada con las tres dimensiones de sostenibilidad (económica, ambiental y social) de cada unidad trazable de un alimento, pienso, animal productor de alimentos o sustancia que forma parte de un alimento o pienso, en cada una de las etapas de la CdS alimenticia, de tal forma, que la información relativa al producto que esté relacionada con la sostenibilidad de la cadena, pueda ser rastreada en cualquier punto de la cadena y en cualquier momento. Las unidades comerciales deben ser identificadas de manera única y la información debe estar vinculada a dichas unidades a través de un número de identificación único.

En esta definición se combinan las definiciones de cadena de suministro sostenible dadas por Seuring & Mueller, 2008; y Elkafi Hassini et al., 2012 con ideas sobre la trazabilidad de la cadena de suministro dadas por Karlsen et al., 2013 y Bosona y Gebrensenbet, 2013. Con ello se pretende proporcionar una definición lo más completa y clara posible.

Muchos autores distinguen entre distintos tipos de trazabilidad en la cadena de suministro, por ejemplo, según la trazabilidad se realice hacia delante o hacia atrás (origen



producto). En este caso, se propone un sistema de trazabilidad a lo largo de toda la cadena de suministro, como propone entre otros Karlsen et al., 2013. La sostenibilidad en sus tres dimensiones pretende ser rastreada a lo largo de la cadena de suministro, en cada una de sus etapas. De lo contrario, se podrían perder los beneficios de la aplicación de ciertas prácticas en unas etapas, si las etapas posteriores, por ejemplo, ocasionan un incremento de residuos o de riesgos medioambientales.

Se propone, hacer un seguimiento de la sostenibilidad de la cadena de suministro en cada una de las etapas de la misma, desde el origen del recurso, pasando por la producción agrícola y ganadera en la granja, la transformación de los alimentos (primaria, posterior y final), transporte, venta al por mayor y al por menor de los alimentos y los servicios alimentarios, esto es, en cada una de las compañías y procesos integrantes de la misma. Además, la información relativa a las prácticas sostenibles llevadas a cabo en la SC en cuestión debe incluir de forma objetiva y con el mismo grado de importancia, las tres dimensiones de sostenibilidad definidas en apartados anteriores, la dimensión económica, la dimensión social y la medioambiental.

A continuación, se muestra un gráfico que presenta los distintos eslabones de la cadena de suministro agroalimentaria, en relación con las tres dimensiones de sostenibilidad a considerar para el seguimiento de la misma en la cadena de suministro:

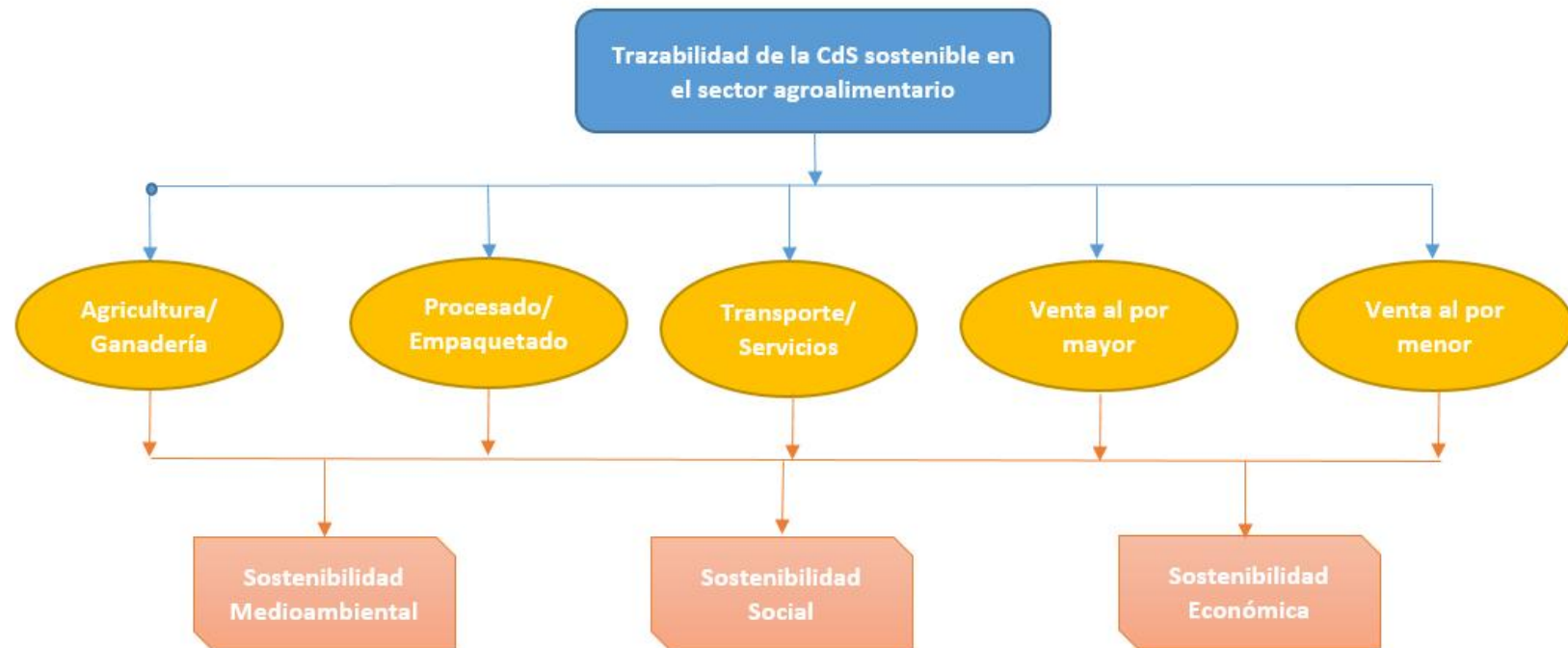


Figura 6: Seguimiento de la sostenibilidad la CdS del sector agroalimentario.

Se propone considerar como información a tener en cuenta en la trazabilidad de la cadena de suministro alimenticia los elementos propuestos por Opara (2003) mencionados en el punto 4.2.2: trazabilidad del producto, trazabilidad del proceso, trazabilidad genética, trazabilidad de los insumos, trazabilidad de las enfermedades y plagas, y trazabilidad de la medición centrada en la cadena agroalimentaria.

Cabe destacar que la transparencia entre los actores de la cadena de suministro es importante para el intercambio de datos. Cada actor es responsable de mantener y comunicar su propia información de producto, proceso y transformación.

El objetivo es complementar el sistema de trazabilidad tradicional en el sector de la alimentación con datos, información y evidencias de las prácticas sostenibles llevadas a cabo a lo largo de la cadena.

En este sentido, cabe recordar que en la revisión de la literatura realizada no se ha encontrado un sistema definido y estandarizado para la trazabilidad de una cadena de suministro sostenible en el sector de la alimentación.

## 5.2 Normativa sobre Trazabilidad de la CdS sostenible

Tal y como se ha comentado en el punto 4.2 de este documento, la normativa referente a la trazabilidad en alimentación se centra en temas de calidad, seguridad y salud. No existe una normativa que regule y defina la trazabilidad de la sostenibilidad en las CdS. Además, la sostenibilidad de la CdS no es algo obligatorio a cumplir por parte de las empresas integrantes.

Debido al gran impacto medioambiental, económico y social que tiene la actividad del sector de la agroalimentación, la aplicación de prácticas sostenibles en todos los eslabones de la cadena es de gran importancia para la subsistencia de las futuras generaciones. La sostenibilidad comprende acciones no exigidas de forma obligatoria por la ley, pero que son necesarias para mejorar de manera significativa el rendimiento social y medioambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, satisfaciendo además, las necesidades de los clientes y siendo viable económicamente.

- Aunque no hay una normativa como tal para la trazabilidad de la sostenibilidad de las CdS de alimentos, existen distintas regulaciones para los llamados alimentos ecológicos. En cuanto a la responsabilidad social, no existen regulaciones como tal, pero sí iniciativas y comunicaciones a nivel europeo y estatal que intentan fomentar la sostenibilidad social en las empresas. A pesar de que las nombradas regulaciones de alimentos ecológicos e iniciativas sociales no son consideradas obligatorias, ni forman parte de un sistema de trazabilidad que considera las tres dimensiones de sostenibilidad, las prácticas sostenibles que se definen en ellas, serán consideradas en la propuesta de este trabajo. Las premisas en que se basa la certificación de sellos ecológicos y las guías aportadas por las iniciativas que promueven la sostenibilidad social, desarrolladas en los puntos 4.4.1 y 4.4.2 serán consideradas como

prácticas a seguir/trazar en el sistema de trazabilidad propuesto, desarrollado concretamente en el apartado 5.4-*Gestión de la Información* de este trabajo. Es decir, la certificación de sellos ecológicos, se basa en el cumplimiento de ciertas prácticas sostenibles desde el punto de vista medioambiental en la producción de alimentos. Algunas de las prácticas a cumplir son, tratamientos del suelo que deben respetar la vida y fertilidad natural del suelo, el uso de semillas y materiales de reproducción vegetativa ecológicos, los animales deben nacer y criarse en explotaciones ecológicas y los piensos deben ser de origen ecológico. De la misma forma, las iniciativas que promueven la sostenibilidad social, también serán consideradas en la propuesta. Entre dichas iniciativas o prácticas están, la igualdad de oportunidades y diversidad, la seguridad y salud, cooperación y alianzas entre empresas.

### 5.3 Dispositivos

Para la trazabilidad de la CdS sostenible en el sector de la agroalimentación se propone la utilización del sistema RFID.

Tal y como se ha desarrollado en el punto 4.3 de este trabajo, el sistema RFID es una de las tecnologías más recientes y con más potencial de implementación en el sector de la alimentación, que está desplazando al tradicional código de barras, puesto que tiene una mayor capacidad de almacenamiento de datos y su escaneo y almacenamiento/obtención de información es más rápido, sencillo, fiable y eficiente, permitiendo compartir información de forma efectiva.

Como se ha presentado en la revisión de la literatura, diversos autores mencionan el sistema RFID como un elemento dirigente en el desarrollo de los sistemas de trazabilidad en la CdS de alimentos. Entre ellos autores como, Costa et al., 2013; Chen, Wangang Jan, 2014; Jdermann et al., 2014; Aung & Chang, 2014 o Badia Melis et al., 2015.

Las cadenas de suministro en el sector de la agroalimentación están formadas mayoritariamente por distintas etapas o eslabones y en muchos casos, dichas etapas se encuentran alejadas físicamente unas de otras. Esto, unido a la cantidad de información que debe captarse y almacenarse, así como, la cantidad de productos que deben gestionarse en las distintas etapas, hacen que la información relacionada con cada producto y eslabón de la cadena sea difícil de gestionar.

RFID permite almacenar información y datos en las distintas etapas de la CdS. Así pues, permitiría que los datos del producto referentes a la sostenibilidad de la cadena fuesen almacenados en cada una de las etapas de la misma, pudiendo ser consultados en cualquier momento. Se propone que la información relativa a la sostenibilidad pueda ser gestionada independientemente de aquella relacionada con la calidad y seguridad de los alimentos para evitar interferencias en la información.

El beneficio del sistema RFID es que no requiere contacto físico para su escaneo, permitiendo así que los productos sean escaneados directamente al pasar por una zona determinada donde se encuentren los lectores y sin necesidad de que sean personas las que hagan el escaneo de los productos. Al pasar el producto por cada etapa de la cadena, la

información relativa a la etapa quedaría guardada en el EPC del producto. Por otro lado, la información relativa a la sostenibilidad de dicha etapa de la cadena guardada en una base de datos quedaría asociada al producto en cuestión. Pudiendo así, disponer de la trazabilidad de sostenibilidad de cada producto en la CdS y de la propia CdS.

Para ello se necesitaría, además, una base de datos para almacenar información relativa a la sostenibilidad de cada etapa y un software correspondiente para asociar la información de sostenibilidad con el EPC del producto.

Nuevas técnicas descritas en apartados anteriores podrían ser utilizadas para apoyar al sistema RFID en la verificación de ciertos parámetros de trazabilidad. Estas técnicas son, el análisis de isótopos estables, análisis de código de barras DNA y la Quimiometría.

Por otro lado, la tendencia más grande en el futuro es la convergencia de los teléfonos inteligentes con el Internet de las Cosas. Dispositivos como los teléfonos inteligentes se convierten en sensores y lectores RFID, que permiten a los consumidores interactuar con objetos del mundo real de una manera mucho más detallada (Aung and Chang 2014).

Actualmente, en la práctica, la única forma de que los consumidores obtengan datos de la sostenibilidad de un producto alimenticio, es con el sello de certificación ecológica, que certifica unas ciertas condiciones de producción de los alimentos. Sin embargo, la propuesta de este trabajo se basa en que, para cada producto se almacene información relacionada con las tres dimensiones de sostenibilidad en cada una de las etapas de la cadena. La tendencia futura sería, además, que esa información pueda ser leída por el consumidor a la hora de seleccionar y adquirir un producto utilizando su móvil como lector (lector RFID o cámara), para que puedan tener información sobre la historia de sostenibilidad de los productos.

## 5.4 Gestión de la Información

Tal y como se describe en apartados anteriores, el objetivo es definir las bases para un sistema de trazabilidad en la cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario. Para ello, es necesario obtener datos de las prácticas sobre sostenibilidad de la cadena de suministro en cada una de las etapas de la misma, desde la producción agrícola y ganadera hasta que el consumidor final obtiene el producto. Además, deben considerarse de forma objetiva y con el mismo grado de importancia, las **tres dimensiones de sostenibilidad** definidas en apartados anteriores, la dimensión económica, la dimensión social y la medioambiental.

En cada una de las etapas de la cadena de suministro en agroalimentación (origen del recurso, producción agrícola y ganadera, transformación de los alimentos, transporte, venta al por mayor y al por menor) debe captarse información relevante de sostenibilidad. Cada una de las empresas que forma parte de la CdS debe responsabilizarse de la recogida y gestión de la información para que pueda ser rastreada a través del sistema de trazabilidad. La información relativa a las prácticas de sostenibilidad llevadas a cabo en cada etapa y proceso de la cadena (propuesto en el apartado 5.5.- *Datos e información para la trazabilidad de la SC en el sector agroalimentario* de este trabajo), deberían ser almacenadas por los responsables de la mencionada etapa de la cadena en un servidor. A través de un software, dicha información

sería transmitida a cada producto al ser escaneado al entrar en dicha etapa de la cadena, quedando los datos almacenados en el dispositivo RFID de cada producto y pudiendo ser leídos posteriormente.

Cada etapa de la cadena de suministro debería tener relaciones con las tres dimensiones de sostenibilidad, llevadas a cabo en cada una de las etapas de la cadena de suministro deberían ser introducidas en un software, de forma que cada producto, al pasar por dichas etapas,

Al igual que en el caso de los sellos ecológicos en los productos alimenticios, se requiere una certificación basada en una regulación determinada, la información que se maneje para la trazabilidad de la sostenibilidad en la CdS también debería estar sujeta a controles por parte de organizaciones, para asegurar la fiabilidad y transparencia de la misma. Una propuesta que se plantea es que, las mismas organizaciones que lideran el tema de la certificación ecológica, dieran un paso más allá, para considerar, además, la sostenibilidad en todo su conjunto (social, medioambiental y económica) en el sector de la alimentación.

## 5.5 Datos e información para la trazabilidad de la sostenibilidad en la SC en el sector agroalimentario

En apartados anteriores se indica que para que una cadena de suministro en el sector de la alimentación sea sostenible, deben aplicarse prácticas en cada una de las etapas de la cadena que fomenten la sostenibilidad en sus tres dimensiones. La aplicación de dichas prácticas tiene un objetivo común en todas las cadenas de suministro que es la sostenibilidad de la misma. Para cada cadena de suministro, las prácticas a aplicar pueden ser distintas, ya que los procesos de producción y la estructura de las cadenas difieren de unos a otros. Esto, unido a la falta de estándares en temas de sostenibilidad en la cadena de suministro y a la falta de normativas relacionadas, lleva a la necesidad de una propuesta para la trazabilidad de la sostenibilidad en la CdS.

En base a las definiciones de sostenibilidad y cadena de suministro sostenible descritas en base a la literatura en los apartados 3.1, 3.3 y 3.6, se propone hacer una diferenciación entre datos a seguir, trazar y almacenar, referentes a la sostenibilidad para cada uno de los ámbitos de sostenibilidad, que son el económico, el medioambiental y el social.

En el punto 3.5 de este trabajo se describen prácticas que son consideradas como fundamentales para la gestión sostenible de la cadena de suministro. Se propone que dichas prácticas sean consideradas en la trazabilidad de la cadena de suministro sostenible. Las prácticas mencionadas son las siguientes: Estrategia sostenible de la cadena de suministro que se basa en dar igual importancia a las tres dimensiones de sostenibilidad para gestionar la cadena, continuidad en la red de suministro mediante prácticas para construir relaciones a largo plazo entre los distintos actores de la cadena, colaboración para la integración técnica y logística de los distintos actores de la CdS, adopción de diversas prácticas para la gestión de riesgos y pro-actividad para la sostenibilidad.

Por otro lado, también cabe destacar la importancia del papel de la innovación en la sostenibilidad, para lograr cambios tecnológicos y sociales ambientalmente sostenibles, así como también, en términos económicos y sociales.

A continuación, se hace una propuesta de los datos a seguir y almacenar para cada uno de los eslabones de la cadena de suministro en el sector de la alimentación. Dicha propuesta está basada o desarrollada en la información encontrada en la literatura. Respecto a la dimensión económica, los datos se basan en la propia definición de sostenibilidad económica dada en el apartado 3.3. Los datos o prácticas de sostenibilidad medioambiental han sido desarrollados a partir de las ideas y prácticas ya descritas en el punto 3.4, como son las prácticas sostenibles desde el punto de vista medioambiental definidas por Hassini et al., 2012; las prácticas que Gliessman-Turrialba y Stephen, 2002 definen para la agricultura y ganadería sostenibles en el punto 3.7, y el apartado 4.4.1 con las regulaciones de los productos ecológicos. Por otro lado, las prácticas para la sostenibilidad social han sido propuestas considerando la literatura descrita en los apartados: 3.4 con prácticas mencionadas mayoritariamente por Ashby et al., 2011 y Dyllick & Hockerts, 2002; 3.6 y 4.4.2 con las iniciativas para la responsabilidad social.

## Dimensión económica

Datos relativos a prácticas sostenibles a seguir, trazar y almacenar, desde el punto de vista económico, en cada etapa de la cadena de suministro:

- Viabilidad económica y Creación de crecimiento económico  
El producto cumple las necesidades de los clientes y es competitivo en el mercado. Economía abierta y competitiva.
  - Cantidad de ventas anuales
  - Beneficios generados

## Dimensión social

Datos relativos a prácticas sostenibles a seguir, trazar y almacenar, desde el punto de vista social, en cada etapa de la cadena de suministro:

- Igualdad de oportunidades y equidad laboral  
Prácticas que promuevan la no discriminación por sexo, igualdad de género u otros factores, en la propia empresa. Balance de trabajadores entre hombres y mujeres.

Por ejemplo, promover un balance equitativo de mujeres y hombres en un determinado puesto, o tipo de puesto de trabajo.

- Descripción de las prácticas aplicadas para mejorar la seguridad y salud de los trabajadores
- Periodo de tiempo o inicio de aplicación de las prácticas

➤ Salud, seguridad, nutrición y calidad de vida

Prácticas que procuren puestos de trabajos seguros y saludables, den facilidades para mejorar la salud de los trabajadores y su atención sanitaria, mejoren la salud y nutrición de los consumidores y la sociedad, promuevan la conciliación familiar, denuncien el trabajo infantil etc.

Por ejemplo, proporcionar un comedor para trabajadores con comida cocinada diariamente y con variedad de platos, o proporcionar/facilitar a los trabajadores servicios adicionales de revisiones médicas según el tipo de trabajo, para prevenir posibles enfermedades.

- Descripción de las prácticas aplicadas para mejorar la seguridad y salud de los trabajadores
- Relación de mejoras u efectos obtenidos
- Periodo de tiempo o inicio de aplicación de las prácticas

➤ Creación de empleo productivo

Mantenimiento y crecimiento de las cifras de empleo y salario.

Por ejemplo la creación y mantenimiento de puestos de trabajo, total o mayoritariamente, fijos y a largo plazo.

- Descripción de las prácticas aplicadas para la creación de empleo productivo
- Relación de mejoras u efectos obtenidos
- Periodo de tiempo o inicio de aplicación de las prácticas

➤ Filantropía

Prácticas que lleven a colaborar en crear el bien social fuera de la empresa y de la actividad económica propia.

Por ejemplo, construir un museo de arte para una ciudad o colaborar con ONGs.

- Descripción de las prácticas aplicadas en crear el bien social fuera de la empresa
- Periodo de tiempo o inicio de aplicación de las prácticas



## Dimensión medioambiental

Datos relativos a prácticas medioambientales a seguir, trazar y almacenar, desde el punto de vista social, en cada etapa de la cadena de suministro:

### **1 Agricultura y ganadería**

#### ➤ Uso de técnicas para optimizar el uso y consumo de agua y energía

Por ejemplo, uso de técnicas de regadío controladas electrónicamente para aportar la cantidad de agua necesaria y en el momento requerido para el cultivo.

- Descripción de las técnicas usadas
- Relación de mejoras obtenidas
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas

#### ➤ Uso de técnicas de cultivo poco agresivas frente a las técnicas de cultivo tradicionales para favorecer la regeneración de los suelos

Por ejemplo, cultivo rotativo con alternancia de estaciones para cultivo permitiendo la regeneración del suelo.

- Descripción de las técnicas usadas
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas

#### ➤ Cultivo Local (frente a cultivo global y procedente de países situados en continentes diferentes).

Por ejemplo, cultivar en la huerta de Valencia y comercializar los productos dentro de la Comunidad Valenciana.

#### ➤ Uso de semillas ecológicas frente a las transgénicas y/o componentes ionizantes

- Tipo, naturaleza y origen de las semillas utilizadas y componentes
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación del uso de las semillas y componentes nombrados

#### ➤ Emisiones gases efecto invernadero año

Por ejemplo, uso de placas fotovoltaicas para la generación y consumo propio de energía eléctrica.

- Descripción de las técnicas usadas para reducir las emisiones de gases al ambiente
- Relación de mejoras obtenidas
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas
- Cantidad de CO<sub>2</sub> emitido

➤ Gestión del origen y trato del ganado / animales

- Tipo, naturaleza y origen del ganado
- Técnicas de trato del ganado
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas

➤ Uso de productos fito-farmacéuticos aprobados

- Tipo, naturaleza y origen de los productos fito-farmacéuticos utilizados
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de los productos

## **2 Procesado, Envasado, Venta al por mayor y al por menor**

➤ Uso de técnicas para optimizar el uso y consumo de agua y energía

Por ejemplo, reutilización del agua de lluvia en las instalaciones sanitarias.

- Descripción de las técnicas usadas
- Relación de mejoras obtenidas
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas

➤ Emisiones gases efecto invernadero por año

Por ejemplo, instalación y uso de filtros en chimeneas, que retengan ciertos componentes químicos generados por el proceso productivo.

- Descripción de las técnicas usadas para reducir las emisiones de gases al ambiente
- Relación de mejoras obtenidas
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas
- Cantidad de CO<sub>2</sub> emitido

➤ Vertidos al medio ambiente por año

Por ejemplo, recogida de vertidos o aguas contaminadas generadas en el proceso productivo para llevarlas a plantas de tratamiento especializadas.

- Descripción de las técnicas usadas para reducir o evitar los vertidos tóxicos y nocivos al ambiente
- Relación de mejoras obtenidas
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas
- Cantidad/Litros de vertidos emitidos

➤ Cantidad y calidad de los desechos anuales producidos

Por ejemplo, utilizar materiales respetuosos con el medio ambiente y reciclables, o reutilizar la totalidad o parte de productos de desecho para otros posibles usos.

- Cantidad y tipo de desechos generados anualmente
- Descripción de técnicas usadas para reducir o evitar la cantidad de desechos
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas

➤ Desechos generados al final de la vida del producto incluyendo embalajes

Por ejemplo, reducir el embalaje del producto o usarlo de material reciclable.

- Cantidad y tipo de desechos generados
- Descripción de técnicas usadas para reducir o facilitar el reciclaje de dichos desechos
- Periodo de tiempo o inicio de la implementación de las técnicas

### **3 Transporte**

➤ Concepto Footprint

- Emisiones CO<sub>2</sub> por camión de transporte (grs. de CO<sub>2</sub>)/cantidad de productos transportados
- Distancia recorrida del camión

Dicha información debe estar disponible tanto para uso de los propios integrantes de la cadena, como para los consumidores. Se propone ofrecer la información para cada dimensión de la sostenibilidad por separado.

En la siguiente figura, se muestran a modo resumen, los datos referentes a las prácticas sostenibles seguir y almacenar para la trazabilidad de la cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario, propuestos en este apartado:

Sostenibilidad Económica	Sostenibilidad Medioambiental	Sostenibilidad Social
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viabilidad económica y creación de crecimiento económico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>AGRICULTURA Y GANADERIA</b></li> <li>• Uso de técnicas para optimizar el uso y consumo de agua y energía</li> <li>• Uso de técnicas de cultivo poco agresivas frente a las técnicas de cultivo tradicionales para favorecer la regeneración de los suelos</li> <li>• Cultivo Local</li> <li>• Uso de semillas ecológicas frente a las transgénicas y/o componentes ionizantes</li> <li>• Emisiones gases efecto invernadero año</li> <li>• Gestión del origen y trato del ganado / animales</li> <li>• Uso de productos fitofarmacéuticos aprobados</li> <li>• <b>PROCESADO, ENVASADO, VENTA AL POR MAYOR Y AL POR MENOS</b></li> <li>• Emisiones gases efecto invernadero por año</li> <li>• Vertidos al medio ambiente por año</li> <li>• Cantidad y calidad de los desechos anuales producidos</li> <li>• Desechos generados al final de la vida del producto incluyendo embalajes</li> <li>• <b>TRANSPORTE</b></li> <li>• Concepto <i>Footprint</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Igualdad de oportunidades y equidad laboral</li> <li>• Salud, seguridad, nutrición y calidad de vida</li> <li>• Creación de empleo productivo</li> <li>• Filantropía</li> </ul>

Figura 7: Datos e Información para la trazabilidad de la sostenibilidad de la SC en el sector agroalimentario.

## 6. Conclusión

En base a la literatura existente se ha procedido a analizar previamente el concepto y definición de sostenibilidad, tanto de forma genérica, como aplicado a la cadena de suministro, para poder conocer sus implicaciones e impactos en la cadena y en particular a la cadena de suministro en el sector agroalimentario. Posteriormente ha sido definido el concepto de trazabilidad de una cadena de suministro y se han presentado las características de un sistema de trazabilidad en la SC en alimentación, los últimos avances en sistemas de trazabilidad, así como, la normativa específica en trazabilidad en el sector de la alimentación. A partir de dichos conceptos, se ha propuesto la definición de trazabilidad de la cadena de suministro sostenible en el sector de la agroalimentación.

Puesto que no se han encontrado normativas específicas para la trazabilidad de la cadena de suministro **sostenible** en agroalimentación, han sido consideradas regulaciones sobre alimentos ecológicos e iniciativas que intentan promover la sostenibilidad social en las empresas.

Con esto, se propone finalmente las bases de un sistema de trazabilidad para la cadena de suministro sostenible en el sector de la alimentación, incluyendo la forma de gestionar la información, los dispositivos a utilizar y los datos a rastrear para poder determinar cómo de sostenible es una cadena de suministro. Se propone un sistema de trazabilidad basado en la tecnología RFID que capte cierta información propuesta sobre sostenibilidad de la cadena de suministro en el ámbito económico, medioambiental y social de la sostenibilidad en cada una de las etapas de la cadena en el sector agroalimentario. Los datos a seguir propuestos han sido determinados para cada una de las etapas en el proceso de obtención de alimentos atendiendo a las características relacionadas con la sostenibilidad encontradas en la literatura. Se trata de ampliar el sistema de trazabilidad tradicional existente de las cadenas alimenticias, con datos que permiten seguir y rastrear en cualquier punto de la cadena, información sobre las prácticas de sostenibilidad aplicadas en dicha cadena.

En el punto 2 del presente Trabajo Final de Máster se define como objetivo del mismo, el definir las bases de un sistema de trazabilidad de una cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario. Esto, a partir de las características y propiedades específicas, existentes en la literatura, de la cadena de suministro sostenible en el sector agroalimentario, así como, de las características de un sistema de trazabilidad en el sector agroalimentario, los últimos avances en sistemas de trazabilidad, y la normativa específica en trazabilidad en el sector de la alimentación.

Considerando los apartados desarrollados y las conclusiones expuestas en este apartado, se consideran alcanzados los objetivos propuestos inicialmente.

A partir de este trabajo surge por un lado, el planteamiento de una posible línea de investigación futura referente a evaluar y medir la sostenibilidad de la cadena, que pueda llegar a ampliar este tema en el contexto de la trazabilidad de la cadena de suministro, y por otro

lado, aparece la posibilidad de plantear la aplicación de dicha temática a una empresa o a una cadena de suministro real.

## 7. Bibliografía

- ❖ Alison Ashby, M. L.-S. (2006). The sustainability of the supply chain for fresh potatoes in Britain. *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 11. Emerald Group Publishing Limited.
- ❖ Alison Ashby, M. L.-S. (2011). Making connections: a review of supply chain management and sustainability literature. *School of Business Management*.
- ❖ Beamon, B. M. (2008). Sustainability and the Future of Supply Chain Management. *Operations and Supply Chain Management*.
- ❖ Dyllick T., H. K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Bus. Strat. Environ.*
- ❖ Ecoagricultor. (2017). Obtenido de <http://www.ecoagricultor.com>. Accedido 15/06/2017.
- ❖ Elkafi Hassini, C. S. (2012). A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal of Production Economics*.
- ❖ EOI wiki. (2017). Obtenido de [http://www.eoi.es/wiki/index.php/Directrices,\\_normas\\_y\\_guías\\_internacionales\\_en\\_Responsabilidad\\_Social\\_y\\_Sostenibilidad\\_Empresarial](http://www.eoi.es/wiki/index.php/Directrices,_normas_y_guías_internacionales_en_Responsabilidad_Social_y_Sostenibilidad_Empresarial). Accedido 15/06/2017.
- ❖ Gliessman-Turrialba, S. R. (2002). Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible.
- ❖ Ifeelmaps. (2017). Obtenido de <http://www.ifeelmaps.com/blog/2014/05/la-certificacion-ecologica-sellos-y-su-significado>. (Accedido 14/06/2017).
- ❖ Jens Hamprecht, D. C. (2005). Controlling the sustainability of food supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- ❖ Joseph Sarkis, N. Y. (2013). Sustainable benchmarking of supply chains: the case of the food industry. *International Journal of Production and Research*.
- ❖ Mapama. (2017). Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica>. Accedido 14/06/2017 .
- ❖ Margot J. Hutchins, J. W. (2008). An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions . *Journal of cleaner production*.
- ❖ Martin Müller, P. R. (2008). Sustainability and supply chain management - An introduction to the special issue. *Journal of cleaner production*.
- ❖ Natalia Yakovleva, J. S. (2011). Sustainable benchmarking of supply chains: the case of the food industry. *International Journal of Production Research*.
- ❖ P.W Gerbens-Leenes, H. M. (s.f.). Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems. *Ecological Economics*.
- ❖ Philip Beske, A. L. (2013). Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature . *Int. J. Production Economics*.

- ❖ *RFID Journal*. (2017). Obtenido de <http://espanol.rfidjournal.com>. Accedido 22/06/2017.
- ❖ Selwyn PIRAMUTHU, W. Y. (2016). *RFID and Sensor Network Automation in the Food Industry - Ensuring Quality and Safety through Supply Chain Visibility*. Wiley Blackwell.
- ❖ Stefan Schaltegger, R. B. (2014). Measuring and managing sustainability performance of supply chains Review and sustainability supply chain management framework. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- ❖ Stefan Seuring, M. M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management\_2008\_. *Journal of Cleaner Production*.
- ❖ WCED. (1987). *WCED (World Commission on Environment & Development). Our common future*. Oxford: Oxford University Press.
- ❖ Wikimedia. (Accedido 02/05/2017). [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Desarrollo\\_sostenible.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Desarrollo_sostenible.svg).
- ❖ Wolf, a. (1995). Producción ecológica de alimentos: una política de producción de alimentos para Gran Bretaña. *Instituto de Investigaciones sobre Políticas Públicas*.
- ❖ Yakovleva, N. (2007). Measuring the Sustainability of the Food Supply Chain: A Case Study of the UK. *Journal of Environmental Policy & Planning*.
- ❖ Yakovleva, N. (2011). Innovation and sustainability in the food system: A case of chicken production and consumption in the UK. *Journal of Environmental Policz and Planning*.
- ❖ Aung, Myo Min, and Yoon Seok Chang. 2014. "Traceability in a Food Supply Chain: Safety and Quality Perspectives." *Food Control*.
- ❖ Badia-Melis, R., P. Mishra, and L. Ruiz-García. 2015. "Food Traceability: New Trends and Recent Advances. A Review." *Food Control*.
- ❖ Karlsen, Kine Mari, Bent Dreyer, Petter Olsen, and Edel O. Elvevoll. 2013. "Literature Review: Does a Common Theoretical Framework to Implement Food Traceability Exist?" *Food Control*.
- ❖ Mattevi, Mattia, and Jeffrey A. Jones. 2016. "Traceability in the Food Supply Chain: Awareness and Attitudes of UK Small and Medium-Sized Enterprises." *Food Control*.
- ❖ Olsen, Petter, and Melania Borit. 2013. "How to Define Traceability." *Trends in Food Science & Technology*.
- ❖ Pizzuti, Teresa, Giovanni Mirabelli, Miguel Angel Sanz-Bobi, and Fernando Gómez-González. 2014. "Food Track & Trace Ontology for Helping the Food Traceability Control." *Journal of Food Engineering*.
- ❖ Seuring, Stefan, and Martin Müller. 2008. "From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management." *Journal of Cleaner Production*.