

Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas

Perspective of traceability in the food supply chain: An Approach from System Dynamics

Milton Mauricio Herrera Ramírez
Universidad Piloto de Colombia
Facultad de Ingeniería
Bogotá- Colombia
milton-herrera@upc.edu.co

Javier Arturo Orjuela Castro
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Bogotá- Colombia
jorjuela@udistrital.edu.co



Resumen

El presente artículo muestra un modelo causal desarrollado en dos niveles, uno general basado en el comportamiento dinámico de la cadena de suministro de frutas, y otro específico para la implementación de tecnologías de trazabilidad en la cadena. Surge de la necesidad de identificar la dinámica de la implementación de tecnologías de trazabilidad en la cadena de frutas. La hipótesis dinámica establecida fue: “El comportamiento dinámico de planeación e implementación de tecnología genera un efecto en la transformación, calidad, asignación de recursos, inventarios y trazabilidad del sistema (cadena de suministros frutícola)”.

El modelo causal fue obtenido a partir de una detallada y rigurosa revisión de la literatura y de estudios específicos del sector de frutas en Colombia sobre el tema de la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos a partir de las perspectivas de dinámica de sistemas, integración, optimización y tecnologías de trazabilidad. Existen pocos trabajos en trazabilidad con un enfoque como el abordado en este trabajo. El desarrollo permitió incluir, en los diagramas causales, una serie de factores no tenidos en cuenta en trabajos previos. Los resultados obtenidos a través del análisis causal propuesto, bajo la metodología de dinámica de sistemas, implican la inclusión del efecto de la implementación de tecnología de trazabilidad en la cadena de suministro de frutas y sus relaciones con la capacidad de inversión y la calidad de un producto.

Palabras claves: Trazabilidad, gestión e implementación de tecnología, cadenas de suministro, dinámica de sistemas, optimización, integración, frutas, alimentos.

Abstract

This paper presents a causal model developed at two levels. The first one is based on the overall dynamic behavior of the fruit supply chain. The second one is a specific technologies model for implementing traceability in the chain. This model arises from the need to identify the dynamics in implementing traceability technologies for the fruit chain. The study was conducted under the following premise: “The dynamic behavior of planning and implementation of technology generates an effect on transformation, quality, resource allocation, inventory and a traceability system (fruit supply chain)”.

The causal model was obtained from a detailed and rigorous review of the literature and studies related to the fruit sector in Colombia, on the issue of traceability in the supply chain of food from the perspective of system dynamics, integration, optimization and tracking technologies. There are few studies with a focus on traceability as discussed in this paper. We remark that the developed causal diagrams include a number of factors not considered in previous works. The results obtained through the proposed causal analysis, under the methodology of system dynamics, implied the inclusion of the effect of the implementation of traceability technology in the supply chain of fruits and their relationships with investment capacity and quality of a product.

Palabras claves: Traceability, managing and implementing technology, supply chain, system dynamics, optimization, integration, fruits, food.

Recibido: 09-04-2014
Modificado: 21-07-2014
Aceptado: 11-10-2014

1. Introducción

El origen de la visión de cadena de abastecimiento podría remontarse a Forrester [1] en su trabajo *Dinámica Industrial* (1958), complementado con Sterman [2] al proponer el juego de la cerveza estudiando el efecto látigo (*bullwhip*), lo que condujo a una visión sistémica [3]. De acuerdo con Oliver & Webber [4], la expresión *gestión de la cadena de abastecimiento* (SCM en inglés) aparece en la década de los ochenta y evoluciona rápidamente [5]. A partir de entonces muchos enfoques han aparecido, según Melnyk et al. [3].

En el sector frutícola, a pesar de las ventajas con las que el país cuenta frente a otros en términos de oferta de clima, suelo y de posición geográfica para el cultivo de frutas, se presentan problemas a lo largo de los eslabones de la cadena de abastecimiento por problemas relativos a las técnicas de cultivo, sobreoferta de producto, tecnología utilizada, estándares de calidad, sistemas de almacenamiento, transporte, costos logísticos y sistemas de seguimiento y control, que dejan rezagada la cadena frutícola colombiana frente a las de otros países latinoamericanos [6]. Durante el segundo trimestre de 2010, el sector de las frutas creció 10,4 %, exceptuando el banano, el cual presentó decrecimientos en 9,5 %. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el crecimiento en frutas está justificado por el incremento en las áreas sembradas y de los rendimientos [7].

La falta de trazabilidad en los procesos de la cadena de suministro genera pérdidas en calidad y producción. El seguimiento y control en los procesos de almacenamiento, distribución y transformación de la cadena de suministro es primordial para garantizar la calidad de los alimentos, especialmente en procesos con alta variabilidad. En este sentido, las tecnologías de trazabilidad permiten el control y seguimiento en los procesos de la cadena de suministro de alimentos. La implementación de tecnologías de trazabilidad necesita de una planeación adecuada, para ello es necesario abordar la complejidad del sistema. En este contexto, comprender la relación de variables que influyen en la implementación de tecnologías de trazabilidad en la cadena de suministros de alimentos requiere de un análisis sistémico que permita identificar relaciones que regulan su comportamiento.

El presente artículo desarrolla un modelo causal, obtenido a partir de una detallada y rigurosa revisión de la literatura y de estudios específicos del sector de frutas en Colombia. Este estudio surge de la necesidad de encontrar la dinámica de la cadena de frutas en lo que respecta a la trazabilidad. De los aportes generados por diversos autores que han abordado el tema de la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos bajo la perspectiva dinámica de sistemas, integración, optimización y tecnologías de trazabilidad, se plantea una hipótesis dinámica que permite desarrollar el diagrama causal general para la cadena y específico para trazabilidad.

El capítulo dos presenta la metodología, tanto para la elaboración del estado del arte, como de la construcción del diagrama causal. El tercer capítulo desarrolla el estado del arte organizado en tres secciones, el desarrollo del concepto de trazabilidad, los enfoques desarrollados por investigadores, lo que permite acercarse a una taxonomía y concluye con las tecnologías usadas en trazabilidad. En el capítulo cuarto se presenta el modelado, el cual comprende un diagrama causal general de los factores de la cadena incidentes en la trazabilidad y el diagrama causal específico para la implementación.

2. Metodología

2.1. Revisión sistemática de literatura

La revisión sistemática de la literatura en la temática de *traceability* y *supply chain* se llevó a cabo a través de la construcción de un algoritmo de búsqueda y selección de descriptores de búsqueda en las siguientes bases de datos: *Science Direct*, *Scopus*, *Proquest* y *Emerald*. Las fórmulas de búsqueda fueron *Traceability Supply Chain*, *Optimization Traceability*, *Traceability technology Supply Chain*, *Traceability picking operation*, *Traceability food Supply Chain*, *Traceability Supply Chain fruit*.

La revisión bibliográfica permitió identificar la dinámica de la literatura relacionada (Figura 1). Desde el año 2004 hasta el 2008 se produce un incremento del número de publicaciones (70 %) en la temática de trazabilidad en las cadenas de suministro, y se estanca hasta el 2012.

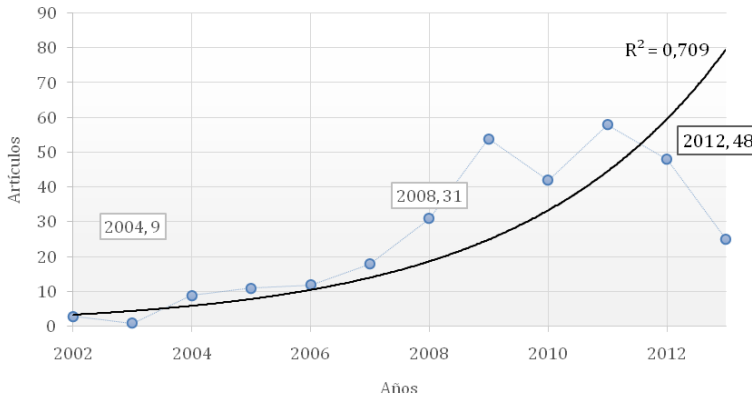


Figura 1. Tendencia histórica de publicaciones en la temática *traceability* y *supply chain*.

Fuente: elaboración propia a partir de *Scopus*.

En la Figura 2 se evidencia un incremento sostenido, desde 1992, de publicaciones sobre trazabilidad en cadenas de suministro. De la dinámica de publicaciones, destaca el aumento entre los años 2007 y 2011, con un 64,94 % con respecto al período inmediatamente anterior.

Se puede observar la importancia que genera la trazabilidad en la cadena de suministro. En esta vía, también son relevantes las publicaciones enfocadas en tecnologías de trazabilidad y optimización de procedimientos de trazabilidad (Figura 3). El uso de métodos de optimización que garanticen la trazabilidad en los procesos de la cadena de suministro es un tema que ha crecido de manera sostenible en las bases de datos.

Cada uno de los aspectos seleccionados (trazabilidad en la cadena de suministro, cadena de suministro de alimentos, tecnología, operaciones de alistamiento([*picking*]) y optimización) es fundamental en la determinación y caracterización de procesos logísticos. En la Figura 4 se puede observar la trascendencia a nivel de publicaciones para los temas seleccionados con respecto a la trazabilidad de las cadenas de suministro.

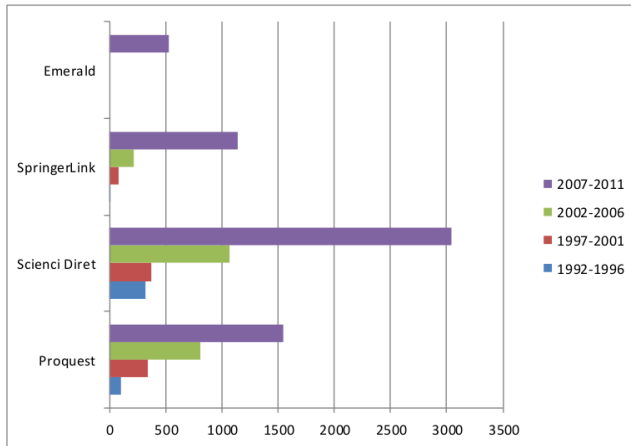


Figura 2. Dinámica de publicaciones en trazabilidad y cadena de suministro.

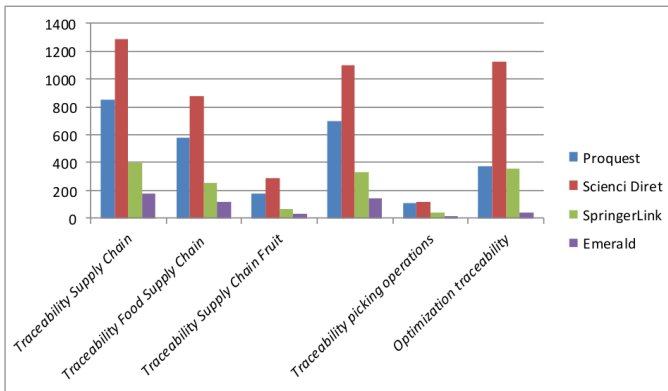


Figura 3. Dinámica de publicaciones por descriptores asociados a las bases de datos consultadas.

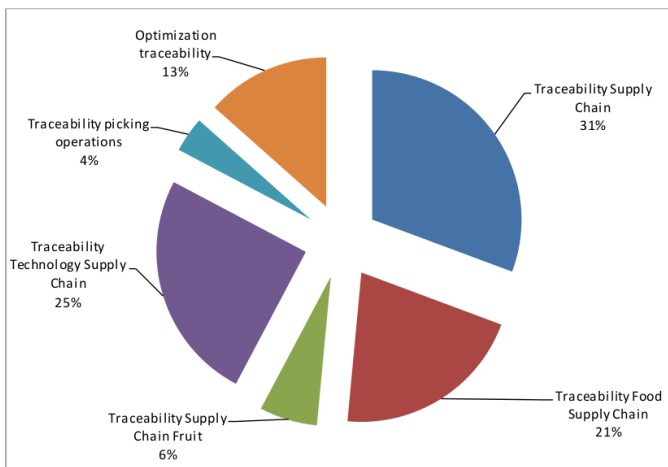


Figura 4. Participación porcentual de temas relacionados con la trazabilidad en las bases de datos consultadas.

La temática relacionada con trazabilidad y la cadena de suministro ocupa el primer lugar de importancia con el 31 % de artículos en esta categoría, seguido de la tecnología de trazabilidad en la cadena de suministro con el 25 % de artículos. Este último, favorecido en gran medida por el avance tecnológico en sistemas de trazabilidad de productos. Como lo señalan Herrera & Becerra [8], la perspectiva de la gestión de la tecnología en la cadena de suministros produce un efecto sistémico en cada uno de los elementos o empresas que intervienen. En cuarto lugar, se encuentra el tema relacionado con la optimización en la trazabilidad con un 13 % de publicaciones que contemplan la trazabilidad interna y externa de la cadena de suministros. En esta vía, las publicaciones relacionadas con las operaciones de picking y trazabilidad emplean métodos de optimización, y contribuyen con el 4 % de publicaciones.

2.2. Modelamiento causal

A partir de la revisión de la literatura y de estudios de la cadena de frutas, así como de la observación en tres empresas procesadoras de frutas, se estableció el diagrama causal, con la metodología propuesta por Sterman [9], en la que se determinan los siguientes aspectos para el modelado:

- a) Definición del problema
- b) Identificación de variables claves
- c) Desarrollo del diagrama causal a través del modelo de referencia (revisión literaria y observaciones y datos de compañías procesadoras de frutas).
- d) Especificación del alcance del diagrama.

Igualmente, se tuvieron en cuenta los aspectos propuestos por Argyris et al. [10], Morecroft & Sterman [11] y Kleiner & Roth [12].

3. Revisión de la literatura

3.1. Evolución del concepto

Existe una amplia variedad de definiciones sobre trazabilidad. La de mayor difusión es la propuesta por la *International Organization for Standardization* [13], que se relaciona con la capacidad para seguir históricamente una aplicación o localización de algo que esté bajo consideración u observación. Esta definición, de enfoque norteamericano, se ubica en el contexto del rastreo de un producto o servicio en un horizonte o línea de tiempo, sin tener en cuenta el sistema de trazabilidad particular. El reglamento de la Comunidad Europea (178/2002), por su parte, define la trazabilidad como la posibilidad de realizar un seguimiento en cada una de las etapas de transformación y distribución de un alimento o materia prima utilizada en la producción de alimentos con el fin de identificar el rastro generado en este proceso [14].

La definición propuesta por Golan et al. (citado por [15]) precisa la trazabilidad como un sistema de registro diseñado para rastrear el flujo de productos de una cadena de suministro. Adicionalmente, el sistema de trazabilidad fuera de ser un requisito mínimo de seguridad y control en los alimentos, también va más allá de los estatutos o normas que lo regulan en los diferentes países y genera valor en las compañías [16]. Los autores concuerdan en que la trazabilidad comprende el conjunto de procedimientos que permiten realizar el seguimiento y control de un producto en la cadena de suministro por medio de una herramienta tecnológica, aspecto importante en la cadena de suministro de alimentos.

Moe T. [17] plantea la primera perspectiva conceptual e importancia del tema de trazabilidad en las industrias alimenticias. Propone dos vertientes orientadas hacia el desarrollo conceptual y hacia las aplicaciones e implicaciones que se generan con trazabilidad. Andersen & Gutman [18] relacionan los conceptos de trazabilidad y seguimiento a través de herramientas y programas informáticos. Mousavi et al. [19] abordan la importancia del rastreo y trazabilidad y muestran las diferencias conceptuales de estos términos a través de un caso en las industrias procesadoras de alimentos cárnicos. Posteriormente, Skoglund & Dejmeck [20] acuñan el término “trazabilidad difusa” para los productos procesados en la cadena de suministro frutícola, que presentan una dificultad de rastreo o seguimiento debido a la naturaleza del proceso.

Por otra parte, Alfaro et al. [21] analizan la implementación de procedimientos de trazabilidad en las materias primas del sector agroalimentario. En esta vía, la evolución cronológica en el tema de la trazabilidad para cadenas de suministro empieza a tomar importancia y trascendencia en las aplicaciones particulares en industrias alimenticias y en normatividad de los países desde el año 2005 con los trabajos de Langredo & Benito [14] y Lupie [22]. Estos trabajos son orientados a la implementación y normatividad de trazabilidad. En este sentido, Dessureault [15] realiza una evaluación de costos y beneficios de la implementación de un sistema de tecnología de trazabilidad. La evolución cronológica del concepto de trazabilidad se presenta en la Figura 5. Allí se muestra cómo se han gestado las diversas aplicaciones en la cadena de suministros y el enfoque planteado por algunos autores.

Tras la revisión de la literatura se evidencia la importancia del concepto de trazabilidad, los procedimientos de trazabilidad en la planeación de sistemas de seguimiento y rastreo, la implementación de tecnologías y su ámbito estratégico.

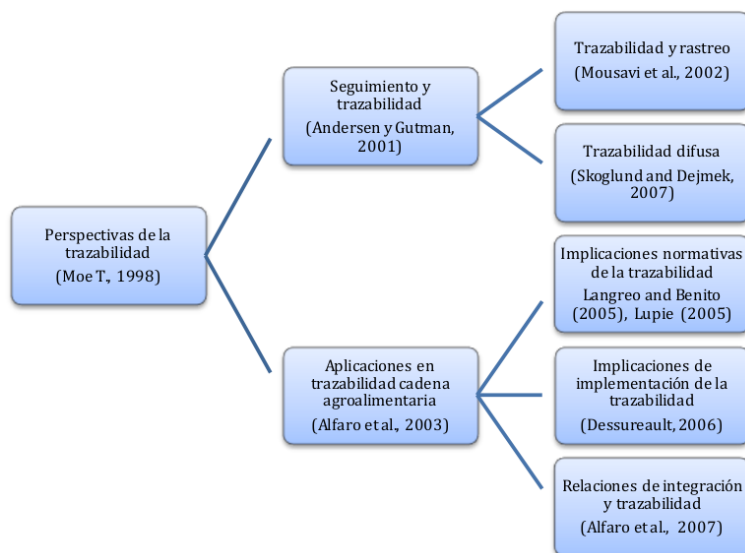


Figura 5. Enfoques o génesis cronológicos del concepto trazabilidad.

3.2. Enfoques en trazabilidad

Con base en el número de citas en la base de datos de *Scopus* se identificaron los artículos de mayor relevancia en los últimos cinco años, los cuales se presentan en la Tabla I. Esto podría considerarse una taxonomía de la temática. Se destaca el número de artículos orientados a la gestión de tecnología y a la estrategia de gestión de operaciones en trazabilidad.

Tabla I. Autores con mayor número de citas en los temas *traceability* y *supply chain*

Autor	Enfoque	Año / No de Citación
Barchetti, U., Bucciero, A., De Blasi, M., Mainetti, L., Patrono, L. [23]	Gestión de diversas tecnologías de trazabilidad	(2010) / 13
Wang, X., Li, D., Li, L. [24]	Estrategia de gestión de operaciones de trazabilidad	(2009) / 7
Zhao, L., Shengnan, S., Wang, X. [25]	Desarrollo de tecnología de rastreo y seguimiento	(2011) / 5
Hu, Z., Jian, Z., Shen, P., Xiaoshuan, Z., Weisong, M. [26]	Modelamiento matemático a través de programación dinámica	(2009) / 4
Zhang, K., Chai, Y., Yang, S.X., Weng, D. [27]	Modelamiento matemático a través de redes neuronales, control difuso y análisis estadístico	(2011) / 3
Zhang, K., Chai, Y., Weng, D., Zhai, R. [28]	Desarrollo de tecnología de rastreo y seguimiento	(2010) / 3
Fenu, G., Garau, P. [29]	Estructura del sistema de trazabilidad	(2009) / 3
Hermosillo, G., Ellart, J., Seinturier, L., Duchien, L. [30]	Estrategia de gestión de operaciones de trazabilidad	(2009) / 3
Campos, J.G., Míguez, L.R. [31]	Estructura del sistema de trazabilidad	(2009) / 3

3.2.1. Enfoque con dinámica de sistemas

En la Tabla II se pueden identificar los estudios en la capacidad productiva (almacenes e inventarios), capacidad de innovación (tiempo de desarrollo e innovación), capacidad laboral y políticas públicas en seguridad alimentaria, en los cuales han sido contempladas estructuras causales. Estos estudios difieren de los modelos clásicos de optimización en la medida en que se agregan variables que hacen que el modelo tenga un enfoque o visión integral. Tal es el caso de la capacidad de innovación, no contemplado por los modelos económicos (indicadores financieros) ni de optimización clásica (programación dinámica).

Tabla II. Análisis de estructuras causales según dinámica de sistemas

Autor	Enfoque	Año	Loop declarados	Descripción
De Marco A., Cagliano A., Nervo M. y Rafele C. [32]	Gestión organizacional	2006	3	Efecto del flujo de órdenes sobre el inventario del almacén
				Efecto de las ventas sobre el inventario del almacén
				Efecto del staff Efecto del personal de Staff y el inventario
				Efecto del tiempo de etiquetado y el inventario en el almacén
Álvarez Y [33]	Políticas de innovación y desarrollo	2006	4	Efecto de precedencia de las actividades de un proyecto I+D
				Efecto del equipo de desarrollo del proyecto I+D
				Efecto del tiempo en la ejecución del proyecto I+D
				Efecto del tiempo de ejecución y factores financieros sobre la calidad del proyecto I+D
Mora A. y Davidsen P. [34]	Políticas de innovación y desarrollo	2006	9	Efecto de desarrollo de nuevos productos
				Efecto calidad del producto
				Efecto de la productividad laboral
				Efecto de la inversión de la capacidad productiva
				Efecto de inversión en investigación y desarrollo
				Efecto de las políticas de gobierno y diseño de capacidades
				Efecto de la capacidad de investigación
				Efecto de la interacción de la academia y la industria en la investigación
Efecto de acumulación de la capacidad de innovación				
Torres M. y Fernández R. [35]	Políticas de innovación y desarrollo	2011	2	Efecto de acumulación del capital físico
				Efecto de acumulación del capital humano y la tecnología

Continúa

Giraldo D., Betancur M. y Arango S. [36]	Seguridad alimentaria	2011	7	Efecto de nacimientos (poblacional)
				Efecto de muertes (poblacional)
				Efecto del precio y la producción de alimentos
				Efecto de adecuación de la tierra y suficiencia de alimentos
				Efecto de infraestructura
				Efecto de área de irrigación
				Efecto de degradación de la tierra (fertilizantes)
Posada J. y Franco C. [37]	Seguridad alimentaria	2011	6	Efecto de pobreza
				Efecto de intervención estatal
				Efecto de tributación
				Efecto de superación de políticas públicas
				Efecto de superación por políticas económicas
				Efecto de compensación de la superación
Orjuela J, Huertas I., Figueroa J., Kalenatic D. y Cadena K.. [38]	Seguridad alimentaria	2011	18	Efectos de seguridad alimentaria
				Efecto políticas agropecuarias
				Efecto políticas energéticas

3.2.2. Enfoque de integración

Se ha desarrollado la integración en la cadena de suministro y sus implicaciones en la seguridad alimentaria y la inocuidad de los productos alimenticios. En este sentido, Alfaro et al. [21] realizan un trabajo en la cadena agroindustrial donde analiza la implementación de un sistema de trazabilidad. Posteriormente se desarrollan en el campo de la integración de la cadena de suministro y la trazabilidad una serie de trabajos ligados particularmente a la gestión de datos como instrumento de integración entre los actores de la cadena de suministro (Figura 6).

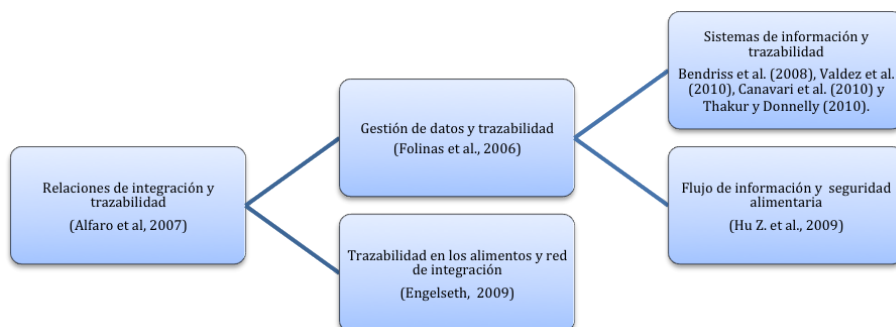


Figura 6. Evolución y enfoques en la relación de integración de la cadena de suministro y la trazabilidad.

La gestión de datos como instrumento de integración en la cadena de suministro es abordada por Folinas et al. [39], mientras el desarrollo y análisis de sistemas de información y trazabilidad en la cadena de suministros es estudiada por Bendriss et al. [40], Valdez et al. [41], Canavari et al. [16] y Takur & Donnelly [42]. Adicionalmente, se encuentra un modelo conceptual de integración de la cadena de suministros de productos alimenticios expuesto por Engelseth [43], Orjuela et al. [44] que aplica el enfoque integral en empresas de servicios y Kalenatic [45] y Herrera [46] que lo aplican en manufactura y gestión de tecnología, respectivamente.

3.2.3. Enfoque optimización

Si bien las investigaciones en trazabilidad conducen a la seguridad en los alimentos y a su calidad en la cadena de suministros, sólo algunos estudios han centrado sus esfuerzos en explorar la optimización o el uso de la investigación de operaciones para los procedimientos de trazabilidad de los alimentos en la cadena de suministros.

Trabajos como el de Dupuy et al. [47] en la industria de alimentos en Francia en un estudio de caso aplican técnicas de programación lineal entera mixta (MILP, su sigla en inglés), como propuesta de solución al problema de dispersión causada por el uso de la materia prima en diferentes productos en cada uno de los lotes de producción. El modelo planteado es demasiado extenso para la aplicación diaria y el seguimiento de cada uno de los parámetros y su alcance se encuentra limitado al análisis de la trazabilidad interna en una compañía. Thakur [48] realiza un modelo MILP que resuelve el problema de optimización de la trazabilidad de los productos y las materias primas utilizadas. El problema contempla múltiples materias primas mezcladas en el proceso de transformación de las pulpas de fruta. El propósito del modelo es mejorar la trazabilidad y minimizar el riesgo que pueden llegar a tener los productos obtenidos de una mezcla de diversas materias primas.

La diferencia entre los modelos planteados por Dupuy y Thakur consiste en que mientras el primero se enfoca en la trazabilidad interna (una compañía), el segundo aborda la trazabilidad externa (un conjunto de compañías) de la cadena de suministro.

Wang et al. [49] exponen un modelo de optimización para la trazabilidad y la planeación de operaciones en productos perecederos, a partir de un modelo de programación lineal entera mixta. Es importante resaltar que en este trabajo se presenta en la función objetivo el análisis del costo de un producto perecedero asociado a un riesgo de seguridad alimentaria en la materia prima. En esta misma vía, Hu et al. [50] estudian la transmisión del riesgo en los alimentos y proponen un modelo basado en la programación dinámica y programación entera en la industria china, donde destaca la trazabilidad en el flujo de información. Algunas de las técnicas utilizadas por los autores consultados para la optimización de los procedimientos de trazabilidad en la cadena de suministros se puede observar en la Tabla III.

Tabla III. Métodos en optimización empleados en trazabilidad en la cadena de suministro

Estudios	Año	Enfoques de Solución
Dupuy C., Botta-Genoulaz V., Guinet A.	2005	MILP
Hu Z., Jian Z., Ping S., Xiaoshuan Z. y Weisong M.	2009	Programación dinámica
Wang X., Li D. y O'Brien C.	2009	MILP
Hu Z., Jian Z., Ping S., Xiaoshuan Z. y Weisong M.	2009	Programación dinámica
Dabbene Fo y Gay Po	2010	MILP
Thakur M., Wang L. y Hurburgh C.	2010	MILP
Wang X., Li D. and O'Brien C.	2010	MILP
Tamayo S., Monteiro T. y Sauer N.	2011	Algoritmos genéticos

Los trabajos realizados en el campo de la trazabilidad de la cadena de suministro se encuentran orientados hacia la seguridad y la calidad de los alimentos. Rijswijk y Frewer [51] presentan un estudio sobre la perspectiva del consumidor en Europa relacionado con la calidad de los alimentos y la trazabilidad percibida. Los resultados del estudio permiten concluir que el consumidor sugiere que el aspecto de trazabilidad es importante y que genera un valor agregado en los productos que la poseen. El trabajo realizado por Kher et al. [52] muestra las ventajas y desventajas de la trazabilidad para alimentos en Europa, los efectos de mitigación del riesgo alimentario y la importancia de las tecnologías de trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos. En este sentido, otros autores desarrollan modelos conceptuales que presentan variables que relacionan la trazabilidad y la cadena de suministro de alimentos [53] [54].

En la Figura 7 se presenta una taxonomía de los métodos empleados para el mejoramiento de los procedimientos de trazabilidad a partir de diferentes autores. Se identifica que el método de mayor uso es la MILP. Igualmente se puede observar el uso de los modelos conceptuales o estructuras que permiten un mejoramiento en los procesos de trazabilidad en la cadena de suministro.

Del total de métodos o técnicas utilizadas en el estudio y mejoramiento de la trazabilidad en la cadena de suministros (Figura 8), el método de mayor uso en optimización es la MILP, que representa 31 % y se evidencia una tendencia hacia el uso de modelos conceptuales encaminados a fortalecer los procesos de trazabilidad en la cadena de suministros.

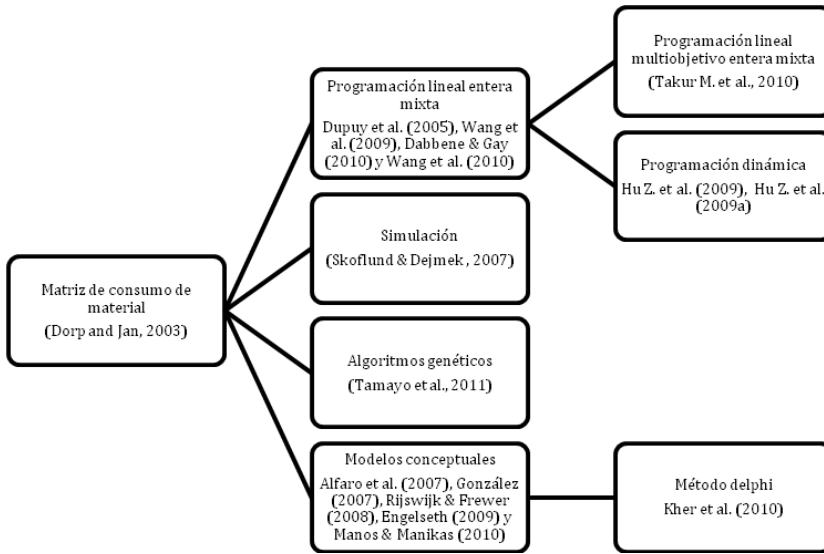


Figura 7. Evolución de los métodos de mejoramiento empleados en trazabilidad de la cadena de suministro.

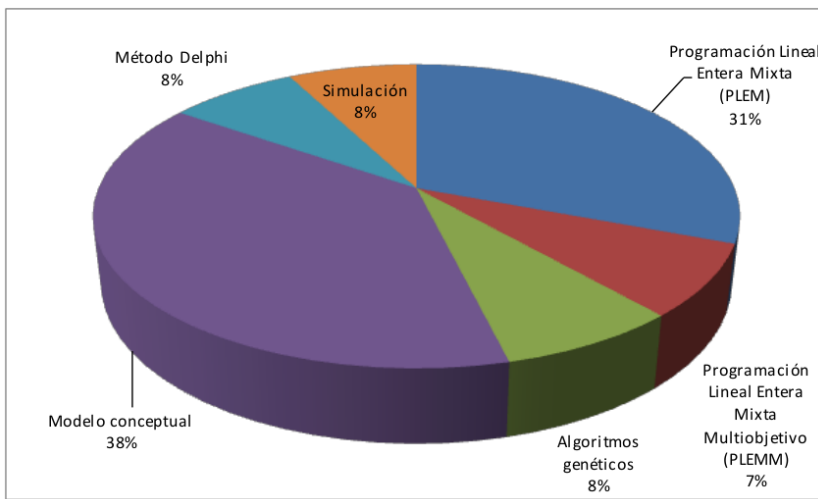


Figura 8. Porcentajes de métodos de mejoramiento utilizados en la trazabilidad de la cadena de suministro.

Se destaca el modelo planteado por Takur M. [48], basado en programación multiobjetivo entera mixta, debido a que brinda una alternativa para la toma de decisiones en los casos en donde el producto se encuentra a granel y la trazabilidad difusa del proceso cobra un nivel de importancia en la cadena de suministros frutícola. Otra es la tendencia enfocada al uso de la simulación, algoritmos genéticos y métodos Delphi, como herramienta para el análisis y toma de decisiones para procedimientos de trazabilidad. Esto debido al auge en estas técnicas y a su creciente desarrollo en varios campos de aplicación.

La aplicación de modelos de optimización de trazabilidad orientados hacia la cadena de suministro se basa en tres claves, como lo expone Karwowski y Evans (citado por [54]). La primera es la imprecisión y vaguedad en los problemas de toma de decisiones que no con-

templán la experiencia. La segunda se relaciona con los valores (constantes) utilizados en los modelos de programación lineal que pueden ser vagos e imprecisos. Finalmente, las opiniones subjetivas en los modelos de optimización pueden moderar el valor de la información en calidad y cantidad.

Hasta este momento, las aplicaciones de los modelos clásicos de optimización del sistema de trazabilidad en la cadena de suministros, aunque ha sido una buena alternativa de solución en los aspectos de trazabilidad, no contemplan la complejidad de la implementación de la gestión de tecnología de trazabilidad. A continuación se desarrolla una propuesta de un modelo que contempla varios aspectos (efectos) que se pueden generar en la implementación de tecnología de trazabilidad.

3.3. Tecnologías de trazabilidad en la cadena de suministro

Las tecnologías que apoyan las cadenas de suministro han sido una de las herramientas clave en el proceso de toma de decisiones de las compañías. Entre las tecnologías de trazabilidad y automatización de mayor uso se encuentran: los códigos de barra, lectores de caracteres ópticos, intercambio electrónico de datos (EDI, sus siglas en inglés) y la identificación de datos por radiofrecuencia (RFID, sus siglas en inglés).

Los códigos de barras tienen como propósito controlar y realizar un seguimiento en los productos que fluyen al interior de una organización a través de la estandarización de la información. Con la codificación binaria que contiene una serie de información define el producto y lo caracteriza. Otra de las herramientas tecnológicas utilizada en la trazabilidad de los productos en una cadena de suministro está relacionada con los lectores de caracteres ópticos. Esta herramienta tecnológica captura o distingue los datos por medio de un haz de luz sobre la ubicación determinada de un documento o producto.

Por otra parte, existe la tecnología RFID, la cual se caracteriza por tener un sinnúmero de aplicaciones [55] [56]. Se encuentran investigaciones en donde se identifica la efectividad y eficiencia de las aplicaciones de la tecnología de trazabilidad RFID en la cadena de suministro. Según Bendavid [57], el impacto causado por RFID en la cadena de suministro ha permitido el rastreo, identificación y gestión de cada producto en tiempo real con mayor flexibilidad y confiabilidad.

Las aplicaciones con RFID en los procesos de gestión de la cadena de suministros, según Sabbaghi y Vaidyanathan [58], se han dado en la gestión de la demanda, órdenes de pedidos, gestión del flujo en manufactura y gestión del retorno (logística reversa). La implementación de un sistema RFID en determinada cadena de suministro requiere la integración con otros sistemas tecnológicos que soporten las operaciones productivas. La importancia de los sistemas RFID en la cadena de suministro marca diferencias estratégicas al proporcionar valor a lo largo del flujo del producto según Canavari [16], Sabbaghi y Vaidyanathan [58] y Bendavid [57].

Según Jones [59], el incremento en el uso de RFID ha sido significativo en países como Estados Unidos, Italia, Francia, Portugal y Noruega, donde se ha aplicado al control nuclear,

inventarios, trazabilidad de vuelos manufactura, entre otros. Debido a su crecimiento, se ha presentado una disminución en el precio de adquisición de esta tecnología en el mercado. Por tanto, ha servido como herramienta de trazabilidad en la cadena de suministro a un bajo costo.

El trabajo propuesto por De Marco et al. [32] desarrolla un modelo de dinámica de sistemas que evalúa la implementación de sistemas de trazabilidad RFID aplicados a operaciones de ventas al por menor (*retail*). En contraste, Chen [60] realiza un modelo bajo la perspectiva de dinámica de sistemas para comprender la adopción de tecnologías RFID.

En comparación con el modelo propuesto por De Marco y Chen, los autores de este artículo muestran la dinámica del sistema de una forma integral como aporte de conocimiento, que tiene en cuenta tres niveles dentro de la cadena de suministro frutícola: recepción de materia prima, transformación y despacho de productos procesados. El modelo también se apoya en los estudios de Kalenatic et al, [61] donde se muestra la relación sistémica entre el sistema logístico y el sistema de gestión de tecnología de las compañías a través de subsistemas de apoyo en las actividades logísticas.

4. Modelado: dinámica del sistema

Con base en la revisión del estado del arte, y en estudios del sector alimentario, desde la perspectiva de dinámica de sistemas se desarrolló un modelo causal que permite revisar la dinámica de tecnología de trazabilidad en la cadena de suministro frutícola y su análisis para la implementación. En él se incluyen los elementos conceptuales de las observaciones realizadas en tres organizaciones procesadoras de frutas, así como los enfoques teóricos que han abordado el tema con diferentes estructuras causales (Tabla II).

De los capítulos anteriormente presentados se identifican como aspectos asociados a las dinámicas y problemas en la cadena de suministro frutícola los desplegados en la Figura 9.

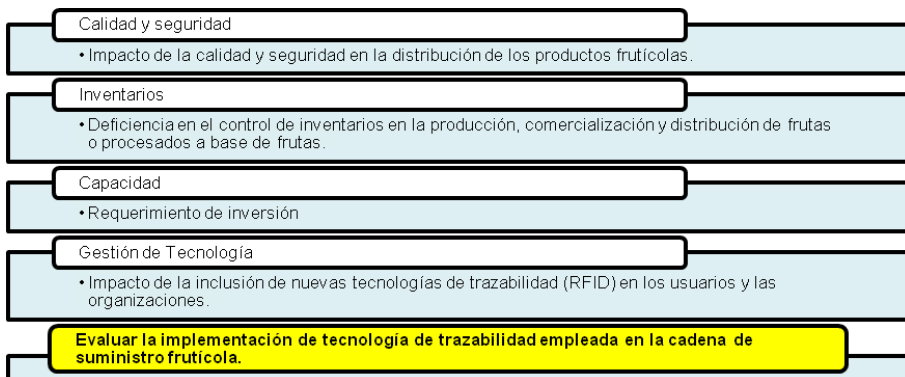


Figura 9. Aspectos destacados en la dinámica de la trazabilidad en la cadena de suministro frutícola.

4.1. Diagrama causal general

Con el análisis de las estructuras y del sector de frutas procesadas en Colombia se propone una estructura del diagrama causal como se observa en la Tabla IV [62]. En ella se incluyen efectos de retroalimentación no contemplados en investigaciones anteriores, en complemento con lo desarrollado por los enfoques presentados en la revisión de la literatura.

Tabla IV. Estructura diagrama causal propuesto

Nivel	Efectos de realimentación	Variables	Característica de medida
Nivel 1 (recepción de materia prima)	Efecto de implementación de tecnología de trazabilidad	Implementación tecnológica	Tiempo de implementación, recurso humano, técnico.
		Ciclo de vida del producto	Fecha de vencimiento de materia prima
		Índice de trazabilidad	Tiempo, posición geográfica del proveedor
		Índice de riesgo de contaminación	Evaluación del riesgo (porcentajes)
		Proveedor	Número de proveedores, tipología de proveedor.
		Alistamiento	Tiempo de <i>picking</i>
	Capacidad de inversión tecnológica	Recurso financiero utilizado en implementar tecnología	
	Efecto de inventarios materia prima y calidad	Infraestructura (almacenamiento)	Espacio de almacenamiento (m^3)
		Cantidad de M.P.	Cantidad de componentes o materia prima utilizada
		Especificaciones producto	Características técnicas del producto
Tamaño del lote		Cantidad de unidades consolidadas	
		Cientes	Número de clientes
Nivel 2 (transformación)	Efecto de implementación de tecnología de trazabilidad	Índice de trazabilidad	Tiempo, posición geográfica del proveedor
		Implementación tecnológica	Tiempo de implementación, recurso humano, técnico.
		Proveedor	Número de proveedores, tipología de proveedor.
		Alistamiento	Tiempo de <i>picking</i>
	Efecto de flujo de producción y recurso humano	Índice de trazabilidad	Tiempo, posición geográfica del proveedor
		Demanda	Número de unidades demandadas de producto procesado
		Ventas	Número real de productos procesados finales vendidos
		Ordenes de producción	Flujo de órdenes de producción
		Productividad laboral	Indicador de recurso humano utilizado
		Capacidad productiva (infraestructura)	Recurso productivo (tecnología empleada)
		Implementación tecnológica	Tiempo de implementación, recurso humano, técnico.

Continúa

		Especificaciones producto	Características técnicas del producto
		Procesamiento de frutas	Tiempo empleado en el procesamiento
		Clientes	Número de clientes
		Capacidad de aprendizaje (<i>Know Why</i>)	Curva de aprendizaje adoptada para el recurso humano empleado
		Capacidad de conocimiento (<i>Know How</i>)	Curva de conocimiento adquirida para el recurso humano empleado
	Efecto de almacenamiento	Almacenamiento en proceso	Capacidad de almacenamiento en procesos (unidades, tiempo)
		Procesamiento de frutas	Tiempo empleado en el procesamiento
		Alistamiento	Tiempo de <i>picking</i>
	Nivel 3 (despacho de productos procesados)	Efecto de implementación de tecnología de trazabilidad	Implementación tecnológica
Ciclo de vida del producto			Fecha de vencimiento de producto terminado
Índice de trazabilidad			Tiempo, posición geográfica del cliente
Índice de riesgo de contaminación			Evaluación del riesgo (porcentajes)
Clientes			Número de clientes
Alistamiento			Tiempo de <i>picking</i>
Capacidad de inversión tecnológica			Recurso financiero utilizado en implementar tecnología

La pregunta para abordar el modelo es ésta: ¿Cómo son las relaciones y la causalidad de la cadena frutícola colombiana en la gestión e implementación de tecnologías de trazabilidad en su cadena de suministro?

La hipótesis dinámica para la cual se plantea el modelo causal es la siguiente: el comportamiento dinámico de planeación de tecnología genera un efecto implícito en la implementación de tecnología y éste, a su vez, en la transformación, calidad, asignación de recursos, inventarios y trazabilidad del sistema (cadena de suministros frutícola).

El diagrama causal propuesto para el análisis del comportamiento dinámico de implementación de tecnología de trazabilidad en la cadena de suministro frutícola se expone en la Figura 10. Este diagrama contempla el enfoque integral de los modelos para la trazabilidad en la cadena de suministros de alimentos (véase Figura 6) y es una nueva alternativa para entender el comportamiento y tomar decisiones en contraste con los métodos estudiados en la Figura 7, de optimización clásica. El diagrama causal incluye los factores y elementos encontrados en las tablas II y IV.

Se plantea en los tres niveles un enfoque transversal relacionado con la implementación de tecnología identificada en cuatro efectos principales que determinan el comportamiento dinámico del sistema de la Figura 10.

El diagrama causal propone tres niveles de la cadena de suministro frutícola (recepción de materia prima, transformación y despacho de producto procesado o terminado). Cada uno de los cinco efectos propuestos se encuentra inmerso en el comportamiento dinámico de las etapas de la cadena de suministro frutícola propuesto en la Tabla IV. Los efectos son:

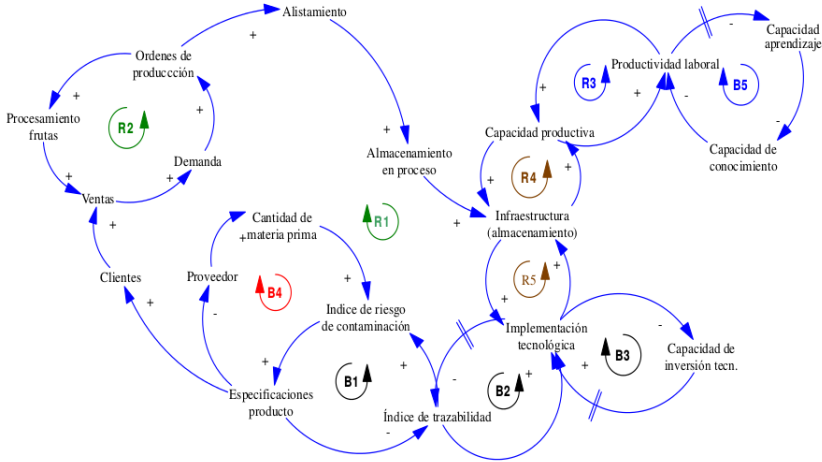


Figura 10. Diagrama causal de evaluación de tecnología de trazabilidad en la cadena de suministro frutícola.

1. Efecto de implementación de tecnología de trazabilidad, identificados con un flujo de realimentación (*loop* o *feedback*) B1, B2 y B3.
2. Efecto de inventarios de materia prima y calidad, identificados con un flujo de realimentación (*loop*) B4.
3. Efecto de flujo de producción, almacenamiento y demanda, identificados con un flujo de realimentación (*loop*) R1 y R2.
4. Efecto de recurso humano, identificado en el flujo de realimentación (*loop*) R3 y B5.
5. Efecto de capacidad productiva, identificado por el flujo de realimentación (*loop*) R5 y R4.

A continuación se analiza el efecto de implementación de tecnología de trazabilidad desde una perspectiva de la realimentación del sistema propuesto desde el enfoque sistémico.

4.2. Diagrama causal: efecto de implementación de tecnología de trazabilidad

Específicamente, la composición del sistema dinámico que representa el efecto de la implementación de tecnología de trazabilidad se puede observar en la Figura 11. Cada uno de los loops (flujos de realimentación) de este comportamiento se puede identificar y caracterizar de la siguiente forma:

B1: Presenta el ciclo de control o balance de los índices de trazabilidad. Los índices de trazabilidad están enmarcados en el ámbito geográfico (ubicación) y tiempo de control o seguimiento. Por tanto, estos índices determinan la disminución en los índices de riesgo de contaminación de los alimentos, y generan un efecto que incrementa el ciclo de vida del producto (especificaciones) reflejado en la fecha de vencimiento de un alimento. Este efecto de incremento en el ciclo de vida favorece positivamente el índice de trazabilidad.

- B2: Presenta el ciclo de balance de los índices de trazabilidad e implementación de tecnología. Los indicadores de trazabilidad en las compañías de procesamiento frutícola se encuentran limitados por la implementación de tecnología de trazabilidad. Lo anterior, debido al tiempo (demora) que transcurre entre la implementación tecnológica y los efectos de mejoramiento en el proceso.
- B3: Presenta el ciclo de balance del efecto de implementación de tecnología. La implementación de tecnologías de trazabilidad depende de la capacidad de inversión con la cual dispone una compañía. Por tanto, la inversión de tecnología es demorada, lo cual influye en el incremento de la cantidad de tecnologías de trazabilidad implementadas.

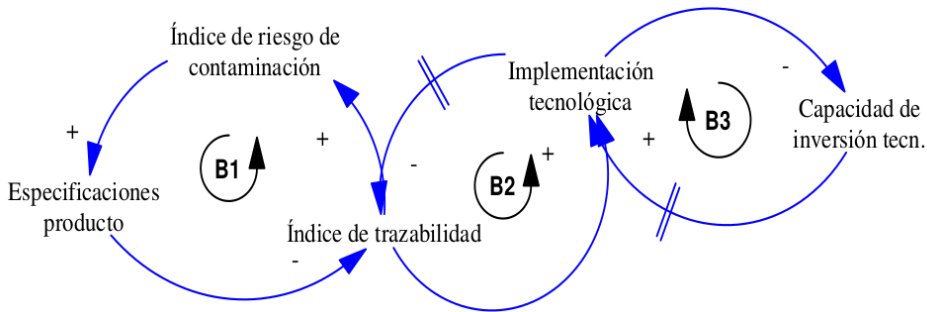


Figura 11. Diagrama causal de implementación de tecnología de trazabilidad.

El diagrama causal de la Figura 11 en complemento con el general Figura 10, como punto de partida, permitirá en un trabajo futuro establecer la simulación mediante dinámica industrial.

5. Conclusiones

La evolución del concepto de trazabilidad ha generado el desarrollo de técnicas que han adoptado modelos conceptuales y modelos matemáticos para la toma de decisiones, entre los que se destacan modelos abordados a través de la metodología de dinámica de sistemas, ya que desarrollan composiciones entre las variables de forma sistémica para la toma de decisiones integrales a nivel empresarial.

En efecto, el concepto de trazabilidad ha permeado los sistemas logísticos de las compañías que se involucran en procesos de mejora continua y control de calidad en los productos. La concepción del término trazabilidad para la cadena de suministro se ha enfocado en un carácter de integralidad y seguridad alimentaria que genera un impacto en las normatividades que se elaboran en este sentido. Igualmente, términos asociados con la integración han permeado los modelos de optimización elaborados, lo que ha conllevado la aplicación de programación lineal multiobjetivo para analizar los problemas de trazabilidad difusa en la mezcla de materias primas en los productos procesados de frutas. La tendencia encontrada en la revisión bibliográfica muestra la relevancia del tema de trazabilidad, en la integración y seguridad alimentaria de la cadena de suministros de alimentos.

La Importancia de los modelos conceptuales de trazabilidad y su evolución, abordada a través de los modelos de optimización y con dinámica de sistemas, evidencian la trascendencia que las compañías le están otorgando al tema, como un elemento de competitividad ante los diferentes retos mundiales de economías globalizadas.

En consecuencia, se hace necesaria la planeación de tecnología con un enfoque sistémico, que proporciona estrategias adecuadas en la toma de decisiones, a la hora de realizar un proceso de sustitución tecnológica en las operaciones de trazabilidad interna de la cadena de suministro frutícola. Por tanto, el análisis causal de la capacidad de inversión de tecnología como bucle dominante del sistema de implementación de tecnología es un aspecto importante que regula el comportamiento de la inclusión de tecnología de trazabilidad y por ende el mejoramiento de las características de rastreo y seguimiento, enmarcadas en la calidad del producto de la cadena de suministros de alimentos.

Por su parte, en el diagrama causal propuesto se incluyen elementos no contemplados por estudios anteriores, la inclusión de tres niveles y cinco enfoques, en el problema de la trazabilidad en la cadena de frutas, lo cual permite identificar la dinámica del comportamiento de la cadena. De la misma manera, la inclusión de los tres ciclos *loop* en el problema de implementación de tecnología para trazabilidad es una propuesta novedosa.

La relación de los actores de la cadena de suministro frutícola se enmarca en diferentes dinámicas que regulan su comportamiento. Por consiguiente, la decisión de cambios e implementación de tecnologías de trazabilidad en la cadena de suministro alimentaria requiere de modelos orientados al análisis integral de las relaciones y flujos entre los actores de la cadena. En este sentido, la dinámica del mercado de tecnologías para la trazabilidad en la cadena de suministro presenta un crecimiento que genera impactos en la mejora de los flujos de material, información, capital, recurso humano y dinero.

6. Trabajos futuros de investigación

La propuesta en este artículo puede derivar en el futuro el desarrollo de modelos de simulación con dinámica de sistemas o industrial, que permitan analizar el comportamiento de implementación de tecnología de trazabilidad que contemplen los diferentes flujos propuestos por Forrester en 1965. Adicionalmente, el desarrollo de simulaciones de diferentes tecnologías de trazabilidad que permitan, bajo ciertas variables, realizar el análisis del comportamiento de implementación tecnológica en una organización y se puedan medir las políticas de gestión de tecnología.

Así mismo, se requiere de modelos innovadores abordados a través de técnicas de optimización clásica y dinámica de sistemas para resolver problemas que contemplen la gestión de tecnologías de trazabilidad difusa, en donde la mezcla de materias primas sea determinante

en la calidad y trazabilidad de un producto en la cadena de suministros alimentaria, a fin de generar políticas de gestión de tecnología y calidad alimentaria.

Referencias

- [1] Forrester, J. W. Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, 36 (4), 37-66, 1958.
- [2] Sterman, John D. Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*, Vol. 35, N° 3, pp. 321-339. 1989.
- [3] Melnyk, S., Lummus, R., Vokurkac, R., & Burns, L. Mapping the future of supply chain management: a Delphi study. *International Journal of Production Research*, 47 (16), 4629-4653. 2009.
- [4] Oliver, R. K., & Webber, M. D. Supply chain management: logistics catches up with strategy. *Logistics: the strategic issues*, 63-75. 1982.
- [5] Lummus, R. R., & Vokurka, R. J. Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99 (1), 11-17. 1999.
- [6] Orjuela C, J. A., Calderón, M. E., & Buitrago, S. Cadena Agroindustrial de Frutas en Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital de Colombia. 2006.
- [7] Castañeda M, I., Canal R, J. L., & Orjuela C, J. A. Caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá: Facultad de Ingeniería. 2012.
- [8] Herrera R., M. y Becerra F., M. Perspectiva de gestión de tecnología en redes logísticas. 8° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, 2010.
- [9] Sterman, John D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world*. McGraw Hill. 2000.
- [10] Argyris, C., R. Putnam, and D. Smith. *Action Science: Concepts, Methods, and Skills for Research and Intervention*. San Francisco: Jossey-Bass. 1985.
- [11] Morecroft, J. and J. Sterman, *Modeling for Learning*. Portland, OR: Productivity Press. 1994.
- [12] Kleiner, A. and G. Roth. How to make experience your company's best teacher, *Harvard Business Review* 75(5), 172-177. 1997.
- [13] International Organization for Standardization-ISO. Norma Internacional ISO 9000, Sistema de gestión de la calidad Fundamentos y vocabulario. Ginebra, 2005.
- [14] Langreo Navarro, A. and I. Benito García. Efectos de la aplicación de la trazabilidad y la normativa de higiene en la cadena de producción de alimentos. *Distribución y consumo*, 79, 2005.
- [15] Dessureault, S. An assessment of the business value of traceability in the Canadian dairy processing industry. University of Guelph, 2006.
- [16] Canavari, M., et al. Traceability as part of competitive strategy in the fruit supply chain. *British Food Journal*, 112(2): p. 171-186, 2010.
- [17] Moe, T. Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science & Technology*, 1998.
- [18] Andersen, K. and Gutman, J. Seguimiento y trazabilidad base de las cadenas de suministro. *Revista ABB*, 2001.
- [19] Mousavi A., Sarhadi M., Lenk A. and Fawcett S. Tranking and traceability in the meat processing industry a solution. *British Food Journal*, 2002.
- [20] Skoglund T. and Dejmek P. Fuzzy Traceability: A process simulation derived extension of the traceability concept in continuous food processing. *Food and Bioproducts Processing*, 2007.
- [21] Alfaro, J., L. Rabade, and J. Alvarez. Relaciones de integración empresa-proveedor: influencia de la trazabilidad. *Universia Business Review*, 2007.
- [22] Lupie John. Food Quality and Safety: traceability and Labeling. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 2005.
- [23] Barchetti, U., Bucciero, A., De Blasi, M., Mainetti, L., Patrono, L. RFID, EPC and B2B convergence towards an item-level traceability in the pharmaceutical supply chain. Proceedings of 2010 IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications, RFID-TA 2010, art.no. 5529939, pp. 194-199, 2010.
- [24] Wang, X., D. Li, and C. O'Brien. Optimisation of traceability and operations planning: an integrated model for perishable food production. *International Journal of Production Research*, 47(11): p. 2865-2886, 2009.

- [25] Zhao, L., Shengnan, S., Wang, X. Tracking and traceability system using livestock Iris code in meat supply chain. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7 (5 A), pp. 2201-2212, 2011
- [26] Hu, Z., et al. Modeling Traceability Information Flow for Meat Food Quality Safety. in *International Conference on Automatic Control, Modelling and Simulation*, 2009.
- [27] Zhang, K., Chai, Y., Yang, S.X., Weng, D. Pre-warning analysis and application in traceability systems for food production supply chains. *Expert Systems with Applications*, 38 (3), pp. 2500-2507, 2011
- [28] Zhang, K., Chai, Y., Weng, D., Zhai, R. Analysis and design of information traceability system for pork production supply chain. *NongyeGongchengXuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26 (4), pp. 332-339, 2010.
- [29] Fenu, G., Garau, P. RFID- based supply chain traceability system. *IECON Proceedings (Industrial Electronics-Conference)*, art. no. 5415251, pp. 2672-2677, 2009.
- [30] Hermosillo, G., Ellart, J., Seinturier, L., Duchien, L.A traceability service to facilitate RFID adoption in the retail supply chain. *RFID Technology Concepts, Applications, Challenges - Proceedings of the 3rd International Workshop on RFID Technology - Concepts, Applications, Challenges IWRT 2009 In Conjunction with ICEIS 2009*, pp. 49-58, 2009.
- [31] Campos, J.G., Míguez, L.R. Manufacturing traceability data management in the supply chain. *International Journal of Information Technology and Management*, 8 (3), pp. 321-339, 2009.
- [32] De Marco, A. et al. "Using system dynamics to assess the impact of RFID technology on retail operations." *International Production Economics*, 135(9): p: 333-344, 2012.
- [33] Álvarez, Y. Análisis dinámico de un proyecto de investigación y desarrollo. *Revista de Dinámica de Sistemas*. 2006.
- [34] Mora, A. and Davidsen, P. An investigation of the innovation performance in the capital goods sector in Colombian: using the system dynamic approach. *Revista de Dinámica de Sistemas*. 2006.
- [35] Torres, M. and Fernández, R. Un enfoque sistémico sobre el proceso de crecimiento: la convergencia en el largo plazo. *Revista de Dinámica de Sistemas*. 2006.
- [36] Giraldo, D., Betancur, M. and Arango, S. Effects of food availability policies on national food security: Colombian case. *The 29th International Conference of the System Dynamics Society*. 2011.
- [37] Posada J. Y Franco C., Acercamiento desde el enfoque sistémico a la problemática de seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín: políticas para la superación, VIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, 2010.
- [38] Orjuela, Javier. Huertas, Isaac. Figueroa, Juan. Kalenatic, Dusko. Cadena, Katherine. Potencial de producción de bioetanol a partir de caña panelera: Dinámica en contaminación, seguridad alimentaria y uso del suelo. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Revista de Ingeniería Vol 16, N° 1. Bogotá*. 2011.
- [39] Folinas D., Manikas I. y Manos B. Traceability data management for food chains. *British Food Journal*, 2006.
- [40] Bendriss S., Benabdelhafid A. y Boukachour J. Management traceability information system for the food supply chain. *Intelligent Systems and Automation, 1st Mediterranean Conference*, 2008.
- [41] Valdez G., Torrescano G., et al. Acortando la brecha digital para la trazabilidad sanitaria: el problema de la transferencia tecnológica en la ganadería sonorense, caso SITAGAN. *Revista Estudios Sociales*, 2010.
- [42] Thakur Maitri y Donnelly Kathryn. Modeling Traceability information in soybean value chains. *Journal of Food Engineering*, 2010.
- [43] Engelseth, P. Food product traceability and supply network integration. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 24(5/6): p. 421-430, 2009.
- [44] Orjuela J., Kalenatic D. y Huertas I., Modelo Integral y dinámico para la gestión de empresas de servicios, Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia, 2010.
- [45] Kalenatic D., Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras, Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas., 2001.
- [46] Herrera M. Modelo para la implementación de tecnología de trazabilidad RFID en la cadena de suministro frutícola en las operaciones de picking bajo un enfoque integral y dinámico difuso. Tesis Maestría Ingeniería Industrial. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2014.
- [47] Dupuy, C., V. Botta-Genoulaz, and A. Guinet. Batch dispersion model to optimise traceability in food industry. *Journal of Food Engineering*, 70: p. 333-339, 2005.

- [48] Thakur, M. Operational techniques for implementing traceability in bulk product supply chains, in *Industrial Engineering*. Iowa State University: Ames, Iowa, 2010.
- [49] Wang, X., Li, D., Li, L. Adding value of food traceability to the business: A supply chain management approach. *International Journal of Services Operations and Informatics*, 4 (3), pp. 232-257, 2009.
- [50] Hu, Z., Jian, Z., Shen, P., Xiaoshuan, Z., Weisong, M. Modeling method of traceability system based on information flow in meat food supply chain. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 6 (7), pp. 1094-1103, 2009.
- [51] Rijswijk, W. and L. Frewer. Consumer perceptions of food quality and safety and their relation. *British Food Journal*, 110 (10): p. 1034-1046, 2008.
- [52] Kher, S., et al. Experts' perspectives on the implementation of traceability in Europe. *British Food Journal*, 112(3): p. 261-274, 2010.
- [53] Engelseh, P. Food product traceability and supply network integration. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 24(5/6): p. 421-430, 2009.
- [54] Guilfrida, A.L. and R. Nagi. Fuzzy set theory applicatons in production management research: a literature survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9: p. 39-56, 1998.
- [55] Landt, J. The history of RFID. *IEEE Potentials*, 2005.
- [56] Chen, K.-Y., Y.-F. Hwang, y M.-C. Chen. Applying RFID to Picking Operation in Warehouses, *Economy and Ecology*. Springer London. p. 531-540, 2009.
- [57] Bendavid, Y., et al. Explorando los impactos de la RFID en los procesos negocios de una cadena de suministro. *Journal of Technology Management & Innovation*, 1(4), 2006.
- [58] Sabbaghi, A. and G. Vaidyanathan. Effectiveness and efficiency of RFID technology in Supply Chain Management Strategic values and Challenges. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 3(2): p. 71-81, 2008.
- [59] Jones, P., et al. Radio frequency identification and food retailing in the UK. *British Food Journal*, 107(6): p. 356-360, 2005.
- [60] Chen, Y. Understanding technology adoption through system dynamics approach: A case study of RFID technology. *Proceedings - 2011 IFIP 9th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, EUC 2011*, art. no. 6104551, pp. 366-371, 2011.
- [61] Kalenatic, D., González L., Lopéz C. y Arias L. El sistema de gestión de tecnología como parte del sistema logístico en la era del conocimiento. *Cuadernos de Administración*, Vol. 22, N° 39: pp. 257-286, 2009.
- [62] Herrera R., M. y Orjuela C. J. Evaluación de tecnología de trazabilidad en la cadena de suministro frutícola: un enfoque bajo dinámica de sistemas. *Conference Proceeding of X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*, 2012.

Milton Mauricio Herrera Ramírez

Nació en Bogotá, Colombia. Es ingeniero de producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de Bogotá. Obtuvo su título de maestría en Ingeniería Industrial en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Se desempeñó como docente investigador durante cuatro años en la Universidad Minuto de Dios. Posteriormente, ejerció el cargo de director de Programa en la Universidad Minuto de Dios, donde desarrolló el proyecto de creación de programas de Tecnología en Logística.

Actualmente se desempeña como profesor en el área de producción y simulación en la Universidad Piloto de Colombia y es el líder del grupo de investigación Innovación y Gestión –IG, en el que realiza estudios sobre gestión de tecnología en la cadena de suministro; es integrante del Grupo en Investigación de Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad GICALyT.
e-mail: milton-herrera@upc.edu.co

Javier Arturo Orjuela Castro

Nació en Bogotá, Colombia. Es ingeniero de alimentos e ingeniero industrial y especialista en Ingeniería de Producción, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Obtuvo su título de Maestría en Investigación de Operaciones y Estadística en la Universidad Tecnológica de Pereira Colombia. Realiza estudios de doctorado en Ingeniería, Industria y Organizaciones en la Universidad Nacional de Colombia. Se ha desempeñado como docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en pregrado y posgrado, Es investigador y líder del Grupo en Investigación de Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad GICALyT.
e-mail: jorjuela@udistrital.edu.co