

Trabajo de Final de Máster

# Master Universitario en Ingeniería de la Organización

## Definición de la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro

---

### Memoria

**Autora:** Lidia Fernández García

**Director:** Ernest Benedito Benet

**Fecha:** Julio 2019



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona

ETSEIB – UPC





## RESUMEN

El presente Trabajo de Final de Máster (TFM) “Definición de flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro” es un proyecto cuyo propósito principal es revisar la literatura existente dentro del ámbito de estudio, para finalmente concluir con una definición íntegra de cada uno de los términos.

La lectura de la bibliografía resulta útil para conocer el estado del arte actual, así como las definiciones que diversos autores dan sobre los cinco conceptos que se plantean. Tras el análisis se observa que no existe un consenso en la mayor parte de los casos, de ahí la necesidad de ofrecer una nueva, en la que se agrupan todos los aspectos relevantes de cada concepto.

Además de la redacción de dichas definiciones, de la lectura de la literatura se extraen y se exponen, en los casos en los que había información notoria, los métodos e indicadores propuestos para medir la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad en la cadena de suministro.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>9</b>
<b>1. GLOSARIO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. PREFACIO</b> .....	<b>12</b>
2.1. Origen del proyecto.....	12
2.2. Motivación .....	12
2.3. Requerimientos previos .....	12
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
3.1. Objetivos del proyecto .....	15
3.2. Alcance del proyecto .....	15
3.3. Limitaciones del proyecto .....	16
<b>4. METODOLOGÍA DE LA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN</b> .....	<b>17</b>
4.1. Búsqueda en base de datos .....	17
4.1.1. Bases de datos.....	17
4.1.2. Estrategia de búsqueda.....	18
4.1.3. Criterios de selección .....	18
4.2. Trabajos.....	19
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
5.1. Flexibilidad .....	20
5.1.1. Búsqueda bibliográfica .....	20
5.1.2. Análisis de la información .....	21
5.1.3. Conclusión .....	30
5.1.4. Definición .....	31
5.2. Robustez.....	32

---

5.2.1.	Búsqueda bibliográfica .....	32
5.2.2.	Análisis de la información .....	33
5.2.3.	Conclusión .....	39
5.2.4.	Definición .....	41
5.3.	Resiliencia.....	42
5.3.1.	Búsqueda bibliográfica .....	42
5.3.2.	Análisis de la información .....	43
5.3.3.	Conclusión .....	51
5.3.4.	Definición .....	53
5.4.	<i>Responsiveness</i> – Capacidad de Respuesta.....	54
5.4.1.	Búsqueda bibliográfica .....	54
5.4.2.	Análisis de la información .....	55
5.4.3.	Conclusión .....	60
5.4.4.	Definición .....	61
5.5.	Sostenibilidad .....	62
5.5.1.	Búsqueda bibliográfica .....	62
5.5.2.	Análisis de la información .....	63
5.5.3.	Conclusión .....	69
5.5.4.	Definición .....	70
5.6.	Conclusiones generales del estudio de la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad en la cadena de suministro .....	71
<b>6.</b>	<b>IMPACTO ECONÓMICO.....</b>	<b>73</b>
6.1.	Coste del material de oficina.....	73
6.2.	Coste humano .....	74
6.3.	Coste total .....	74
<b>7.</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>75</b>
7.1.	Energía eléctrica del ordenador .....	75
7.2.	Energía eléctrica lumínica .....	75

Definición de flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro	7
7.3. Papel utilizado .....	76
7.4. Impacto ambiental total.....	76
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>78</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Opciones de medida para tres dimensiones del planeamiento táctico de la SC. ...	28
Figura 2: Marco conceptual de la SCRo.....	36
Figura 3: Descripción gráfica de la SCRo según el artículo.....	38
Figura 4: Enfoques para tratar con la complejidad en una SC. ....	38
Figura 5: Relaciones hipotéticas entre recursos, capacidad y rendimiento.....	46
Figura 6: Las tres fases de la SCRe.....	49
Figura 7: Modelo conceptual de la SCResp .....	56
Figura 8: Mapa conceptual de los factores claves en el desarrollo de la SCResp. ....	59
Figura 9: Factores desencadenantes de la gestión sostenible de la SC. ....	64
Figura 10: Temas de la SCSM. ....	66



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Origen y fecha de los autores consultados para la flexibilidad de la cadena de suministro.....	21
Tabla 2: Origen y fecha de los autores consultados para la robustez de la cadena de suministro.....	33
Tabla 3: Origen y fecha de los autores consultados para la robustez de la cadena de suministro.....	43
Tabla 4: Origen y fecha de los autores consultados para la capacidad de respuesta de la cadena de suministro. ....	55
Tabla 5: Origen y fecha de los autores consultados para la sostenibilidad de la cadena de suministro.....	63
Tabla 6: Resumen de los costes en material de oficina. ....	74
Tabla 7: Resumen de los costes humanos.....	74
Tabla 8: Datos de CO2 producido por la energía eléctrica del ordenador.....	75
Tabla 9: Datos de CO2 producido por la energía eléctrica lumínica. ....	75
Tabla 10: Datos de CO2 producido por el consumo de papel.....	76

## 1. GLOSARIO

**AM:** *Agile Manufacturing* (Manufactura ágil)

**APL:** *Average Path Length* (Longitud media de la red)

**BC:** *Betweenness Centrality* (Centralidad de Intermediación)

**ID:** *In-degree* (Grado interior)

**LNDP:** *Logistics Network Design Problems* (Problemas de Diseño de Redes Logísticas)

**MILP:** *Mixed Integer Linear Programming* (Programación Mixta, Íntegra y Lineal)

**OD:** *Out-degree* (Grado exterior)

**RBV:** *Resource Based View* (Punto de vista Basado en los Recursos)

**SC:** *Supply Chain* (Cadena de Suministro)

**SCA:** *Supply Chain Agility* (Agilidad de la Cadena de Suministro)

**SCF:** *Supply Chain Flexibility* (Flexibilidad de la Cadena de Suministro)

**SCM:** *Supply Chain Management* (Gestión de la Cadena de Suministro)

**SCRe:** *Supply Chain Resilience* (Resiliencia de la Cadena de Suministro)

**SCResp:** *Supply Chain Responsiveness* (Capacidad de respuesta de la Cadena de Suministro)

**SCRM:** *Supply Chain Risk Management* (Gestión del Riesgo en la Cadena de Suministro)

**SCRo:** *Supply Chain Robustness* (Robustez de la Cadena de Suministro)

**SCS:** *Supply Chain Sustainability* (Sostenibilidad de la Cadena de Suministro)

**SCSM:** *Supply Chain Sustainability Management* (Gestión de la Sostenibilidad de la Cadena de Suministro)

**SCV:** *Supply Chain Visibility* (Visibilidad de la Cadena de Suministro)

**SN:** *Supply Network* (Red de Suministro)

**TBL:** *Triple Bottom Line* (Triple Resultado: beneficio, planeta y personas)

**TFM:** Trabajo de Final de Máster

**TIC:** Tecnologías de la Información y la Comunicación

## 2. PREFACIO

### 2.1. Origen del proyecto

Como alumna del Máster Universitario en Ingeniería de la Organización en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona de la Universidad Politécnica de Cataluña, las asignaturas cursadas han sido enfocadas a la relación entre la ingeniería y la dirección de operaciones en la empresa. Una de ellas, en torno al tema principal del proyecto, la logística, la cadena de suministro y su diseño.

Aun así se considera que pese a ser un campo de investigación muy amplio, actual y relevante, así como con mucho recorrido, la corta duración de los estudios de máster no alcanza cómo para profundizar. Por este motivo, nace el presente Trabajo de Final de Máster, cuyo objetivo es definir diversos conceptos que afectan a la cadena de suministro: flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad.

### 2.2. Motivación

La cadena de suministro y todas aquellas cuestiones, operaciones y estrategias relacionadas con ella y su mejora constante es uno de los temas más importantes de la actualidad en los campos tanto de la ingeniería como de la gestión, por la cantidad de elementos de la sociedad que mantienen en conexión.

La elección de este tema para la realización del TFM (Trabajo de Final de Máster) es debido al propio interés en el aprendizaje y profundización sobre la cadena de suministro, así como para ampliar y desarrollar lo aprendido durante el programa de Máster. Como se comenta en el apartado anterior, no es específico de este ámbito, por lo cual no cubre todas sus vertientes.

### 2.3. Requerimientos previos

Para llevar a cabo correctamente este TFM, se requiere, en primer lugar, comprender qué es la cadena de suministro, además de cómo era en el pasado y cómo ha evolucionado hasta hoy. Habitualmente se habla de gestión de la cadena de suministro (SCM), ya que

este término hace referencia a las estrategias usadas por las empresas para lograr unas ventajas competitivas a través de la mejora continua de su SC. Además incluye aspectos tan importantes como la demanda, la relación entre proveedores y clientes, el flujo de materiales, servicios, información, etc.

Para entender íntegramente estos conceptos hace falta remontarse a la década de 1980, en la cual se popularizó el término SC. Hasta ese momento las empresas y organizaciones actuaban de forma más individualista, buscando el beneficio propio, a pesar de encontrarse en un planeta altamente globalizado. Durante los siguientes años se empezó a comprender y comprobar que para lograr mayores beneficios y ventajas competitivas, es indispensable la colaboración con el resto de organizaciones.

En este momento, las empresas empiezan a evolucionar: de simples nodos, a unirse eslabón tras eslabón hasta formar una cadena, para ser capaces de cubrir de principio a fin los requerimientos del cliente y del mercado. Hoy en día el término cadena se sigue utilizando por su significado histórico, aunque las SC realmente se asemejan más a una red que a una cadena lineal.

Para desarrollar el significado y alcance de la SC, así como algunas de sus características (flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad), han sido numerosos autores los que han propuesto una definición formal durante las últimas tres décadas. De todas las definiciones consultadas a lo largo del trabajo, se propone la siguiente como resumen de todas las propuestas:

*“La cadena de suministro consiste en una red de organizaciones, en la cual todas las operaciones y actividades participan en el proceso de transformar una materia prima en un producto o servicio que cumpla los requerimientos del cliente final. Entre estas actividades se incluyen, entre otros, abastecimiento de materia prima, manufactura y fabricación, almacenaje, distribución, sistemas de información y logística inversa.”*

Actualmente, uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la SC, al igual que su diseño y su gestión, son las perturbaciones que puedan alterar su buen funcionamiento. Estas pueden darse bien por fallos en el propio sistema, como por causas tan impredecibles como por ejemplo desastres naturales. Por este motivo, términos como vulnerabilidad, riesgo e incertidumbre están estrechamente relacionados con la cadena de suministro.

### 3. INTRODUCCIÓN

El diseño de la cadena de suministro es el inicio del proceso de creación de la SC, pero también es la piedra angular, ya que en él se pueden plasmar todos los detalles necesarios que posteriormente harán que la organización goce de ventaja competitiva sobre el resto. Para ello hay que asegurarse de que se tienen en cuenta los diversos factores relacionados: demanda y clientes potenciales, regulaciones internacionales, legislación vigente, capacidad de producción, transportes, elección de proveedores y fuentes de suministro, etc.

Con herramientas de cálculo, monitorización y previsión, es posible conseguir una cadena de suministro capaz de hacer frente de forma efectiva a perturbaciones o cambios en la lista anterior de factores, como por ejemplo incrementos en el precio, retrasos de proveedores o modificaciones de la demanda. Un diseño adecuado absorbe hasta cierto grado de incertidumbre del entorno. Aun así, en otras ocasiones, existen fenómenos impredecibles, que afectan a la cadena de suministro pudiendo llegar a provocar un grave impacto en su funcionamiento, como catástrofes naturales, grandes apagones eléctricos o atentados terroristas.

Partiendo de la base de que la incertidumbre no se puede evitar en su totalidad, el diseño de la cadena de suministro es fundamental para dominarla y reducir sus efectos al máximo. Para ello es imprescindible dotar a la cadena de suministro de ciertas cualidades, como son en este caso la flexibilidad, la robustez, la resiliencia, la capacidad de respuesta y la sostenibilidad.

Con el paso de los años, el estudio de estas cualidades ha ido adquiriendo notoriedad en el ámbito de la investigación, dado que cada vez más empresas son conscientes de la importancia de que tales cualidades formen parte de su cadena de suministro. Los múltiples autores dedicados a dicha investigación no sólo las analizan, sino que buscan darles una definición e intentan desarrollar modelos y herramientas matemáticas que pueda explicar de forma numérica o tangible el impacto de su efecto.

A pesar del gran abanico de publicaciones e investigaciones dedicadas a la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro publicadas a lo largo de los años, es palpable la falta de consenso y unidad entre sus autores en la mayoría de ellas. Por este motivo, en este trabajo se pretende revisar la literatura más relevante y actual, con la intención de organizar y resumir la información

disponible. De esta forma se podrá dar una definición unificada y completa de las cualidades, además de exponer brevemente los modelos numéricos e indicadores propuestos para su medida.

### **3.1. Objetivos del proyecto**

El propósito principal del proyecto, atendiendo a lo que su título indica, es el de dar una definición lo más completa posible de la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro.

De esta forma, los objetivos planteados para la compleción del TFM son los siguientes:

- Realizar el proceso de revisión la literatura existente, aprendiendo de él. Comentar y resumir el punto de vista de los autores respecto del concepto que analizan
- Recopilar y mencionar las diferentes definiciones propuestas por los autores, para después ofrecer una propia que aúne conceptos
- Exponer y resumir los diferentes indicadores, métodos y modelos matemáticos propuestos en la literatura para medir cuantitativamente cada uno de los cinco conceptos.

### **3.2. Alcance del proyecto**

Para cubrir los objetivos, se ha dispuesto de un periodo total de 5 meses, durante el cual se ha revisado minuciosamente la literatura con el fin de dar una definición completa de flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro.

Si bien algunos de los artículos consultados hacían referencia a más de uno de los conceptos, dada la interrelación entre ellos y la globalización del mercado, el estudio se ha llevado a cabo por separado. Es decir, la metodología de búsqueda de información ha sido llevada a cabo concepto por concepto. Pero cuando ha sido necesario, se han comentado las relaciones entre ellos.

De la cantidad de literatura existente, el alcance se ha fijado en toda aquella que en las bases de datos está disponible bajo una licencia de la Universidad Politécnica de Cataluña, es decir, no se han adquirido ni en propiedad ni en alquiler temporal ninguno de los artículos utilizados durante el proyecto.

### **3.3. Limitaciones del proyecto**

El marco de estudio de este proyecto representa una pequeña parte de todo el potencial que tiene el ámbito de la cadena de suministro, dada su actualidad y margen de mejora. Al haberse realizado en solamente 5 meses, la base de datos consultada ha sido únicamente una, como se comentará en el siguiente apartado (4.1.1.), así que puede considerarse como un inicio, a la vez que un llamamiento a una investigación más exhaustiva, ampliando conceptos y dedicando más recursos.

Dadas las limitaciones, tanto temporal, como de acceso libre a las publicaciones, el alcance queda reducido a dar una definición completa de los conceptos y comentar brevemente las propuestas de indicadores y modelos de medida. Lamentablemente no se ha podido ahondar más en este último punto.



## 4. METODOLOGÍA DE LA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

El objetivo principal del proyecto es hacer una revisión de la literatura, para conocer el estado actual del conocimiento existente y, más adelante, poder dar una definición de los siguientes términos:

- **SCF:** Flexibilidad de la cadena de suministro
- **SCRo:** Robustez de la cadena de suministro
- **SCRe:** Resiliencia de la cadena de suministro
- **SCResp:** Capacidad de respuesta de la cadena de suministro
- **SCS:** Sostenibilidad de la cadena de suministro

Con el propósito de cumplir el objetivo marcado, se realiza una recopilación de la información existente, así como la investigación científica llevada a cabo por diferentes autores hasta el presente mes de junio de 2019. El proceso de búsqueda bibliográfica, así como los diferentes métodos utilizados son los explicados a continuación, y se dividen en artículos fruto de la búsqueda en bases de datos y artículos de la bibliografía de otras publicaciones.

### 4.1. Búsqueda en base de datos

#### 4.1.1. Bases de datos

Para la búsqueda de las diversas publicaciones y artículos consultados durante el proyecto, ha sido imprescindible el uso de bases de datos de carácter científico. Estas bases de datos son una herramienta fiable, que consigue agilizar y facilitar el proceso de búsqueda y obtención de los documentos. A pesar de que muchos artículos no son de acceso abierto, las bases de datos dan la oportunidad de como mínimo leer los resúmenes. Además, permiten filtrar por diversos parámetros: título, autor, palabras clave, año de publicación, etc.

La base de datos científica utilizada, tanto para búsqueda como para extracción de artículos y publicaciones es la siguiente:

- SCOPUS: Se ha seleccionado por ser, a nivel mundial, la mayor base de datos de abstractos y citaciones de literatura procedente de revistas arbitradas de diversas disciplinas técnicas y científicas, tales como medicina, ingeniería, ciencias sociales y humanidades. Incluye más de 5000 editoriales, 23000 publicaciones, 150000 libros y 16 millones de perfiles de autores, que hacen que haya un total de 1,4 billones de referencias citadas.

#### **4.1.2. Estrategia de búsqueda**

Tras la decisión de usar SCOPUS como base de datos, se procede al primer paso: la búsqueda de información con el uso de diferentes palabras clave, títulos o nombres de autores. Escoger unas u otras palabras claves es determinante para los resultados obtenidos, y por ende, para el resultado final del proyecto y su impacto.

En este caso, el uso de SCOPUS permite no solo buscar palabras o frases, sino limitar a partes de palabras, a unas palabras concretas conjuntamente, excluir fechas o palabras, etc. El resultado de la búsqueda serán todas aquellas publicaciones en que las palabras clave aparezcan, ya sea en el propio título, en el resumen, o en cuerpo del artículo.

Una vez escogida la publicación de interés, si se tiene acceso abierto o libre a ella, es posible descargarla. En este proyecto se han utilizado las publicaciones cuyo acceso era posible por el hecho de estar disponibles en el catálogo de la biblioteca virtual de la Universidad Politécnica de Cataluña.

#### **4.1.3. Criterios de selección**

Es importante saber discernir entre las publicaciones que resultarán útiles para la investigación y las que no. Para ello se ha establecido unos criterios de búsqueda, detallados en los apartados 5.1.1., 5.2.1., 5.3.1., 5.4.1. y 5.5.1., correspondientes a cada uno de los rasgos de la cadena de suministro (SC).

## 4.2. Trabajos

En algunos casos se ha dispuesto de publicaciones en las que debido a una revisión de la literatura existente, la criba de bibliografía útil ya había sido realizada previamente, facilitando y reduciendo el tiempo de búsqueda. Estas son:

- Trabajo de Fin de Grado: *“Flexibilitat i robustesa de la cadena de subministrament: revisió bibliogràfica”*, Realizado y presentado por Arnau Guiu Torné (2017)
- Artículo: *“Performance indicators for the supply chain design”* de Ernest Benedito y Sergio Rubio, (*work in progress*).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Flexibilidad

#### 5.1.1. Búsqueda bibliográfica

Para encontrar la información relativa a la flexibilidad de la cadena de suministro, se ha recurrido a dos fuentes. Por una parte, para la literatura del año 2007 al 2017, se han revisado los autores sugeridos en Guiu (2017), escogiendo los más relevantes. De los años 2017 y hasta la actualidad, se ha visitado la base de datos SCOPUS con el objetivo de ampliar y actualizar el conocimiento.

El criterio de búsqueda ha consistido en los siguientes puntos:

- Elección de palabras clave (siempre en inglés):
  - *Supply*
  - *Chain*
  - *Flexib\** (para incluir resultados tanto con la palabra *flexibility* como *flexible*)
  - *Defin\** (para incluir resultados con toda las variaciones posibles de las palabras *definition*, *define*, *defining*, *defines*, etc.)
- Horquilla temporal del año 2017 a la actualidad (junio de 2019), y posteriormente ordenar los artículos de forma cronológica
- Lectura de los resúmenes de los artículos, con la intención de seleccionar aquellos que realmente contenían información relevante para el objetivo del proyecto

Finalmente, como resultado de la búsqueda en la base de datos SCOPUS sólo se ha seleccionado un artículo, ya que aportaba un nuevo punto de vista, así como valor añadido al proyecto.

A modo de resumen, los autores consultados, año de publicación (como parte de un artículo, libro, revista, etc., no la fecha de publicación online) y la fuente de información, son los expuestos en la siguiente tabla:

Guiu (2017)	SCOPUS
Stevenson & Spring (2007)	Bai & Sarkis (2018)
Merschmann & Thonemann (2011)	
Moon, Yi & Ngai (2012)	
Fayezi, Zutshi & O’Loughlin (2015)	
Xiao (2015)	
Esmailikia et al. (2016)	

Tabla 1: Origen y fecha de los autores consultados para la flexibilidad de la cadena de suministro.

### 5.1.2. Análisis de la información

#### **Stevenson & Spring (2007)**

El artículo realiza una extensa revisión de las diferentes definiciones que se le ha dado a la SCF en la literatura de años anteriores. El propósito principal del artículo es mirar más allá: pasar del punto de vista interno de fábrica o empresa flexible a una SC flexible en su totalidad. Además, Stevenson & Spring (2007) explora los posibles beneficios de combinar una estrategia basada en la SCF con medidas proactivas para la reducción de incertidumbre no deseada.

Establece como principios genéricos que la flexibilidad es multidimensional y que los diferentes elementos que la componen tienen una mayor o menor importancia en función del entorno en que se encuentra la SC. Por otra parte, argumenta que la flexibilidad es una capacidad que no tiene que estar demostrada, es decir, que los productos que una SC o una planta producen no tienen por qué reflejar su habilidad para ser flexible.

De la revisión de la literatura, Stevenson & Spring (2007) deduce los siguientes cinco elementos, con el objetivo de dar una definición consistente de la SCF:

- Flexibilidad rígida (o de red sólida): Rango de eventos que la estructura de la SC es capaz de afrontar.

- Flexibilidad de reconfiguración: La facilidad de movimiento con la que la SC puede ser reconfigurada, es decir, su adaptabilidad. La necesidad de reconfigurar está ampliamente determinada por el rango o resiliencia de la estructura existente.
- Flexibilidad activa: Habilidad de actuar como una cadena, ya sea como respuesta o en anticipación a cambios y/o eventos, por ejemplo si la capacidad es reactiva o proactiva.
- Flexibilidad latente (o potencial): LA SCF es parcialmente un recurso de contingencia, pero no tiene por qué ser demostrable.
- Alineación de red: Las entidades están enfocadas en alinear sus capacidades para cumplir los objetivos de la SC y competir como una SC en conjunto. Es decir, los objetivos internos de la empresa están subordinados a los de la SC.

El artículo concluye haciendo una reflexión sobre hasta qué punto se puede obtener un grado máximo de flexibilidad en la SC, aludiendo la posibilidad de que no se llegue al óptimo en todos los niveles de la misma.

### **Merschmann & Thonemann (2011)**

El objetivo de estudio del artículo no se centra en la definición de la SCF, sino en la elección del grado de SCF adecuado para cada organización, siempre en función del grado de incertidumbre. La hipótesis propuesta es:

*“¿Las compañías en las que coincide la SCF con la incertidumbre del entorno rinden mejor que las que no lo hacen?”*

Merschmann & Thonemann (2011) propone que un grado alto de SCF es adecuado para productos funcionales, dónde el nivel de incertidumbre del entorno y el mercado es bajo, y un grado más elevado para los productos innovadores. Es decir, pretende demostrar que es contraproducente diseñar una SC demasiado flexible si el entorno no requiere de esa flexibilidad.

Por otro lado, el artículo hace un contraste entre la flexibilidad de producción y la SCF. La flexibilidad de producción se considera como la respuesta a la incertidumbre del entorno. La SCF, en cambio, adopta un punto de vista basado en el proceso, e incluye los procesos de compra, aprovisionamiento, distribución y logística.

Para realizar su estudio y poder probar su hipótesis se realizan entrevistas a 85 empresas del sector de la producción, de las cuáles se estudia la SCF, la incertidumbre de su entorno y el rendimiento de la empresa. Como variable de control se usa el número de empleados.

Hasta ese momento, otros autores sugerían que un nivel elevado de SCF e incertidumbre llevaba a un alto rendimiento, y por lo tanto, una baja SCF e incertidumbre provocarían un bajo rendimiento. Sin embargo, gracias a los resultados de su estudio se puede confirmar la hipótesis de Merschmann & Thonemann (2011): aquellas compañías cuya SCF e incertidumbre eran acordes, obtenían un rendimiento de 4,1 sobre 5, mientras que en las empresas en que ambos términos no se correspondían, el rendimiento obtenido fue únicamente de 3,1 sobre 5.

### **Moon, Yi & Ngai (2012)**

Dado el creciente interés en el estudio de estrategias de flexibilidad, el artículo de Moon, Yi & Ngai (2012) realiza una revisión de la literatura, para ser capaz de dar una definición válida de SCF, ya que por el momento ningún estudio sistemático y científico ha podido dar con ella. Parte de la base de los siguientes supuestos:

*“La SCF representa la capacidad de las empresas a responder ante cambios no anticipados en las necesidades del consumidor y las acciones del competidor.”*

*“La SCF involucra la aplicación de los recursos de la SC de acuerdo con la dinámica de marketing, y requiere que las empresas desarrollen estrategias interdisciplinarias (cross-functional) e interempresariales (cross-company) que eliminen los cuellos de botella y creen un nivel de rendimiento (performance) que les permita fortalecer su ventaja competitiva en el mercado incierto.”*

Antes de proponer las dimensiones que considera adecuadas, Moon, Yi & Ngai (2012) hace un recorrido por los estudios previos de otros autores y cómo estos tratan, clasifican y descomponen la SCF. Los ejemplos más remarcables son los siguientes:

- Vickery et al. (1999) esboza 5 componentes: Flexibilidad volumétrica, de producto, de distribución, de acceso y de introducción de nuevo producto.

- Garavelli (2003) y Sanchez & Perez (2005), proponen dos aspectos internos de la flexibilidad: la flexibilidad de proceso y la logística.

Finalmente, defiende que la flexibilidad de la SC es un concepto multidimensional, cuyas 4 dimensiones son de necesaria aplicación para los actores de la cadena, con el objetivo de desarrollar una mayor capacidad de respuesta ante la volatilidad de los requerimientos del mercado.

- *Sourcing Flexibility, SF* (Flexibilidad de abastecimiento): disponibilidad de materiales y servicios cualificados, así como habilidad para compararlos efectivamente para responder a los cambiantes requerimientos.
- *Operating System Flexibility, OSF* (Flexibilidad del sistema operativo): habilidad de explotar el uso de los recursos obtenidos, para producir efectivamente un rango de productos y servicios con el objetivo de satisfacer las demandas de varios mercados.
- *Distribution Flexibility, DF* (Flexibilidad de distribución): Habilidad de una empresa de controlar el movimiento y almacenamiento de materiales, componentes, producto acabado y/o servicios bajo las condiciones de un mercado constantemente cambiante
- *Information System Flexibility, ISF* (Flexibilidad de los sistemas de información): Habilidad del sistema de información de la organización para adaptarse a los cambios de circunstancias, especialmente en situaciones de perturbaciones inesperadas.

La contribución principal de Moon, Yi & Ngai (2012), la cual no se había mencionado ni investigado en profundidad en la literatura previa consultada, es la existencia de esta cuarta y última dimensión, la de la flexibilidad de los sistemas de información. Esta reflexión tiene sentido ya que a medida que han ido pasando los años, los sistemas de información han resultado indispensables no sólo para las empresas, sino para la sociedad en general.

Finalmente, se realiza un estudio, en base a datos obtenidos mediante una encuesta a diversos miembros de empresas del sector textil y de confección en China, debido a que es una de las potencias mundiales tanto en la industria como en la comercialización de ropa.



### **Fayezi, Zutshi & O'Loughlin (2015)**

El propósito del artículo está centrado en investigar de qué modo entienden y perciben diferentes conceptos relacionados con las SC: la agilidad de la SC (SCA) y SCF de su negocio. Para contextualizar, Fayezi, Zutshi & O'Loughlin (2015) proponen las siguientes definiciones de los conceptos flexibilidad y agilidad en una organización:

*“La flexibilidad impulsa el cambio interno dentro de la organización en respuesta al cambio de entorno, mientras que la agilidad es el mecanismo de respuesta externa que ajusta como una organización implementa esos cambios”*

Por lo que respecta a la SCF, considera que no está limitada a un mecanismo reactivo, por lo que puede usarse como medio para conseguir ventaja competitiva a través de su interpretación proactiva. Para que el rendimiento de la empresa sea notable, los gestores deben ver la SCF como una prioridad multidimensional, formada por el desarrollo de producto, manufactura logística y actividades de cooperación.

Los autores también sugieren que una falta de flexibilidad no conlleva automáticamente una falta de agilidad. Al contrario, una flexibilidad excesiva puede impedir la agilidad organizacional, causando la pérdida del enfoque en los productos y capacidades. Este concepto, en el que se propone que cierto grado de flexibilidad puede llegar a ser contraproducente, ya había sido estudiado anteriormente por Mershmann & Thonemann (2011), y comentado en el subapartado anterior.

Para llevar a cabo su propósito, Fayezi, Zutshi & O'Loughlin (2015) realizan un estudio basado en entrevistas semiestructuradas a personal de una decena de empresas australianas del sector de la producción.

Finalmente y como resultado de su estudio, los autores concluyen con las definiciones de SCF y SCA, siendo la interesante en este trabajo la SCF:

*“SCF: La medida en la que las organizaciones de la SC pueden cambiar económicamente en respuesta a las incertidumbres del entorno y los cambios reactivos y proactivos, con el objetivo de ajustarse a las necesidades del consumidor.”*

El aporte de Fayezi, Zutshi & O’Loughlin (2012) al campo de la SCF ha sido el de mitigar las ambigüedades existentes entre los términos de SCA y SCF, arrojando luz a sus similitudes y diferencias. Aun así, el artículo propone continuar investigando en el futuro, sobre todo en cómo afectan al nivel de SCF y SCF aspectos como el tamaño de la organización y el entorno de producción.

### **Xiao (2015)**

El objetivo principal de los autores es explorar un nuevo método de medida de la SCF desde dos dimensiones (tiempo y recursos), cuando la SC es coordinada. El método propuesto por el artículo es el resultado de la integración de ambas flexibilidades, la del tiempo y la de los recursos, aunque también toma en consideración la relación de coordinación entre las empresas nodo de la cadena.

Para investigar sobre el campo de estudio, en un primer lugar Xiao (2015) lleva a cabo una revisión de la literatura de otros autores quien previamente han intentado dar una medida de la SCF:

- Beamon (1999): Mide el rendimiento de la SC mediante 3 indicadores (recursos, output y flexibilidad) e identifica 4 tipos de SCF: de volumen, de entrega, de mix y de nuevo producto. Establece un método de medida para cada una.
- Das (2003): Estima la SCF como una función de la cantidad de órdenes y tiempos de producción variantes. Este método se enmarca en la robustez de la relación comprador-proveedor bajo condiciones cambiantes de la oferta.
- Das (2011): Realiza modelos en base a la capacidad, mix de producto, distribución y flexibilidad de entrada de suministro, para luego determinar la flexibilidad óptima mediante PM y obtener el máximo rendimiento.

Una vez realizada dicha revisión, la definición propuesta por Xiao (2015) para la SCF es la siguiente:

*“LA SCF es la habilidad de las empresas distribuidoras (upstream) y transformadoras (downstreams) de la SC, de hacer coincidir su oferta y demanda al menor coste, de acuerdo con el cambio de demanda del mercado. Esta habilidad es básicamente la de hacer coincidir sus recursos, así que la*

*SCF depende en esencia del ajuste dinámico entre recursos de las empresas nodo de la SC.”*

Establece su método de medida basándose en el concepto económico de elasticidad, para poder definir la sensibilidad de una variable respecto a otra. Por una parte mide la elasticidad de los recursos, haciendo hincapié en que la diferencia entre la elasticidad de salida de los recursos entre las dos empresas no debe ser muy elevada. Por otro lado, se fija en el tiempo de respuesta, ya que si el *lag* en el ajuste de recursos es elevado, la rentabilidad será mala. Finalmente se hace una suma ponderada de ambos factores (flexibilidad de recursos y flexibilidad temporal) y cuanto menor sea el valor, mejor será considerada la flexibilidad de la cadena.

Xiao (2015) concluye su artículo con la idea de que el rol de la SCF es dar respuesta al cambio de la demanda del mercado. Por otra parte, considera que el modelo propuesto tiene ciertas dificultades en la aplicación práctica de la medida de la SCF, dado que se basa en fuertes suposiciones, relativas a información y costes, por lo que cree necesaria la futura investigación sobre dicho modelo.

### **Esmailikia, Fahimina, Sarkis, Govindan, Kyumar & Mo (2016)**

El principal atractivo del artículo es que se establece una diferencia entre los términos de SCF y SCRo, siendo relevante la definición que ofrece sobre la flexibilidad de la SC:

*“Una SC flexible debe adaptarse rápidamente en la presencia de las incertidumbres, cada vez más frecuentes, como interrupciones en el suministro, demanda, manufactura y operaciones logísticas. La flexibilidad se suele presentar en forma de flexibilidad volumétrica, de suministro y operacional.”*

Seguidamente, los autores recogen y definen una serie de categorías en las que se considera que se divide la SCF: volumétrica, de decisión operacional, de abastecimiento, de proceso, de almacenamiento, etc. A partir de estas categorías, Esmailikia et al. (2016) establece un contexto en el cual la SCF puede ser medida en tres dimensiones de planificación táctica de la cadena de suministro. Estas son:

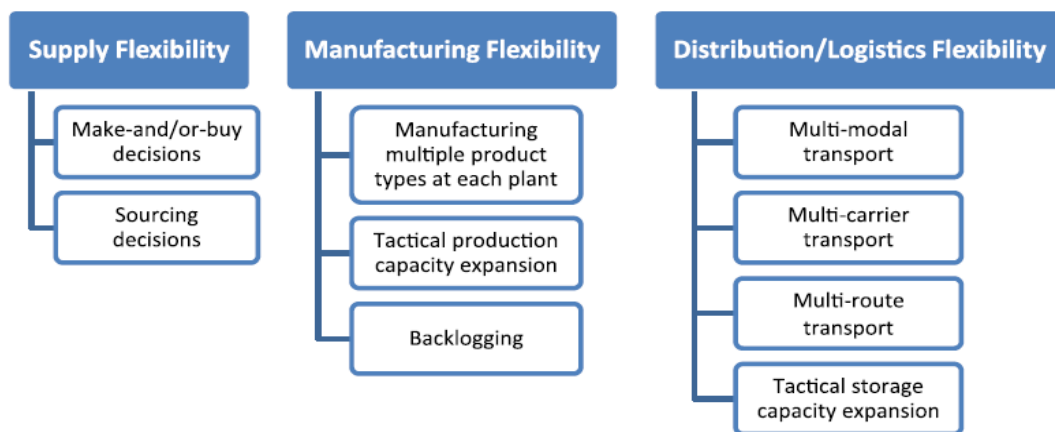


Figura 1: Opciones de medida para tres dimensiones del planeamiento táctico de la SC.

Fuente: Esmailikia et al. (2016)

- *Supply flexibility* (Flexibilidad de suministro): incluye los procesos de decisión de compra y/o fabricación, y el de la búsqueda de fuentes de aprovisionamiento.
- *Manufacturing flexibility* (Flexibilidad de fabricación): incluye opciones tales como la fabricación de varios productos en cada planta, ampliación de turnos e incrementos de capacidad a medio plazo.
- *Distribution/Logistics flexibility* (Flexibilidad de distribución y logística): puede ser abordada a través del uso de diversos modos, proveedores y rutas de transporte, o mediante la acumulación de inventario extra.

Como conclusión, Esmailikia et al. (2016) recalca la necesidad de entender que la SCF es crítica para la obtención de ventajas competitivas, ya que el crecimiento de la tendencia *made-to-order* y la customización en masa requieren una mejor comprensión de la SCF. Además el artículo ha sido realizado bajo la premisa de que la SCF se consigue únicamente si todas las empresas que conforman la SC coinciden en flexibilidad. Por otra parte sugieren dos futuras líneas de organización: el desarrollo de modelos cuantitativos y la exploración de medidas integradoras en casos prácticos.

### **Bai & Sarkis (2017)**

Los autores, a diferencia de la literatura existente, abordan la SCF con un nuevo enfoque acorde con las nuevas tendencias y necesidades del mercado, el verde o ecológico. Considera que la SCF y la inversión en la gestión de una SC ecológica ayudan a hacer frente

a los altos niveles de incertidumbre y complejidad, con el objetivo de alcanzar ventaja competitiva y desarrollo sostenible.

*“La SCF ecológica puede definirse como la habilidad de las SC para abordar rápidamente los dinámicos requerimientos ecológicos de los consumidores, así como a las crecientes regulaciones ambientales, sin incurrir en una degradación significativa del rendimiento. Estos asuntos pueden ser relativamente más difíciles de gestionar debido a la inmadurez de la mayoría de organizaciones”*

Por otra parte proponen el uso de tecnologías y sistemas de información (IS e IT) como facilitadores para convertir las SC actuales en unas más ecológicas. Estos sistemas incluyen procesos de control de manufactura que administran los materiales y la capacidad de producción para cumplir la demanda (*Advanced Planning and Scheduling*, APS), planeamiento colaborativo, pronóstico y abastecimiento (*CPFR*), intercambio electrónico de datos (EDI) y sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP).

Bai & Sarkis (2017) argumenta que la SCF ecológica es un concepto multidimensional y ofrece un marco teórico muy similar al ofrecido anteriormente por Emaeilikia et al. (2016), ya que trata los temas de suministro, manufactura y distribución. Sin embargo, en este caso los autores también tienen en cuenta el “cierre del círculo”, es decir, la logística inversa, como una parte importante:

- *Green supply flexibility, GSF* (Flexibilidad de suministro ecológica): habilidad para ajustar los proveedores ecológicos disponibles, así como influir en el rendimiento y la variabilidad de los materiales y servicios ecológicos de los proveedores.
- *Green manufacturing flexibility, GMF* (Flexibilidad de fabricación ecológica): habilidad para transformar los recursos adquiridos en una amplia gama de productos y servicios ecológicos.
- *Green distribution flexibility, GDF* (Flexibilidad de distribución ecológica): habilidad para controlar el movimiento y almacenaje de los materiales entre miembros de la SC.
- *Reverse logistics flexibility, RLF* (Flexibilidad de logística inversa): habilidad para la gestión de los procesos de logística inversa en respuesta a los requerimientos del *stakeholder* externo.

Finalmente, el estudio de Bai & Sarkis (2017) propone una metodología para poder respaldar las evaluaciones de los sistemas de información y las decisiones de inversión para la consecución de los objetivos de una SCF ecológica. Este artículo forma parte de uno de los primeros esfuerzos documentados por desarrollar una categorización y una metodología para evaluar e integrar la SCF ecológica en el proceso de toma de decisiones de las empresas y organizaciones.

### **5.1.3. Conclusión**

Una vez realizada la revisión de la literatura en el apartado anterior, se comprenden todos los puntos de vista de los diferentes autores. De la lectura se percibe que hay una falta importante de consenso entre ellos y no se ofrece una definición permanente ni aceptada ampliamente, pero sí se aprecia que es un tema ampliamente tratado a lo largo de los años.

Todos los artículos consultados enfocan la problemática a la que hay que enfrentarse a la hora de lidiar con la flexibilidad en la SC. Uno de los puntos en que existe consenso entre todos ellos, es en que hay que dejar atrás el individualismo, es decir, las empresas no deben enfocarse en ser muy flexibles, sino en ser flexibles como conjunto. Todos y cada uno de los nodos deben involucrarse, ya sea producción, distribución o abastecimiento de materia prima, y trabajar a la par para poder satisfacer al cliente en el extremo final de la cadena.

Los dos autores más antiguos consultados, Stevenson & Spring (2007) y Merschmann & Thonemann (2011), no ofrecen una definición propia del término SCF. Sin embargo en el resto de artículos, Moon et al. (2012), Fayezi et al. (2015), Esmailikia et al. (2016) y Bai & Sarkis (2017), que si se ofrece una definición, esta no es consensuada ni completa, ya que se enfocan en diferentes puntos de vista. En concreto, todos estos últimos excepto Fayezi et al. (2015) hacen referencia al concepto de rapidez a la hora de ofrecer una respuesta.

Además de buscar una definición, algunos de los artículos realizan trabajo de campo como parte de su investigación. Por una parte, Moon et al. (2012) realiza un estudio empírico para evaluar la situación en el sector de la confección y el textil en China, mediante una serie de encuestas a diferentes actores de la SC. Por otra, Fayezi et al. (2015) realiza entrevistas a diversos gerentes en empresas dedicadas a la producción en Australia, buscando establecer una relación entre la flexibilidad y la agilidad de la SC.

Por lo que respecta a las dimensiones de la flexibilidad en la SC, todos los autores están de acuerdo en que es un concepto multidimensional. Aun así, no todos explicitan cuáles son estas, y si lo hacen las definen de forma distinta. Por un lado, Stevenson & Spring (2015) divide la SCF en elementos, mientras que Moon et al. (2012), Esmailikia et al. (2016) y Bai & Sarkis (2017) defienden que las dimensiones de la SCF son de abastecimiento, manufactura y distribución, proponiendo también Moon et al. (2012) los sistemas de información y Bai & Sarkis (2017) la logística inversa. Sin embargo, Xiao et al. (2015), considera como únicas dimensiones el tiempo y los recursos disponibles.

Gracias a esta revisión se ha podido comprender mejor el significado y dimensiones de la flexibilidad en la SC, así como los puntos de vista de cada uno de los autores. Las grandes contradicciones son latentes, así como la falta de consenso entre ellos. Aun así, en el siguiente apartado se propone una definición que aúna los conceptos de forma más clara, concisa y completa.

#### **5.1.4. Definición**

*“La SCF es la capacidad de la SC de ofrecer una respuesta rápida, ágil y proporcionada ante cambios en los requerimientos del consumidor, respetando las regulaciones ambientales y manteniendo un nivel de rendimiento que fortalezca su ventaja competitiva en el mercado incierto.”*

## 5.2. Robustez

### 5.2.1. Búsqueda bibliográfica

Para encontrar la información relativa a la robustez de la cadena de suministro, se ha recurrido a dos fuentes, por una parte, para la literatura del año 2007 al 2017 se han revisado los autores sugeridos en el proyecto de Guiu (2017), escogiendo los más relevantes. Posteriormente, se ha visitado la base de datos SCOPUS con el objetivo de ampliar y actualizar el conocimiento.

El criterio de búsqueda ha consistido en los siguientes puntos:

- Elección de palabras clave (siempre en inglés):
  - *Supply*
  - *Chain*
  - *Robust\** (para incluir resultados tanto con la palabra *robustness* como *robust*)
  - *Defin\** (para incluir resultados con toda las variaciones posibles de las palabras *definition, define, defining, defines, etc.*)
- Horquilla temporal del año 2017 a la actualidad (junio de 2019), dado que la revisión anterior está completada por Guiu (2017), y posteriormente ordenar los artículos de forma cronológica
- Lectura de los resúmenes y abstractos de los artículos, con la intención de seleccionar aquellos que realmente contenían información relevante para el objetivo del proyecto

Finalmente, como resultado de la búsqueda en la base de datos SCOPUS, ninguno de los artículos ha resultado ser relevante, por lo que no se ha escogido ninguno, ya que no aportaban ninguna información adicional ni valor añadido al proyecto.

A modo de resumen, los autores consultados, año de publicación (como parte de un artículo, libro, revista, etc., no la fecha de publicación online) y la fuente de información, son los expuestos en la siguiente tabla:



Guiu (2017)
Peng et al. (2011)
Brandon-Jones et al. (2014)
Durach et al. (2015)
Monostori (2016)
Han & Shin (2016)

Tabla 2: Origen y fecha de los autores consultados para la robustez de la cadena de suministro.

### 5.2.2. Análisis de la información

#### **Peng, Snyder, Lim & Li (2011)**

El artículo estudia la gestión estratégica de la SC, y el problema que supone diseñar redes cuyo rendimiento sea igual de válido en condiciones normales como cuando ocurre una disrupción. Por otra parte, relaciona los términos de robustez y confiabilidad, ya que normalmente se usan en la literatura sin una distinción rigurosa. En el caso de la robustez de la SC (SCRo) establece las siguientes definiciones:

*“Una SC es robusta si su funcionamiento es relativamente bueno con respecto a condiciones futuras inciertas (demandas, plazos de entrega, suministros, etc.). Es decir, el término robustez se refiere a soluciones que funcionen bien en un amplio rango de escenarios.”*

*“La robustez se define como la habilidad de un sistema de realizar su función relativamente bien en la presencia de fallos de componentes o subsistemas. La SC es robusta si funciona bien con respecto a las inciertas condiciones futuras, como demandas, tiempos de espera, suministros, etc.”*

Seguidamente, Peng et al. (2011) estudia el problema de diseñar una red de SC robusta, que consiste en nodos de suministro, transbordo y demanda. Considera que es muy importante invertir en un diseño que garantice continuidad y eficiencia, pues resulta muy difícil y costoso modificar la SC una vez establecida. En concreto, su caso de estudio es una red de distribución en Estados Unidos, que trata de hacer llegar la oferta (Pennsylvania, Georgia y California), a la demanda (Texas).

El modelo usado para el estudio es el LNDP (*Logistics Network Design Problems*), que considera múltiples eslabones y toma decisiones respecto a la selección de proveedores, las localizaciones de fábricas y almacenes, la asignación de proveedores a consumidores y los flujos de productos a través de la red. Además, a lo largo del estudio Peng et al. (2011) cuantifica monetariamente las decisiones relacionadas con la SCR, estableciendo así el “coste de la robustez en la SC”.

### **Brandon-Jones, Squire, Autry & Petersen (2014)**

A través de un punto de vista basado en los recursos (*Resource Based View, RBV*), el artículo relaciona la visibilidad con la resiliencia y la robustez de la SC, muy a menudo estudiadas conjuntamente. Además, Brandon-Jones et al. (2014) se refiere a la robustez como un factor de creciente importancia en las SC. Por lo que respecta a la SCRo, la definición que da es la siguiente:

*“La robustez de la SC (SCRo) es la habilidad que tiene la SC de mantener su función a pesar de las disrupciones internas o externas.”*

La necesidad de este nuevo enfoque, un RBV, parte de la base de que la organización tiene el potencial para alcanzar ventaja competitiva respecto de sus competidores creando paquetes integrados de recursos y/o capacidades estratégicas. De esta forma se persigue el objetivo de explotar oportunidades y/o mitigar amenazas. Los autores entienden como recursos aquello que la empresa posee o tiene acceso, no algo que es capaz de hacer, y tienen que ser valiosos, excepcionales, inimitables y no sustituibles. Están clasificados en capital:

- Físico
- Humano
- Organizacional
- Financiero
- Tecnológico
- De reputación

Algunos autores sin embargo, han tachado el concepto de RBV de “insensibilidad de contexto”. Es decir, es incapaz de identificar las condiciones en las que los recursos y capacidades pueden ser valiosos. Por este motivo consideran que la investigación de las perspectivas del RBV no está suficientemente desarrollada.

### **Durach, Wieland & Machuca (2015)**

El artículo constituye una revisión de la literatura existente, y su propósito es doble. Por una parte pretende explorar la naturaleza multidimensional de la SCRo, para así poder construir una definición formal, y finalmente, quiere identificar los antecedentes de la SCRo y moderadores de su estructura.

La literatura proporciona dos estrategias principales para la forma en que las SC se enfrentan a los cambios: reactiva o proactiva. La reactiva implica que la SC se ajusta ex-post a los cambios, y se entiende que es una SC ágil. En cambio, en la estrategia proactiva, la SC implementa medidas ex-ante para lidiar con las turbulencias, de forma que no se necesita adaptación durante el cambio. Se entiende que estas últimas son SC robustas. Por otra parte, la SCRe correspondería al balance entre ambas estrategias.

Durach et al. (2015) recoge una serie de definiciones de la literatura con el objetivo de contextualizar al lector, siendo la más reciente la de Vlajic et al. (2012):

*“La SCRo es el grado hasta el que una SC muestra un rendimiento aceptable durante un evento inesperado que ha causado perturbaciones en uno o más de sus procesos logísticos.”*

Tras la revisión de la literatura, Durach et al. (2015) propone su propia definición de la SCRo a partir de dos dimensiones:

*“La SCRo es la habilidad de la SC de resistir o evitar el cambio. La resistencia es la habilidad de la SC de sobrevivir al cambio. La evitación es la habilidad de la SC de no ser afectada por el cambio.”*

En lo que respecta a los antecedentes, el marco teórico desarrollado hasta el momento argumenta que la robustez necesita ser alcanzada tanto a niveles inter como intra-organizacionales. Por ejemplo, la subcontratación (intra) añade complejidad a la SC, ya

que modifica su diseño, pero también tiene efectos positivos ya que permite a la empresa enfocarse en su núcleo de actividad (inter).

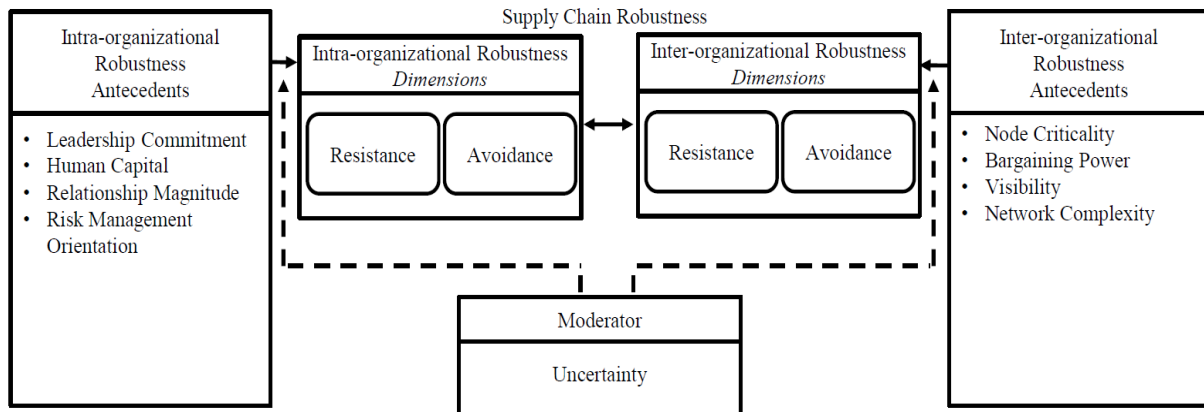


Figura 2: Marco conceptual de la SCRo.

Fuente: Durach et al. (2015)

A raíz de lo expuesto en el marco conceptual de la Figura 2, Durach et al. (2015) hace una serie de proposiciones:

- P1: Las organizaciones que tienen compromiso de liderazgo con la robustez, la experimentarán a un nivel intra-organizacional mejorado.
- P2: Dentro de la organización, que el capital humano esté bien formado y capacitado tiene una influencia positiva en la robustez intra-organizacional.
- P3: El grado de mejora de las relaciones inter-departamentales dentro de la organización de una SC está relacionado positivamente con la robustez intra-organizacional.
- P4: Una orientación mayor a la gestión de riesgos dentro de la organización tiene un impacto positivo en la robustez intra-organizacional.
- P5: A mayor criticidad relativa de un nodo individual de la SC, menos será el nivel de robustez inter-organizacional alcanzada.
- P6a: Las SC con mayor poder de negociación relativa a los nodos individuales pueden ser perjudiciales para la robustez inter-organizacional si el nodo poderoso no está dispuesto a respaldar a sus socios en la SC.
- P6b: Las SC con mayor poder de negociación relativa a los nodos individuales permite una mayor robustez inter-organizacional si el nodo poderoso ve el

beneficio a largo plazo de su actividad, por lo que está dispuesto a respaldar a sus socios en la SC.

- P7: La visibilidad de la SC está relacionada positivamente con la SCRo.
- P8: La reducción de la complejidad de la SC (por ejemplo, número reducido de nodos y de largo de red) está positivamente relacionado con una elevada robustez inter-organizacional.

Finalmente, Durach et al. (2015) concluye llamando a otros investigadores a que lleven a cabo experimentos cuantitativos del marco conceptual, para poder derivar en implicaciones prácticas de confianza. A pesar de su intención de evaluar y cuantificar la SCRo, se deberían tener en cuenta muchos más factores y conocimiento sobre el concepto de robustez para obtener unos resultados más concluyentes.

### **Monostori (2016)**

El texto de Monostori (2016) argumenta que la robustez es necesaria en cada nivel de jerarquía de producción, dado que el entorno es incierto y cambiante. La SCRo puede ser aumentada mediante la inclusión de más proveedores, líneas de transporte, centros de distribución, etc. Es decir, aumentando su complejidad. Sin embargo, conlleva costes extra, por lo que la clave es encontrar el balance entre robustez, complejidad y eficiencia en el diseño y dirección de las redes y SC.

A lo largo del artículo Monostori (2016) propone las definiciones de los términos complejidad necesaria, complejidad innecesaria, vulnerabilidad, etc. Sin embargo, la definición relevante para este proyecto es la de la SCRo:

*“Una SC es robusta si es capaz de cumplir con los indicadores clave de rendimiento (KPI, Key Performance Indicators) más importantes a un nivel aceptable (por ejemplo, permaneciendo en una zona de robustez preestablecida) durante y después eventos o interrupciones inesperadas que hayan causado perturbaciones en uno o más procesos logísticos.”*

Seguidamente, en la Figura 3, se expone gráficamente lo que Monostori et al. (2016) ha definido con palabras:

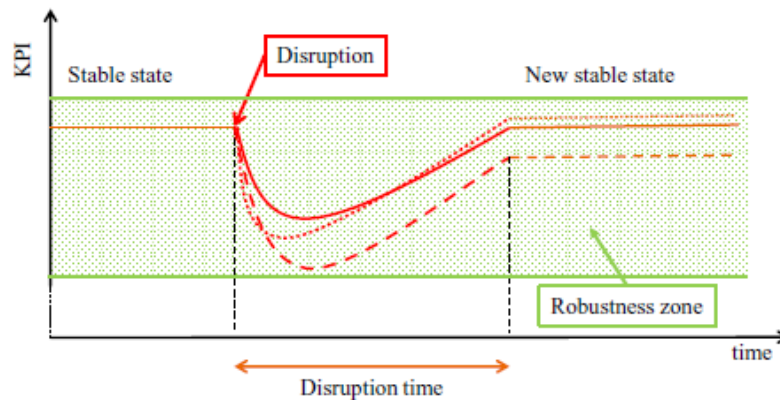


Figura 3: Descripción gráfica de la SCRo según el artículo.

Fuente: Monostori (2016)

Para responder a su pregunta inicial de cuál es el nivel óptimo de complejidad que hay que alcanzar para obtener una SC robusta, se apoya en un gráfico sobre distintos aspectos de la complejidad: necesaria, innecesaria, actual y potencial. La complejidad necesaria aquella por la que el consumidor o el mercado están dispuestos a pagar y dotaría a la empresa de ventaja competitiva.

Necessary complexity	Manage	Manage
	Reduce / Eliminate	Prevent
Unnecessary complexity	Current complexity	Potential complexity

Figura 4: Enfoques para tratar con la complejidad en una SC.

Fuente: Monostori (2016)

Finalmente el artículo propone dos indicadores para medir el grado de SCRo, ambos en función de las relaciones entre los caminos y vértices conformados por todos los nodos de la cadena de suministro:

- *Betweenness Centrality*, BC (Centralidad de intermediación)
- Factor R, una medida relativamente nueva de robustez, en la que se tienen en cuenta los vértices de la SC.

### **Han & Shin (2016)**

El artículo pretende desarrollar un nuevo mecanismo de evaluación de la robustez estructural de la SC, considerando el efecto de propagación de las interrupciones. Han & Shin (2016) entiende como interrupción aquella situación en la que realmente estalla el riesgo, y la propagación de las perturbaciones significa que el riesgo se propaga a la SC completa a lo largo de la estructura. La definición propuesta de SCRo por los autores es la siguiente:

*“La robustez es la habilidad de hacer frente al riesgo. Una SC robusta tiene la habilidad de resistir el riesgo y recuperarse de la interrupción.”*

El modelo cuantitativo que Han & Shin (2016) usa para medir la SCRo ante las interrupciones de propagación es una función ponderada de tres parámetros:

- *Average Path Length, APL* (Longitud media de red): Desde el nodo raíz, por ejemplo el suministrador, hasta el nodo hoja, por ejemplo el minorista. Expresa la verticalidad u horizontalidad de la SC.
- *In-degree / Out-degree, ID-OD* (Grado interior / exterior): Número total de arcos dividido por el número total de nodos entrantes (*in*) o salientes (*out*).

El artículo concluye remarcando la limitación de que se ha asumido que el riesgo ocurre en un único nodo, cuando normalmente los riesgos estallan en múltiples nodos a la vez. Por otra parte subraya que el modelo cuantitativo de medida de la SCRo debería utilizarse en la fase de diseño de la SC.

### **5.2.3. Conclusión**

Una vez realizado el análisis de la literatura existente, se aprecia, que aunque las definiciones no acaban de converger en una sola, sí que hay más consenso que en el caso de la flexibilidad en la SC. Un dato a tener en cuenta sobre los artículos consultados, así como en los artículos citados en ellos, es que son más recientes que los referentes a la SCF, lo que denota que posiblemente es un término que se ha desarrollado más recientemente.

La incertidumbre presente en el entorno es una cuestión clave a la que tienen que enfrentarse todas las SC. De esta incertidumbre nacen las varias perturbaciones, es decir,

cambios en el entorno que provocan alteraciones, que pueden afectar a la cadena de suministro, y lo que las hace más peligrosas es que pueden ser originadas por causas muy dispares. Estos van desde los típicos retrasos o incrementos en el precio, hasta situaciones tan incontrolables como pueden ser catástrofes naturales, conflictos políticos, guerras o ataques terroristas. Con un buen diseño de la SC, además del uso de diferentes estrategias, es posible lograr una cadena robusta que les haga frente sin comprometer su funcionamiento ni rendimiento normales, es decir reducir drásticamente la vulnerabilidad de la SC ante las inclemencias del entorno.

Todos los artículos revisados (Peng et al. (2011), Brandon-Jones et al. (2014), Durach et al. (2015), Monostori (2016) y Han & Shin (2016)) han dado una definición del concepto de robustez de la SC. Esta definición es muy similar, ya que todos hacen hincapié en que los objetivos de la robustez consisten en mantener el rendimiento inicial, o uno mejor, después de que ocurra una perturbación, o bien expresan la SCRo como la capacidad de resistir ante tales perturbaciones. En concreto, Durach et al. (2015) define las dimensiones de la SCRo como resistencia y evitación de las perturbaciones. Con esto, se observa que además de ser un término más novedoso que el de flexibilidad, también es más sencillo de definir y hay más acuerdo entre los diferentes autores.

Solamente tres autores, Peng et al. (2011), Monostori (2016) y Han & Shin (2016), plantean o proponen modelos cuantitativos para medir la robustez en la SC. Peng et al. (2011) realiza un estudio, mediante el modelo LNPD, considerando los múltiples eslabones de la SC, así como la toma de decisiones respecto a varios aspectos, como selección de proveedores y localizaciones, de forma que cuantifica monetariamente el coste de la SCRo. Monostori (2016), por su parte, trata de medir la robustez teniendo en cuenta el número de nodos y conexiones presentes en la SC, desarrollando dos fórmulas de medida: el factor R y el BC. Finalmente, Han & Shin (2016), presentan un modelo cuantitativo que pretende medir la robustez de la SC ante el efecto de propagación de las disrupciones en la SC, en función de los tres parámetros que proponen: APL, ID y OD.

Añadir elementos a la SC para protegerla de las perturbaciones e incertidumbres del entorno reduce su vulnerabilidad a la vez que fortalece la SCRo. Pero hay que pagar un coste, tanto operacional como económico: la complejidad de la SC. Monostori (2016) defiende que se debe de encontrar un punto óptimo entre complejidad y robustez, así como diferenciar la complejidad necesaria de la innecesaria, ya que en ocasiones invertir en ella no garantiza un incremento de la SCRo.



Por lo general se percibe interés por parte de numerosos autores por lograr una definición concluyente de la robustez de la SC, lo cual está cerca, debido a las similitudes entre las que se han seleccionado para este proyecto. Sin embargo, en lo que se refiere a la evaluación de dicha robustez, ninguno de los artículos realiza un análisis de los mismos factores, por lo cual resulta necesaria una investigación más exhaustiva. Para estrechar las diferencias restantes en lo que se refiere a la definición, se propone una propia en el siguiente apartado.

#### **5.2.4. Definición**

En el caso de la robustez de la SC, tras el análisis de la literatura se aprecia, igual que en el caso de la flexibilidad de la SC, una falta de consenso. Las diferentes definiciones de los autores no convergen, pero sí tienen algunos aspectos en los que están de acuerdo: la robustez aparece tras un evento o interrupción inesperada, para mantener las funciones de la SC. Ante las diferencias, se propone la siguiente definición:

*“La robustez de la SC es la capacidad de esta de mantener un rendimiento y un nivel de funcionamiento aceptable, durante y después de un evento o interrupción inesperado, así como resistir a los cambios que haya podido producir.”*

## 5.3. Resiliencia

### 5.3.1. Búsqueda bibliográfica

Para encontrar la información relativa a la resiliencia de la cadena de suministro, se ha recurrido a dos fuentes, por una parte, se han revisado los autores sugeridos en Benedito & Rubio (2018), escogiendo los más relevantes. Además, se ha visitado la base de datos SCOPUS con el objetivo de ampliar el conocimiento.

El criterio de búsqueda ha consistido en los siguientes puntos:

- Elección de palabras clave (siempre en inglés):
  - *Supply*
  - *Chain*
  - *Resilien\** (para incluir resultados tanto con la palabra *resilience* como *resilient*)
  - *Defin\** (para incluir resultados con toda las variaciones posibles de las palabras *definition, define, defining, defines, etc.*)
- Horquilla temporal del año 2007 a la actualidad (junio de 2019), y posteriormente ordenar los artículos de forma cronológica
- Lectura de los resúmenes de los artículos, con la intención de seleccionar aquellos que realmente contenían información relevante para el objetivo del proyecto

Finalmente, como resultado de la búsqueda en la base de datos SCOPUS se han seleccionado dos artículos que aportan ideas nuevas, como Levalle & Nof (2017), que en lugar de considerar el sistema como una cadena, lo califica de red de suministro.

A modo de resumen, los autores consultados, año de publicación (como parte de un artículo, libro, revista, etc., no la fecha de publicación online) y la fuente de información, son los expuestos en la siguiente tabla:

Benedito & Rubio (2018)	SCOPUS
Carvalho et al. (2012)	Levalle & Nof (2017)
Pereira et al. (2014)	
Brandon-Jones et al. (2014)	
Cardoso et al. (2015)	Zavala et al. (2018)
Kamalahmadi & Parast (2015)	

Tabla 3: Origen y fecha de los autores consultados para la robustez de la cadena de suministro.

### 5.3.2. Análisis de la información

#### **Carvalho, Cruz-Machado & Tavares (2012)**

El objetivo principal del artículo es crear un marco de mapeo para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro (SCRe, *Supply Chain Resilience*), evitando los posibles modos de fallo. Este marco permite la identificación de los estados operativos y de posible transición de la SC, junto con los puntos de vulnerabilidad.

Según Carvalho et al. (2012), la habilidad para evitar estos modos de fallo tras la disrupción es vital para el éxito de la SC. Para clarificar el uso del término SCRe, Carvalho propone la siguiente definición:

*“La SCRe se refiere a la capacidad del sistema para volver a su estado original, o a uno nuevo más deseable, después de experimentar una disrupción, y evitando la ocurrencia de modos de fallo. El objetivo de la gestión y análisis de la SCRe es prevenir el movimiento hacia estados indeseables, es decir, aquellos dónde pueden ocurrir los modos de fallo.”*

Seguidamente propone las características que bajo su punto de vista deben atribuirse a la SCRe:

- Diversidad: relacionada a la existencia de redundancia
- Adaptabilidad: en referencia a la habilidad de adaptarse efectivamente a los cambios

- Cohesión: asociada con la existencia de relaciones unificadoras entre las entidades de la SC.

Finalmente, Carvalho et al. (2012) explica cómo construir el marco de mapeo para la evaluación de la resiliencia en la SC, con los objetivos de comprender la red de la SC e identificar su estado actual, identificar los posibles estados de transición, e identificar las actividades o vulnerabilidades críticas en la SC.

### **Pereira, Christopher & Lago Da Silva (2014)**

El propósito del artículo es entender qué rol juega el *procurement* (compras, abastecimiento...) en identificar y gestionar los problemas intra- e inter-organizacionales que impactan a la SCRe.

Según Pereira et al. (2014), el concepto de SCRe surgió de la fusión de diferentes ideas dentro del área de estudio de la resistencia de materiales, para poder describir la capacidad del material de recuperar su forma original antes de cualquier deformación. Tras poderse aplicar a diferentes ámbitos, la resiliencia se ha convertido en un fenómeno multidimensional y multidisciplinario.

Después de realizar un análisis de la literatura existente de los diez años previos, la definición que propone Pereira et al. (2014) es la siguiente:

*“La SCRe es la capacidad de las SC de responder rápidamente a eventos inesperados, así como de restaurar las operaciones al mismo nivel de rendimiento, o incluso a un nivel aún mayor”*

Además, de la literatura también extrae una lista de elementos que han sido considerados como facilitadores o barreras a la hora de crear SC resilientes según la investigación previa de los artículos consultados:

- Facilitadores: Flexibilidad, redundancia, visibilidad, agilidad, colaboración, integración, intercambio de información, solidez financiera, coordinación y control, confianza, diseño de SC, gestión de riesgo, conocimiento de la compañía, alineamiento, velocidad y aceleración.

- Barreras: Complejidad, debilidad financiera, falta de capacidad, falta de control y coordinación, falta de información, falta de integración, falta de visibilidad, falta de conocimiento, falta de visibilidad, falta de confianza, tiempo de entrega elevados y distancias largas.

### **Brandon-Jones, Squire, Autry & Petersen (2014)**

En este artículo, Brandon-Jones et al. (2014) hace referencia principalmente a las relaciones establecidas entre la resiliencia, la robustez (comentada anteriormente en el apartado 7.2.1) y la visibilidad, dentro de la cadena de suministro. Expone como definiciones de resiliencia y visibilidad las siguientes:

*“La resiliencia de la SC (SCRe) es la habilidad de volver al rendimiento operativo normal, dentro de un periodo de tiempo normal, tras una perturbación.”*

*“La visibilidad de la SC (SCV) es la capacidad específica que permite a la organización mitigar las amenazas a su SC para salvaguardar el rendimiento organizacional.”*

Seguidamente Brandon-Jones et al. (2014) propone un esquema de las hipotéticas relaciones entre recursos, capacidad y rendimiento desde un RBV, como se muestra en la Figura 5, de las cuales forman parte los conceptos de visibilidad y SCRe, además de estar relacionado también con la SCRo.

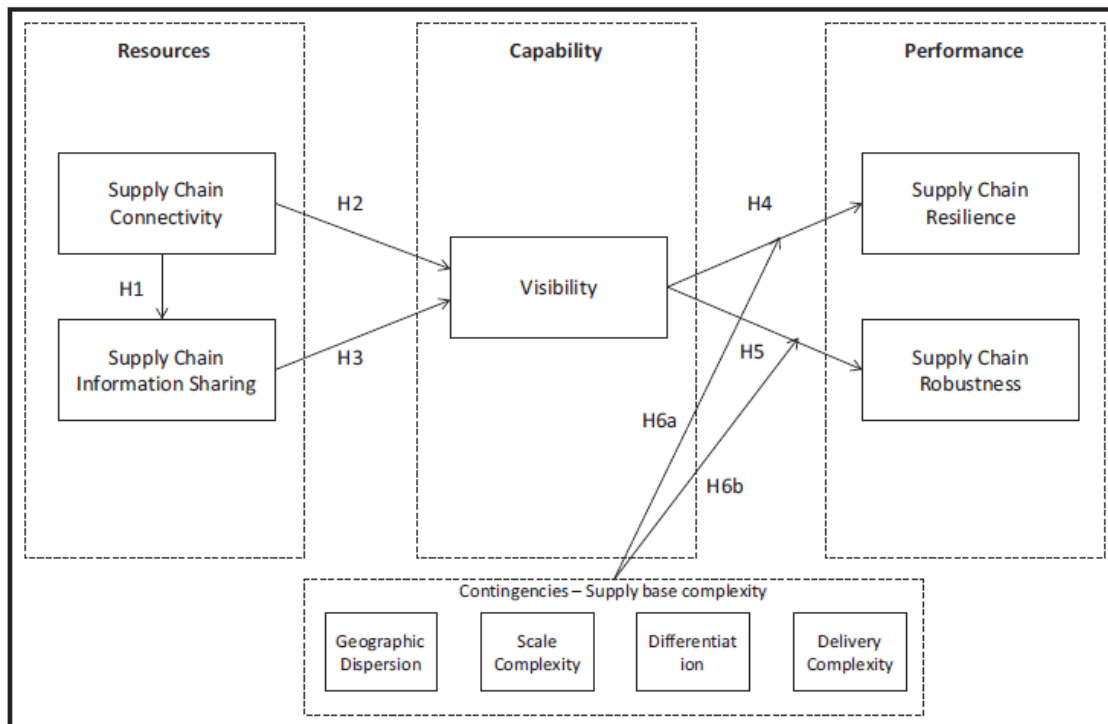


Figura 5: Relaciones hipotéticas entre recursos, capacidad y rendimiento.

Fuente: Brandon-Jones et al. (2016)

Las hipótesis y resultados tras el análisis son:

- H1: La conectividad de la SC tiene un impacto positivo en el intercambio de información.
  - Aceptada: La conectividad es un ejemplo de recurso tecnológico, que permite el intercambio efectivo de información y reduce riesgos.
- H2: La conectividad de la SC tiene un impacto positivo en la visibilidad de la SC.
  - Aceptada: La conectividad de una organización es la habilidad de juntar y compartir información a través del uso de TICs.
- H3: El intercambio de información tiene un impacto positivo en la visibilidad de la SC.
  - Aceptada
- H4: La visibilidad de la SC tiene un impacto positivo en la SCRe.
  - Aceptada: Puede reducir probabilidad e impacto de una disrupción, llevando a una mejora de la resiliencia y/o la robustez.
- H5: La visibilidad de la SC tiene un impacto positivo en la SCRo.

- Aceptada: La visibilidad total del sistema permite a las organizaciones identificar un amplio rango de cuellos de botella y otros riesgos potenciales, tomando acciones para mitigar antes de que la interrupción ocurra.
- H6a: La complejidad de la base de suministro modera positivamente la relación entre la visibilidad y la resistencia de la SC: cuanto mayor es la complejidad, mayores son los efectos beneficiosos de la visibilidad sobre la resiliencia.
  - Parcial: La visibilidad de resiliencia es mayor sólo para niveles elevados de complejidad.
- H6a: La complejidad de la base de suministro modera positivamente la relación entre la visibilidad y la robustez de la SC: cuanto mayor es la complejidad, mayores son los efectos beneficiosos de la visibilidad sobre la resiliencia.
  - Parcial: La visibilidad de robustez es mayor sólo para niveles elevados de complejidad.

Por lo tanto se podría concluir que tanto el intercambio de información como la conectividad en la SC son beneficiosas para la visibilidad de la SC, que a su vez, la visibilidad tiene un impacto positivo para la SCRo y la SCRe. Sin embargo, sólo si la complejidad de la SC es elevada, la visibilidad será mayor.

### **Cardoso, Barbosa-Póvoa, Relvas & Novais (2015)**

El diseño y planificación de SC resilientes es uno de los grandes retos de la actualidad, debido al incremento de la complejidad del sistema global. Por esto, el objetivo del artículo es aplicar a diferentes tipos de SC un diseño y planificación de un modelo matemático que integra la incertidumbre de la demanda.

Tras la revisión de la literatura, la definición propuesta por Cardoso et al. (2015) de la SCRe es la siguiente:

*“La SCRe puede ser definida como la habilidad de una SC de volver a su estado original, o moverse a uno nuevo mejor y más deseable, tras una interrupción. En otras palabras, la capacidad de la SC de prepararse ante eventos inesperados, responder a interrupciones y recuperarse de ellas mediante el*

*mantenimiento de la continuidad de las operaciones al nivel deseado de conectividad y control sobre la estructura y el funcionamiento.”*

Por otra parte, el artículo hace hincapié en que el concepto de resiliencia es confundido a menudo con capacidad de respuesta o robustez, pero son términos diferentes.

Finalmente Cardoso et al. (2015) estudia el problema del diseño de una SC bajo el entorno de incertidumbre de la demanda, con el objetivo de maximizar el rendimiento económico. Usa un conjunto de once indicadores de resiliencia para poder evaluarla. Por otra parte, el concepto de SC comprende cinco niveles: proveedores de materia prima, plantas de transformación, almacenes, contratistas de abastecimiento externo y finalmente el mercado.

### **Kamalahmadi & Parast (2015)**

El propósito del artículo es conocer el nivel de desarrollo en el que se encuentra la investigación de la SCRe. A pesar de ser un concepto que ha sido definido múltiples veces por otros autores, no hay una definición integral que pueda comprenderse de forma unísona y clara.

Realizan un estudio de todas las definiciones dadas hasta el momento de la siguiente forma: en primer lugar evalúan la resiliencia desde una perspectiva organizacional (de empresa), y después amplían a SCRe. Basándose en la discusión, la definición ofrecida por Kamalahmadi & Parast (2016) para el nivel de SC es la siguiente:

*“La SCRe es la capacidad adaptativa de la SC de reducir la probabilidad de hacer frente a las interrupciones repentinas, resistir la propagación de las interrupciones manteniendo el control sobre estructuras y funciones, y recuperarse y responder con planes reactivos inmediatos y efectivos para superar dichas interrupciones y restaurar la SC hacia un estado de operaciones robusto”*

Además, Kamalahmadi & Parast (2016) considera que la definición propuesta anteriormente consta de tres fases o etapas, que se muestran gráficamente más adelante en la Figura 6:



- **Anticipación:** Los directores de operaciones deben anticipar la ocurrencia de las interrupciones y preparar sus SC para cualquier cambio, ya sea esperado o inesperado, del entorno. Mediante planes de contingencia, se debería comprender el impacto de las interrupciones así como minimizar la probabilidad de ocurrencias.
- **Resistencia:** La habilidad de la SC de resistir y desactivar la perturbación antes de que se expanda es vital para asegurar la continuidad de las operaciones una vez se detecta una interrupción.
- **Recuperación y respuestas:** Si finalmente se produce una interrupción en la cadena, se debe responder inmediatamente con los recursos disponibles, con el fin de minimizar los impactos negativos. No sólo se trata de volver al estado pre-interrupción, sino de elevarlo, ya que llevaría a ventajas competitivas.

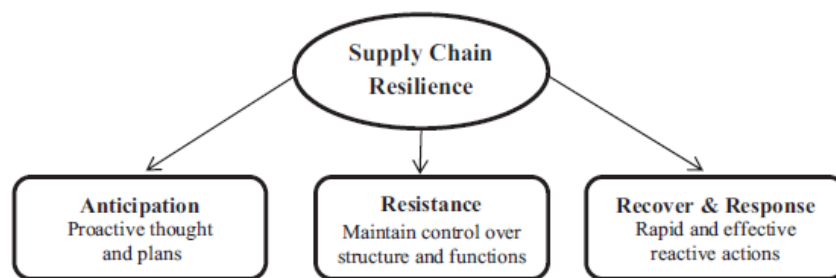


Figura 6: Las tres fases de la SCRe.  
Fuente: Kamalahmadi & Parast (2016)

De la literatura también recoge los principios básicos de la SCRe, que son necesarios para que la SC alcance sus dos principales objetivos: la optimización de costes y la satisfacción del cliente. Son los siguientes:

- **Reingeniería de la SC:** Estrategias que mantengan varias puertas abiertas, a la vez que se estudia el efecto de la redundancia vs. la eficiencia.
- **Colaboración:** El papel de la visibilidad en el intercambio de información y la confiabilidad.
- **Agilidad:** Velocidad y visibilidad.
- **Cultura de gestión de riesgo de la cadena de suministro (SCRM):** Liderazgo e innovación.

### **Levalle & Nof (2017)**

La principal diferencia de este artículo con los anteriormente analizados es que no trata de la cadena de suministro, sino de la red de suministro (*Supply Network, SN*). Levalle & Nof (2017) hace esta evolución ya que no considera que el término cadena, en el que cada elemento está conectado como máximo a otros dos, se adapte a la realidad.

A raíz de un análisis de la literatura existente, los autores extraen los siguientes cinco fundamentos sobre la resiliencia aplicada a las redes de suministro:

- Es una habilidad inherente de los agentes de la SN, además de una habilidad emergente de la SN.
- Está relacionada con la aparición de interrupciones que comprometen el funcionamiento normal por eventos indeseados (no necesariamente imprevistos).
- Involucra restaurar la calidad de servicio a un estado normal y estable.
- Involucra mantener una aceptable calidad de servicio desde que ocurre la interrupción hasta la restauración de un estado normal y estable.
- Involucra la detección activa y pronóstico de conflictos y errores que potencialmente puedan llevar a interrupciones, así como la implementación preventiva de acciones.

Seguidamente para poder dar una definición de SCRe, recoge las definiciones que una treintena de autores han publicado en sus artículos, entre los años 1990 y 2014, y las clasifica según el dominio en el que éstas se pueden clasificar: físico, servicios y digital.

Antes de dar la definición de SCRe, hace una diferencia entre ella y la SCRo, ya que en muchas ocasiones se consideran, erróneamente, términos intercambiables. Según Levalle & Nof (2015):

*“Una SCRe puede definirse como un sistema que es capaz de estar continuamente en transición de una forma adaptativa entre múltiples diseños robustos y estrategias operativas con el objetivo de anticiparse, prepararse y superar interrupciones.”*

Como conclusión, Levalle & Nof (2015) sugiere que la resiliencia implica dos dimensiones:

- Estructura de la SN (topología y recursos disponibles)
- Protocolos de control (la lógica de control para la administración dinámica de la topología, los recursos y el flujo para garantizar que la operación es resiliente)

### **Zavala, Nowiki & Ramirez-Marquez (2018)**

El propósito del artículo es dar una definición dependiente del tiempo de la SCRe, aunque a diferencia de los demás, en lugar de con palabras, mediante un modelo matemático basado en los inventarios y el enfoque METRIC. Este modelo muestra la resiliencia de cada nodo de la SC después de la disrupción, así como la inversión necesaria para restaurar la red.

Como conclusión, Zavala et al. (2018) está de acuerdo con otros autores en que no hay una definición completa de resiliencia en la literatura. Pese a esto, tampoco ofrece ninguna nueva, pero destaca que prácticamente todas incluyen los términos adaptarse y recuperarse de un evento inesperado. Por otro lado, existe además un objetivo común en todas las definiciones propuestas de SCRe, el de prevenir a la cadena de suministro de llegar a un estado indeseable, así como proveer apoyo para influenciar una rápida recuperación.

### **5.3.3. Conclusión**

El concepto de resiliencia surge de la combinación de varias ideas del área de estudio de la resistencia de materiales, refiriéndose a la capacidad de estos de volver a su forma original después de que se les aplique una deformación. Al ser un término muy versátil y poderse aplicar en diferentes ámbitos, la resiliencia es un concepto multidimensional.

Tras el análisis y revisión de la literatura existente sobre al resiliencia de la SC, se observa que los autores Carvalho et al. (2012), Pereira et al. (2014), Brandon-Jones et al. (2014), Cardoso et al. (2015), Kamalahmadi & Parast (2015) y Levalle & Nof (2017) dan una definición. Todas ellas con puntos comunes, pero aun así ninguna es concluyente. Zavala et al. (2018) no da ninguna definición. Aunque no existe una definición común, todos los autores se refieren a la resiliencia de la SC por su capacidad de volver al estado original tras una disrupción.

En lo referente a cómo medir la resiliencia en la SC no hay unanimidad, ya que los únicos autores que proponen un método lo hacen de forma diferente. Cardoso et al. (2015) presenta en su artículo el plan y diseño de un modelo que integra demanda, y lo aplica a cinco estructuras de SC. Zavala et al. (2017) por su parte, propone un modelo matemático basado en los inventarios y el enfoque METRIC, que muestra la resiliencia de cada uno de los nodos de la SC después de la interrupción, así como la inversión necesaria para restaurar la red.

Es destacable que diversos artículos, en este caso Brandon-Jones et al. (2014), Cardoso et al. (2015) y Levalle & Nof (2017), la relacionan estrechamente con la robustez, remarcando que son dos conceptos que, aunque a menudo confundidos, tienen un significado distinto. Y es que, en términos generales, si la robustez consiste en mantener el rendimiento durante la interrupción, la resiliencia se refiere a cómo superar los momentos posteriores y las consecuencias. En lo que sí hay cierto nivel de similitud entre la resiliencia y la robustez en la cadena de suministro es en la voluntad de no sólo mantener el rendimiento o funcionamiento previo, sino trabajar por elevarlo a otro nivel superior.

Respecto a la idea de la resiliencia como término multidimensional, aunque varios de los autores hacen referencia a ello, utilizan diferentes términos e ideas para realizar una clasificación de tales dimensiones. Carvalho et al. (2012) clasifican la resiliencia de la SC en tres características: diversidad, adaptabilidad y cohesión. Kamalahmadi & Parast (2015) identifica por una parte 3 fases: anticipación, resistencia y recuperación o respuesta, y por otra destaca los cuatro principios: reingeniería, colaboración, agilidad y cultura de SCRM. Por último Levalle & Nof (2017) expone 5 fundamentos y dos dimensiones: estructura de la red de suministro y sus protocolos de control.

Otro punto que se debe tener en cuenta tras el análisis de la literatura es que Levalle & Nof (2017) son los únicos autores en referirse a la cadena de suministro como red de suministro, término que interpreta más rigurosamente la realidad. Aunque el resto de autores entiendan en sus trabajos que la SC no es literalmente una cadena, no hacen la diferenciación en la terminología. Este giro supone que la cadena no es lineal, sino que agrupa una serie de nodos trabajando en consonancia para cubrir las necesidades del mercado.

A pesar de que en el caso de la resiliencia de la SC hay cierta unanimidad entre los autores, todos se apoyan en el mismo pilar para dar una definición, sigue habiendo detalles y

matices que los diferencian. Por este motivo, en el siguiente apartado se propone una definición de robustez unificando las ideas más importantes extraídas de la revisión de la literatura.

#### **5.3.4. Definición**

*“La resiliencia de la SC es la capacidad de ésta de recuperar su estado original de rendimiento, o uno superior, tras una interrupción. Es decir, tratar de anticiparse a la interrupción, resistir su propagación a través de la SC y superarla.”*

## 5.4. Responsiveness – Capacidad de Respuesta

### 5.4.1. Búsqueda bibliográfica

Para encontrar la información relativa a la capacidad de respuesta de la cadena de suministro se ha recurrido a dos fuentes, por una parte, se han revisado los autores sugeridos en Benedito & Rubio (2018), escogiendo los más relevantes. Posteriormente, se ha visitado la base de datos SCOPUS con el objetivo de ampliar y actualizar el conocimiento.

El criterio de búsqueda ha consistido en los siguientes puntos:

- Elección de palabras clave (siempre en inglés):
  - *Supply*
  - *Chain*
  - *Responsive\** (para incluir resultados tanto con la palabra *responseiveness* como *responsive*)
  - *Defin\** (para incluir resultados con toda las variaciones posibles de las palabras *definition, define, defining, defines, etc.*)
- Horquilla temporal del año 2017 a la actualidad (junio de 2019), ya que hasta el año 2017 se considera explorado por Benedito & Rubio (2018) y posteriormente ordenar los artículos de forma cronológica
- Lectura de los resúmenes de los artículos, con la intención de seleccionar aquellos que realmente contenían información relevante para el objetivo del proyecto

Finalmente, como resultado de la búsqueda en la base de datos SCOPUS no se ha escogido ningún otro artículo, ya que no se proporcionaba ninguna definición nueva de la capacidad de respuesta de la cadena de suministro, por lo que no aportaban ninguna información adicional ni valor añadido al proyecto. Cabe mencionar que sí había literatura referente a indicadores e instrucciones para medir esta capacidad de respuesta cuantitativamente.

A modo de resumen, los autores consultados, año de publicación (como parte de un artículo, libro, revista, etc., no la fecha de publicación online) y la fuente de información, son los expuestos en la siguiente tabla:

Benedito & Rubio (2017)
Howleg (2005)
Reichhart & Howleg (2007)
Gunasekaran, Lai & Cheng (2008)
Dubbey (2015)

Tabla 4: Origen y fecha de los autores consultados para la capacidad de respuesta de la cadena de suministro.

#### 5.4.2. Análisis de la información

##### **Howleg (2005)**

El concepto de SCResp, hasta ahora, se ha tratado mayormente en el ámbito cualitativo, por eso el propósito de los autores es desarrollar un modelo conceptual en el que se puedan identificar los principales factores que determinan la capacidad de respuesta en una SC, para después ser cuantificado.

Howleg (2015) comenta que el debate en torno a la capacidad de respuesta en las SC, en concreto en las operaciones de producción, tiene sus orígenes en los conceptos de “compresión temporal” y “competición basada en el tiempo”, es decir, está ampliamente relacionado con el concepto de velocidad. Junto con la SCResp, se han hecho más contribuciones relacionadas, como la dinámica de sistemas, el pensamiento *lean*, los procesos de reingeniería, la agilidad y la personalización en masa.

En base a la definición propuesta anteriormente por Kritchanhai & MacCarthy (1999), Howleg (2005) propone la siguiente definición del término capacidad de respuesta, dentro del área de estudio de la gestión:

*“La capacidad de respuesta es la habilidad de reaccionar deliberadamente y dentro de una escala temporal adecuada a la demanda del consumidor o los cambios en el mercado, con el objetivo de obtener o mantener ventaja competitiva.”*

Más adelante, tras una revisión de la literatura, clasifica los diferentes puntos de vista de otros autores según en qué aspectos han considerado que son factores clave o críticos

para la SCRe. Todas las semejanzas se han agrupado en tres dimensiones de la capacidad de respuesta, además de relacionarlas en su modelo conceptual, como se observa en la Figura 7:

- Producto: hace referencia a factores clave, entre ellos, el nivel de personalización del producto, su variedad o el ciclo medio de vida.
- Proceso: cubre el *lead time* de producción, no sólo del proceso de producción, sino de la capacidad de respuesta del proveedor y las operaciones logísticas.
- Volumen: incluye factores como la naturaleza de la variabilidad de la demanda, las expectativas del consumidor en cuanto a *lead time* y variedad de producto, o la distribución de la demanda sobre el rango de especificaciones ofrecidas.

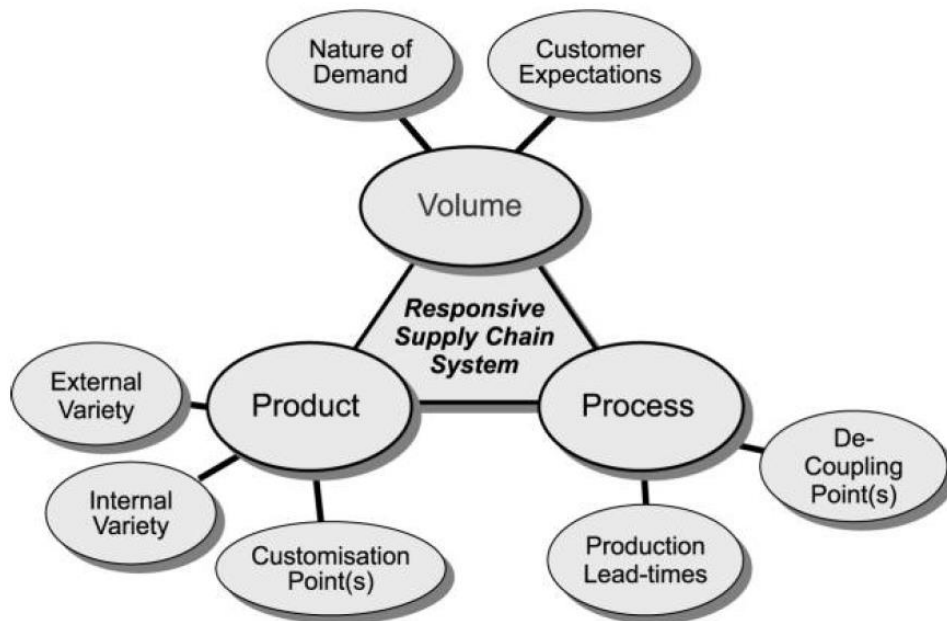


Figura 7: Modelo conceptual de la SCResp

Fuente: Howleg (2005)

### **Reichhart & Howleg (2007)**

El concepto de SCResp ha recibido mucha atención, sobre todo bajo el pretexto de la producción *build-to-order* (bajo pedido) o la personalización en masa. Aun así, no hay una definición completa de la SCResp, ni tampoco de su relación con la SCF. Por esto, los



objetivos principales de este artículo son proponer una definición clara de la SCResp y su relación con la SCF, y el desarrollo de un marco teórico holístico de los factores necesarios requeridos y facilitadores de capacidad de respuesta en la SC.

Una vez realizado el análisis de la literatura existente, y aunque hay disparidad en las diferentes definiciones, estas demuestran parecidos razonables. Por un lado, la mayoría de artículos relacionan la capacidad de respuesta con cambios en el entorno exterior. Por otro lado, muchos incluyen alguna dimensión de tiempo o esfuerzo, coincidiendo con las usadas también para la SCF. En el artículo, Reichhart & Howleg (2007) adopta la siguiente definición de SCResp:

*“La capacidad de respuesta de una SC o un sistema de manufactura se define como la velocidad a la que el sistema puede ajustar su output dentro del rango disponible de cuatro tipos de flexibilidad externa: producto, mix, volumen y distribución, en respuesta a los estímulos externos, por ejemplo, la orden de un consumidor.”*

Finalmente, el artículo concluye remarcando que hay diferentes tipos de SCResp, tanto por unidad de cambio como por unidad temporal, y que están estrechamente relacionados con la SCF. Además, argumenta que una SC puede mostrar, y es probable que lo haga, diferentes niveles de SCResp, dependiendo de en qué momento y lugar se mida. Finalmente, es necesario distinguir entre los factores requeridos por la SC para tener capacidad de respuesta, y los que permiten esta capacidad de respuesta.

### **Gunasekaran, Lai & Cheng (2008)**

Para los autores, la SCResp representa un paradigma industrial a nivel global, sobre todo en el siglo XXI. En un entorno competitivo y cambiante, creen necesario desarrollar soluciones efectivas y económicas para organizaciones flexibles y sensibles a los cambios del mercado o de los requerimientos del consumidor.

La idea principal del artículo es que la SCResp se desarrolla como integración de la producción ágil (AM, *Agile Manufacturing*) y la gestión de la SC (SCM, *Supply Chain Management*). La producción ágil se considera como el desarrollo natural, debido a los requerimientos de las organizaciones para aumentar su flexibilidad y capacidad de respuesta, del concepto original de *lean manufacturing*. Por esto, el propósito del artículo

es definir la SCResp, así como crear un marco conceptual basado en la literatura previa de estrategias, métodos y técnicas de AM y SCM.

La definición resultante propuesta en este artículo por Gunasekaran et al. (2008) es la siguiente:

*“La SCResp es una red de empresas capaces de crear riqueza para sus stakeholders en un mercado competitivo mediante una reacción rápida y de la manera más económica a los cambiantes requerimientos del mercado.”*

Los autores comentan que es necesario cumplir estos objetivos mediante una red de empresas colaborativas basadas en competencias fundamentales y el aprovechamiento de los recursos humanos y de información, lo más rápido y de la manera más económica posible.

Seguidamente expone una serie de casos de ejemplo de empresas que integran una SC flexible y con capacidad de respuesta, entre ellas algunas tan importantes como AT&T o Nissan. Además, se listan su planificación estratégica, así como tecnologías y herramientas IT utilizadas como clave de su éxito. A partir de estos ejemplos, proponen el siguiente marco conceptual:

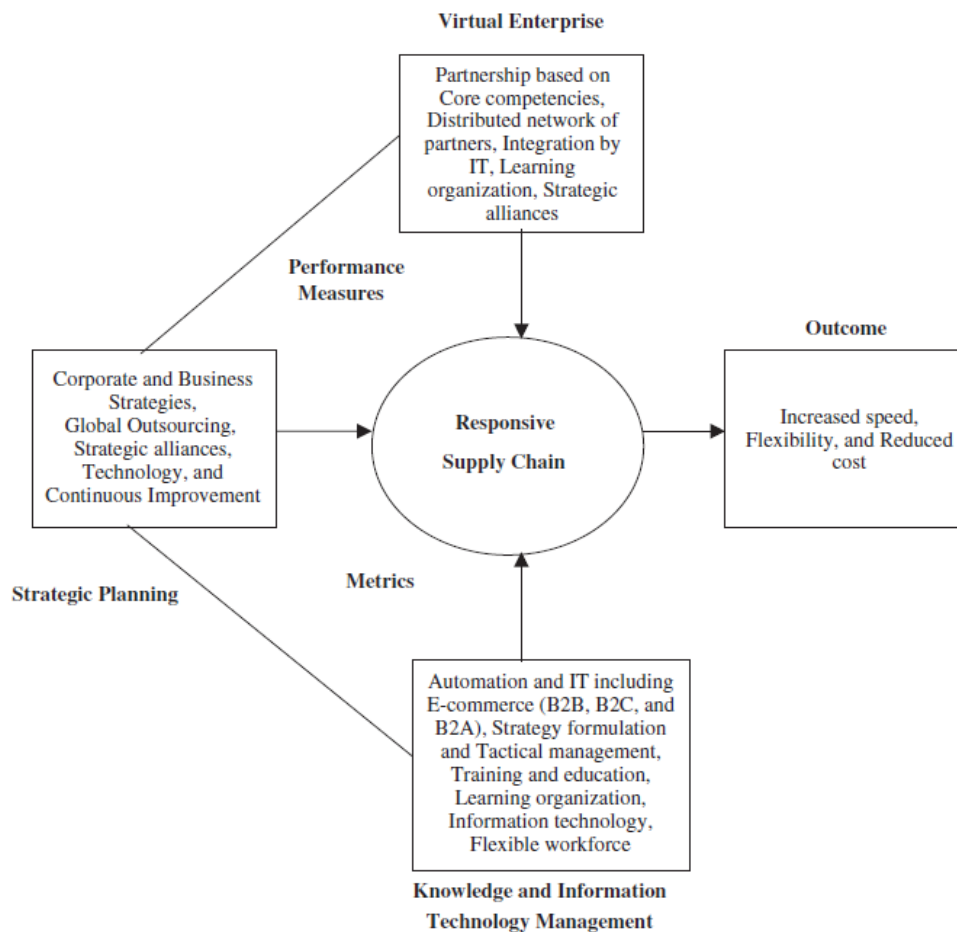


Figura 8: Mapa conceptual de los factores claves en el desarrollo de la SCResp.

Fuente: Gnasekaran et al. (2008)

### **Dubey, Gunasekaran & Childe (2015)**

El artículo hace referencia a dos de las características de la SC para lidiar con un entorno incierto: la sostenibilidad y la capacidad de respuesta. Su objetivo principal es el desarrollo de una red de SC con una capacidad de respuesta sostenible, y que a la vez sea capaz de proveer esta respuesta bajo cierto nivel de incertidumbre debido a las fuerzas incontrolables del entorno.

Por lo que respecta al diseño de una SC con capacidad de respuesta, Dubey et al. (2015) revisa y analiza la literatura existente, comparando diversas definiciones aportadas a lo largo de los años. Sin embargo encuentran y proponen una que considera más simple y adecuada:

*“Una SC con capacidad de respuesta es aquella con la habilidad de responder rápidamente a los cambios en la demanda, en términos tanto de volumen como de mix de producto.”*

Esta definición está basada en las tres dimensiones de capacidad de respuesta de la SC previamente estudiadas por Howleg (2005), como se ha mencionado anteriormente en este mismo apartado.

Finalmente, pretenden continuar extendiendo el trabajo de otros autores en lo que se refiere a definir cuantitativamente la SCResp. En concreto mediante el uso de optimización robusta y programación mixta integral (MILP, *Mixed Integer Linear Programming*).

### **5.4.3. Conclusión**

Una vez finalizada la revisión de los artículos que tratan sobre la capacidad de respuesta de la cadena de suministro y exponen la información que le concierne, se entiende y comprenden todos los conceptos relacionados con este tema. Existe mucha literatura relevante, aunque la mayoría es de la pasada década, lo que hace recapacitar y pensar en dos posibles explicaciones. Por una parte, cabe la posibilidad de que sea un término estable a lo largo del tiempo, es decir, que no ha habido conflicto de opiniones entre los diferentes autores y no se han publicado más artículos. Por otra parte, puede deberse a la escasez de literatura, dado que hay menos volumen de publicación sobre capacidad de respuesta que sobre los anteriores conceptos.

Se aprecia un nivel relativamente elevado de consenso entre los artículos consultados Howleg (2005), Reichhart & Howleg (2007), Gunasekaran et al. (2008) y Dubey et al. (2015) en lo que se refiere a la definición ofrecida. En parte, esta similitud en definiciones viene dada de que Howleg participa en los dos primeros artículos y Gunasekaran en los dos últimos, además de basarse estos en los iniciales. Los principales pilares básicos entre todas las definiciones aportadas son la rapidez con la que la SC se adapta al nuevo estado y los cambios del mercado que propician la disrupción.

Otro de los parecidos entre los artículos es que estos concluyen con unos factores o dimensiones en los que se basa la resiliencia de la SC. Howleg (2005) propone que los tres factores son el producto, el proceso y el volumen, y con ello propone un mapa conceptual.

Reichhart & Howleg (2007), los llama tipos de capacidad de respuesta, y a parte de los dos anteriores producto y volumen, añade el mix y la distribución, y los relaciona estrechamente con la flexibilidad de la SC. Finalmente Dubey et al. (2015), basándose en las anteriores publicaciones, establece que la capacidad de respuesta se basa en el volumen y el mix de producto.

Como se observa, alrededor de una misma idea se dan diferentes puntos de vista, con muchas similitudes, pero se aprecia una falta de investigación en lo referente a la evaluación o los indicadores de medida de la capacidad de respuesta de la SC. Sólo uno de los artículos, Dubey et al. (2015) propone un método para definir cuantitativamente la SCResp, el MILP, basado en la optimización robusta de la SC mediante programación lineal.

Finalmente, con la intención de proponer una definición única y completa que abarque los aspectos más relevantes propuestos por cada autor, se expone una definición propia en el siguiente apartado.

#### **5.4.4. Definición**

*“La capacidad de respuesta de la SC es la habilidad de esta de reaccionar y dar una respuesta rápida y ágil ante los cambios en el mercado y los requerimientos de los consumidores.”*

## 5.5. Sostenibilidad

### 5.5.1. Búsqueda bibliográfica

Para encontrar la información relativa a la capacidad de respuesta de la cadena de suministro, se ha recurrido principalmente a la búsqueda de artículos y publicaciones relevantes en la base de datos SCOPUS. También se ha consultado revisado un artículo de la bibliografía de Benedito & Rubio (2018), que ya había sido mencionado anteriormente en el apartado 5.4.2.

El criterio de búsqueda ha consistido en los siguientes puntos:

- Elección de palabras clave (siempre en inglés):
  - *Supply*
  - *Chain*
  - *Sustainab\** (para incluir resultados tanto con la palabra *sustainability* como *sustainable*)
  - *Defin\** (para incluir resultados con toda las variaciones posibles de las palabras *definition, define, defining, defines, etc.*)
- Horquilla temporal del año 2007 a la actualidad (junio de 2019, y posteriormente ordenar los artículos de forma cronológica)
- Lectura de los resúmenes de los artículos, con la intención de seleccionar aquellos que realmente contenían información relevante para el objetivo del proyecto

Finalmente, como resultado de la búsqueda en la base de datos SCOPUS, se han escogido cuatro artículos, los cuales aportaban información relevante sobre la sostenibilidad y sus dimensiones en la cadena de suministro.

A modo de resumen, los autores consultados, año de publicación (como parte de un artículo, libro, revista, etc., no la fecha de publicación online) y la fuente de información, son los expuestos en la siguiente tabla:

Benedito & Rubio (2017)	SCOPUS
Dubey (2015)	Seuring & Müller (2008)
	Carter & Rogers (2008)
	Hassini, Surti and Searcy (2012)
	Schöggl et al. (2016)

Tabla 5: Origen y fecha de los autores consultados para la sostenibilidad de la cadena de suministro.

### 5.5.2. Análisis de la información

#### **Seuring & Müller (2008)**

Los autores tienen dos propósitos, en primer lugar, hacer una revisión de la literatura existente en el ámbito de la sostenibilidad de la SC además de su gestión. Para ello, Seuring & Müller ha tenido en cuenta casi dos centenares de artículos publicados desde 1994 hasta 2007. En segundo lugar, pretende ofrecer un marco conceptual de la sostenibilidad en la cadena de suministro (SCS, *Supply Chain Sustainability*) así como su gestión (SCSM, *Supply Chain Sustainability Management*).

Paralelamente, recalca que en la investigación revisada los temas medioambiental, ecológico o “verde” son los términos dominantes, pero para Seuring & Müller (2008), los aspectos sociales y económicos también deben de ser tomados en cuenta de forma integrada.

Para poner en contexto, primero se da la definición de desarrollo sostenible:

*“El desarrollo sostenible es ese que cubre las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de cubrir las suyas propias.”*

Seguidamente, para dar pie a lo que es el tema central del artículo, ofrecen la siguiente definición de la SCSM:

*“El SCSM es la gestión de flujos de material, información y capital así como la cooperación entre compañías a lo largo de la SC a la vez que se tienen en cuenta los objetivos de las tres dimensiones del desarrollo sostenible,*

*económicos, medioambientales y sociales, que se derivan de los requerimientos del consumidor y el stakeholder.”*

Para la realización del marco conceptual, tiene en cuenta tres partes: desencadenantes de la SCSM, gestión de riesgos y rendimiento y SCM para productos sostenible. Para cubrir los objetivos del presente trabajo, es de importancia la primera parte, cuyo esquema es el siguiente (Figura 9):

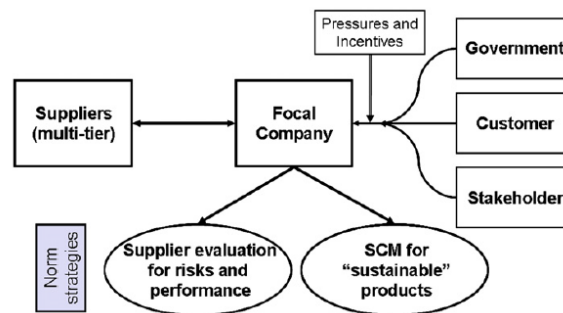


Figura 9: Factores desencadenantes de la gestión sostenible de la SC.

Fuente: Seuring & Müller (2008)

### **Carter & Rogers (2008)**

Los autores llevan a cabo una extensiva revisión bibliográfica, con el objetivo de dar una definición del concepto de sostenibilidad en el campo de la SCM. Además, pretenden demostrar las relaciones existentes entre el rendimiento medioambiental, social y económico.

on la intención de contextualizar, se dan definiciones de sostenibilidad organizacional:

*“Un balance sabio entre desarrollo económico, administración medioambiental y equidad social (Sidkar, 2003).”*

*“Una ponderación equitativa de estabilidad económica, compatibilidad ecológica y equilibrio social (Góncz, 2007).”*

De estas definiciones, Carter & Rogers (2008) extrae como denominador común que consisten en los tres elementos de la idea de “triple resultado” (TBL, *triple bottom line*),



desarrollada anteriormente por Elkington (1998): beneficio, planeta y personas (*profit, planet, people*).

Finalmente, para la creación del marco conceptual del término SCSM, se da una definición basada en la literatura existente. En ella se tienen en cuenta los tres términos TBL así como la gestión de riesgo, la transparencia, la estrategia y la cultura:

*“La SCSM es la integración y alcance estratégico y transparente de los objetivos sociales, medioambientales y económicos de la organización, dentro de la coordinación sistémica de los procesos de negocio claves inter-organizacionales para mejorar el rendimiento económico a largo plazo de la compañía individualmente y su SC.”*

### **Hassini, Surti & Searcy (2012)**

El artículo de Hassini et al. (2012) consiste en una revisión de literatura de la década previa a su publicación, con el objetivo de extraer de ahí los marcos comunes para poder definir y medir el rendimiento de la SCS.

Definen SC y SCM para contextualizar la posterior definición de sostenibilidad de la empresa:

*“La sostenibilidad de una empresa es la habilidad de llevar a cabo negocios con un objetivo a largo plazo de mantener el bienestar de la economía, el medioambiente y la sociedad.”*

Posteriormente hace referencia a las tres dimensiones popularizadas por Elkington (1998), el TBL: beneficio, planeta y personas, a partir de las cuales elaboran una definición, no de la SCS en sí, sino de su gestión (SCSM):

*“La gestión de la SCS es la gestión de las operaciones, recursos, información y fondos de la SC, con el objetivo de maximizar la rentabilidad de la SC a la vez que se minimizan los impactos medioambientales y se maximiza el bienestar social.”*

Con la definición anterior, Hassini et al. (2012) entiende por bienestar social el concepto de cómo la SC trata a sus empleados y clientes, así como a la comunidad en general. Esto

implica que las compañías que forman parte de una SC sostenible se esfuerzan por satisfacer los múltiples, y posiblemente en conflicto, objetivos, además de cumplir otros múltiples retos.

Más adelante, con el objetivo de crear un mapa de la SCSM, se asocia la SC a una rueda constituida por seis radios, que se ilustran juntamente con los aspectos importantes de cada uno:

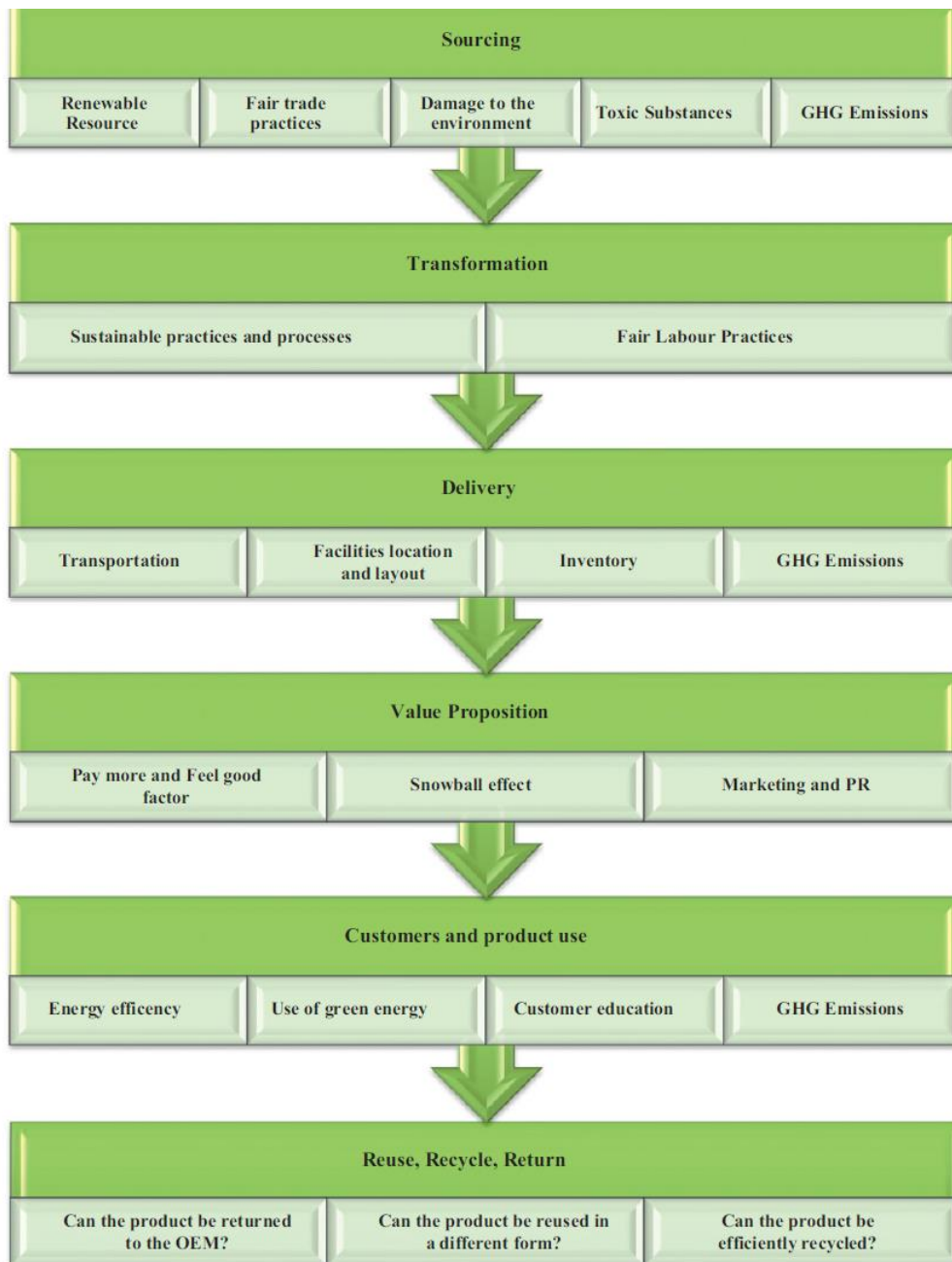


Figura 10: Temas de la SCSM.

Fuente: Hassini et al. (2008)

Además, como factores clave, tanto externos como internos, que puedan llevar a la SC a adoptar operaciones y comportamientos sostenibles, se exponen los siguientes:

- Fuerzas del mercado
- Políticas y regulaciones
- Ciencia y tecnología
- Desarrollo de producto
- Capacidades del proceso
- Abastecimiento y operaciones
- Transporte y logística
- Marketing y relaciones públicas
- Asuntos sociales

Finalmente, los autores se ayudan de un caso de estudio para ilustrar el proceso por el que tienen que pasar las empresas para poder desarrollar métricas de SCSM.

### **Dubey, Gunasekaran & Childe (2015)**

El artículo, previamente mencionado y comentado en el apartado 5.4.2., hace referencia al deber moral de las grandes corporaciones comerciales de mostrar responsabilidad por preservar el planeta y las personas mientras mantienen sus beneficios. Está motivado por la TBL, y pretende desarrollar una red de SC con una capacidad de respuesta sostenible ante un entorno incierto.

Los autores se refieren a numerosas empresas que han visto incrementada su rentabilidad a través de prácticas sostenibles, por ejemplo Wal-Mart, Nike, IKEA o Nestlé. Además, debido al cambio en el clima y el aumento de la concienciación de los consumidores, las marcas adoptan la sostenibilidad como uno de sus objetivos bajo presión institucional (coercitiva, de grupo y mimética). Esta idea de la presión social ya había sido propuesta por Seuring & Müller (2008), anteriormente expuesta en la Figura 9 del sub-apartado anterior.

Aunque no da una definición de SCS, de un análisis de la literatura existente más reciente, Dubey et al. (2015) identifica algunas de las prácticas relacionadas con la SCSM así como sus características.

Por último, hace un estudio sobre una red de suministro de lazo cerrado (CLSC, *Closed-Loop Supply Chain*).

### **Schöggel, Fritz and Baumgartner (2016)**

Debido a la creciente complejidad de las SC, las compañías deben lidiar con la reducción de costes continua y las presiones de los *stakeholders* con el objetivo de conseguir una SCS. Por este motivo, el propósito del artículo es tratar de definir una serie de indicadores para evaluar la sostenibilidad en las SC, en concreto la de los sectores electrónico y automotriz.

En el artículo, Schöggel et al. (2016) se refiere a la SCSM como la alineación de las prácticas de la SC con el concepto de desarrollo sostenible, siempre teniendo en cuenta las TBL. Para guiarse en la consecución de sus objetivos, los autores se basan en la definición de SCSM dada por Ahi and Searcy (2013):

*“Es la creación de SC coordinadas a través de la integración voluntaria de las consideraciones económicas, medioambientales y sociales con los sistemas inter-organizacionales clave diseñados para gestionar eficaz y eficientemente los flujos de material, información y capital, asociados con el aprovisionamiento, la producción y distribución de productos o servicios con el objetivo de cubrir los requerimientos del stakeholder, y mejorar así la rentabilidad, competitividad y resiliencia de la organización, tanto en el corto como el largo plazo.”*

Finalmente, los autores exponen el desarrollo de los 69 indicadores para la SCSM en los sectores electrónico y automotriz, obtenidos a través de un proceso propio de 5 pasos consistente en:

- Revisión de literatura sistemática
- Entrevistas con los expertos en la industria
- Colección de indicadores

- Adaptación y desarrollo de los indicadores
- Validación y selección

### 5.5.3. Conclusión

Tras la lectura de los varios artículos que tratan la información existente sobre la sostenibilidad en la cadena de suministro, se entienden y comprenden los conocimientos que trata de transmitir cada uno de los autores. Ninguno los artículos consultados Seuring & Müller (2008), Carter & Rogers (2008), Hassini et al. (2012), Dubey et al. (2015) y Schöggel et al. (2016), trata la sostenibilidad como característica de la SC, sino que todos concluyen en que es una característica de su gestión. Por ello, todas las definiciones encontradas en la bibliografía hacen referencia a la sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro (SCSM).

Es importante reseñar que pese a que los artículos revisados en este proyecto ya hacen referencia a la triple dimensión de la sostenibilidad (ecológica, económica y social), todos defienden que anteriormente solo se tenía en cuenta la que hace referencia al medioambiente. Aunque Dubey et al. (2015) no propone una definición como los demás si lo hacen, también se apoya en la teoría de la *Tripple Bottom Line* (TBL) propuesta por Elkington (1998), que precisamente defiende las tres dimensiones comentadas.

Dos de los artículos, Seuring & Müller (2008) y Dubey et al. (2015) hacen referencia a que el alcance de una gestión sostenible en las empresas, muchas veces tiene que ver con las presiones o incentivos provenientes de las instituciones, es decir la sostenibilidad representa un deber moral.

En lo que se refiere a la medida del grado de sostenibilidad existente en una cadena de suministro, los artículos Hassini et al. (2012), Dubey et al. (2015) y Scöggel et al. (2016) son los tres que van más allá de la revisión bibliográfica. Hassini et al. (2012) además de realizar un marco teórico constituido por los aspectos y factores más importantes a tener en cuenta para lograr un desarrollo sostenible, realiza un caso de estudio sobre los pasos que se deberían seguir las empresas para lograr métricas. Dubey et al. (2015) identifica y caracteriza algunas de las prácticas de gestión sostenible llevadas a cabo por diferentes empresas. Además, realiza un estudio sobre la convergencia entre la sostenibilidad y una red de suministro CLSC. Finalmente, Schöggel et al. (2016) desarrollan mediante un proceso

propio 69 indicadores para medir la SCSM, en concreto, en su ámbito de estudio, el electrónico y automotriz.

De esta revisión de literatura se percibe un considerable consenso a la hora de realizar una definición de la gestión sostenible de la SC, ya que todos los autores se han apoyado en la teoría TBL. Para acabar de recoger todas las ideas y conocimientos de los autores, se propone una definición propia en el siguiente apartado.

#### **5.5.4. Definición**

*“La gestión sostenible de la SC es aquella en la que se gestionan eficazmente material, información y capital para la obtención de una rentabilidad económica a corto y largo plazo, en la que en todo momento se minimiza el impacto medioambiental y se maximiza el bienestar de la sociedad.”*

## **5.6. Conclusiones generales del estudio de la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad en la cadena de suministro**

El objetivo de este apartado es proporcionar una visión clara y general de los resultados obtenidos, así como ofrecer al lector una perspectiva global en lo que se refiere a la flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad de la cadena de suministro. Previamente se ha realizado un estudio, con sus consiguientes conclusiones extraídas individualmente. A continuación se exponen y proponen una serie de similitudes y diferencias entre cada uno de los términos.

De la revisión de la literatura se ha aprendido que es fundamental la inversión de tiempo y recursos al diseño de la red de suministro, ya que una vez esta está creada, es muy difícil y costoso adaptarlo a otras necesidades o requerimientos del entorno y el mercado. De esta forma se dificulta el funcionamiento normal y afectando al rendimiento operacional y económico de todos aquellos nodos participantes de la red. Del estudio de las cinco características se extrae que la robustez de la SC es la que necesita más atención en la fase de diseño.

Las parejas flexibilidad y robustez, flexibilidad y capacidad de respuesta, y robustez y resiliencia son a menudo intercambiadas y tomadas por sinónimos por diversos autores ya que comparten diversos matices, pero no debería ser así.

En lo que se refiere a la flexibilidad y la robustez, la primera es la capacidad de cambiar y acomodarse en el momento que ocurre una perturbación; sin embargo la robustez es la capacidad de que, pese a que ocurra tal disrupción, se mantenga el funcionamiento.

Por lo que respecta a la flexibilidad y la capacidad de respuesta, la flexibilidad se refiere más a cómo reacciona y hasta qué grado, mientras que la capacidad de respuesta es la agilidad y velocidad con la que adopta los cambios necesarios.

Finalmente, la robustez y la resiliencia se diferencian en que la robustez se refiere a la capacidad de resistir en un estado normal de funcionamiento durante la disrupción, y la resiliencia es volver al rendimiento normal después de dicha disrupción. La sostenibilidad de la cadena de suministro sin embargo, dista más del resto, principalmente porque no es una característica de la SC, sino de su gestión.

Por último, es importante remarcar que la cadena de suministro posea una característica, no explícita ni significa que de forma necesaria también deba poseer otra de las estudiadas en este trabajo. Siguiendo los comentarios de algunos autores, el hecho de que la SC además sea óptima, no consiste en que sea muy flexible, muy robusta, muy resiliente, etc., sino que es resultado de un diseño adecuado y proporcionado a sus necesidades y al entorno, adaptando el nivel de sus características. Un nivel superior al necesario puede resultar incluso contraproducente, viéndose disminuidas las ventajas competitivas de la SC.



## 6. IMPACTO ECONÓMICO

Al tratarse de un proyecto meramente teórico, no se ha necesitado ningún material en especial ni el uso de equipos o maquinaria específicos, más que el propio ordenador personal. Por este motivo, el esquema de costes que se ha realizado se basa en los siguientes apartados:

- Coste de material de oficina
- Coste humano

### 6.1. Coste del material de oficina

En este grupo de costes se tiene en cuenta, en primer lugar, el coste de impresión (incluyendo papel y tinta) el proyecto, así como su encuadernación. Para calcular el impacto de este concepto, se tienen en cuenta los precios públicos de impresión en color y encuadernación de la copistería de la propia facultad (ETSEIB).

Por otra parte, también se computará la amortización del ordenador personal utilizado para el proyecto. Se considera una dedicación al proyecto del 25% (la máxima permitida) del total del tiempo de uso, además se tiene en cuenta que el coste base del ordenador es de 1200€ y el tiempo de amortización ha sido la duración del proyecto, en este caso 5 meses (desde el inicio en marzo de 2019, hasta su presentación en junio de 2019).

Por lo que respecta a las licencias y derechos de las publicaciones adquiridas por la UPC y consultadas para la realización del trabajo, se considera un gasto nulo, ya que han sido adquiridas para toda la comunidad universitaria, no específicamente para la realización de este proyecto. Dado que no se han consultado artículos de acceso restringido o de pago (no cubiertos por la UPC), no se contempla ningún otro coste en este apartado, quedando el total de la siguiente forma:

Concepto	Fórmula de cálculo	Total
<b>Impresión</b>	82 páginas × 0,21 €/página	17,22 €
<b>Encuadernación</b>	2,50 €	2,50 €
<b>Amortización del ordenador</b>	0,25 × 1200 € × (5/12 meses)	125 €
<b>TOTAL (€)</b>		<b>144,72 €</b>

Tabla 6: Resumen de los costes en material de oficina.

## 6.2. Coste humano

En este otro grupo se tienen en cuenta los costes de personal, en el que se engloban las personas participantes en la realización del proyecto. En este caso las horas dedicadas por el estudiante y las dedicadas por el profesional del sector de la cadena de suministro, el tutor del proyecto. Se considera como salario para el estudiante 15 €/h, y para el profesional del sector 40 €/h. Con estos datos, los costes humanos quedan de la siguiente forma:

Concepto	Tiempo (h)	Precio (€/h)	Total
<b>Trabajo autónomo del estudiante</b>	300	15	4500 €
<b>Hora invertidas por el tutor</b>	25	40	1000 €
<b>TOTAL (€)</b>			<b>5500 €</b>

Tabla 7: Resumen de los costes humanos.

## 6.3. Coste total

El presupuesto destinado a la realización, redacción y presentación del proyecto ha sido de un total de **5644,72 €**.

## 7. IMPACTO AMBIENTAL

Durante la realización del proyecto se ha procurado en todo momento causar el menor impacto ambiental, que en este caso procede de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para calcularlo, se tienen en cuenta factores tales como la electricidad o el papel utilizado. Sin embargo, no se tiene en cuenta los viajes en transporte, ya sea público o privado, ya que el proyecto se ha realizado en su mayoría en la residencia del estudiante. En los casos en los que ha habido un desplazamiento a la facultad, no ha sido exclusivamente para la realización del proyecto.

### 7.1. Energía eléctrica del ordenador

Teniendo en cuenta las horas de trabajo autónomo con ordenador, cuantificadas en el apartado 6.2. como 300 horas, y las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> por hora, el cálculo es el siguiente:

Generación de CO <sub>2</sub> (kg/h)	Tiempo de funcionamiento (h)	Generación total de CO <sub>2</sub>
0,125	300	<b>37,5 kg</b>

Tabla 8: Datos de CO<sub>2</sub> producido por la energía eléctrica del ordenador.

### 7.2. Energía eléctrica lumínica

Para el cálculo de la energía lumínica se tiene en cuenta que aproximadamente la mitad de las horas de trabajo se han realizado bajo luz eléctrica, es decir 150 horas. Por otra parte, la bombilla utilizada es de 60 W, es decir 0,06 KW, así que el consumo total ha sido de 9 kWh. El cálculo de CO<sub>2</sub> se realiza de la siguiente manera:

Generación de CO <sub>2</sub> (kg/KWh)	Consumo (KWh)	Generación total de CO <sub>2</sub>
0,385	9	<b>3,5 kg</b>

Tabla 9: Datos de CO<sub>2</sub> producido por la energía eléctrica lumínica.

### 7.3. Papel utilizado

El papel utilizado en la realización del proyecto ha sido de 41 hojas (correspondientes a 82 páginas), teniendo en cuenta que la calidad del papel es de 90 g/m<sup>2</sup>, y que 1 hoja tiene 0,0624 m<sup>2</sup>, se han consumido 0,23 kg de papel. Con estos datos, la emisión de CO<sub>2</sub> se calcula como:

Generación de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kg papel)	Papel utilizado (kg)	Generación total de CO <sub>2</sub>
3	0,23	<b>0,69 kg</b>

Tabla 10: Datos de CO<sub>2</sub> producido por el consumo de papel.

### 7.4. Impacto ambiental total

En total, teniendo en cuenta el consumo energético del ordenador, de la luz y el consumo de papel, las emisiones generadas para la realización y presentación de este proyecto han sido de **41,69 kg de CO<sub>2</sub>**. Se puede considerar que es un impacto muy reducido considerando que cada español genera un promedio de 6 toneladas de CO<sub>2</sub> por año.

## CONCLUSIONES

La revisión de la literatura que ha supuesto el poder realizar este trabajo ha supuesto un aprendizaje continuo, además de lograr numerosos hitos tanto académicos como personales. Ahora se tiene una amplia visión y conocimientos tanto de la cadena de suministro y su funcionamiento, así como de todas sus características tratadas a lo largo del proyecto: flexibilidad, robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad. Mediante la buena gestión y diseño de estas se logra que la cadena de suministro sea capaz de superar de forma exitosa todas las perturbaciones que se puedan ocasionar debido a los cambios en la demanda, requerimientos del consumidor y la incertidumbre del entorno.

Gracias a la realización del proyecto se han desarrollado y mejorado las capacidades personales a la hora de llevar a cabo una investigación científica. A nivel formativo y académico, se ha aprendido la metodología que debe seguirse para un proyecto de estas características. Al mismo tiempo, se comprende que la formalidad y pulcritud necesarias para realizar un TFM son un punto clave. Además se ha mejorado las aptitudes de búsqueda, toma de decisiones y aplicación del criterio personal, todo ello enfrentándose a textos densos de calibre científico, que a su vez están en inglés, lo que ha servido para ampliar el vocabulario técnico que reina en este ámbito.

A la vez de comprender las características de la cadena de suministro, esas se han aplicado a nivel personal. Se ha tenido una actitud robusta y resiliente a la hora de hacer frente a los diferentes contratiempos que han surgido, de forma que el proyecto se pudiera llevar a término con el mejor nivel posible. Se ha sido flexible a la hora de afrontar los diferentes cambios que han surgido en el proceso, adoptando una capacidad de respuesta ágil y eficiente. Además, en todo momento, se ha procurado mantener unos estándares de sostenibilidad, tanto en lo que se refiere a la economía, al medio ambiente, y a las personas que han participado de forma directa o indirecta en la realización de este trabajo.

Finalmente, se considera que el proyecto realizado, debido a las limitaciones comentadas en el apartado 3.3., deja sentadas las bases y abierta una ventana a la futura investigación en lo que respecta al estudio de la flexibilidad, la robustez, resiliencia, capacidad de respuesta y sostenibilidad en la cadena de suministro.

## AGRADECIMIENTOS

En este apartado y ya en la recta final del Trabajo de Fin de Grado, me gustaría dedicar unas líneas de agradecimiento a aquellas personas que de una forma u otra han contribuido y se han involucrado en ayudarme durante los meses que ha durado el proyecto.

En primer lugar, agradecer al Dr. Ernest Benedito su labor como director y tutor de mi trabajo, así como por darme la oportunidad de participar en este proyecto, la confianza depositada y el seguimiento.

Finalmente, a mis padres por su afecto, ejemplo y la educación que me han brindado, y mis amigos, por su continuo apoyo y comprensión, así como por motivarme y ayudarme a ver la parte positiva de este periodo durante los momentos más difíciles.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Ahi, P., Searcy, C. (2013). *A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management*. J. Clean. Prod. 52, 329–341.
- Beamon, B. M. (1999). *Measuring Supply Chain Performance*. International Journal of Operations and Production Management 19 (3), 275–292.
- Benedito, E., Rubio, S., (2018). *Performance indicator for the supply chain design*. Working paper.
- Brandon-Jones, E., Squire, B. Autry, C. W., Petersen, K. J. (2014). A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. Journal of Supply Chain Management 50 (3), 55-73.
- Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P., Relvas, S., Novais, A. Q. (2015). *Resilience metrics in the assessment of complex supply-chains performance operating under demand uncertainty*. Omega 56, 53-73.
- Carter, C. R., Rogers, D. S. (2008). *A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 38 (5), 360-387.
- Carvalho, H., Barroso, A. P., Machado, V. H., Azevedo, S., Cruz-Machado, V. (2012). *Supply chain redesign for resilience using simulation*. Computers & Industrial Engineering, 329-341.
- Das, S. K., Abdel-Malek, L. (2003). *Modeling the Flexibility of Order Quantities and Lead-times in Supply Chains*. International Journal of Production Economics 85 (2), 171–181.
- Das, K. (2011). *Integrating Effective Flexibility Measures into a Strategic Supply Chain Planning Model*. European Journal of Operational Research 211 (1), 170–183.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S.J. (2015). *The design of a responsive sustainable supply chain network under uncertainty*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 80, 427-445.

- Durach, C. F., Wieland, A., Machuca, J. A. D. (2015). *Antecedents and dimensions of supply chain robustness: a systematic literature review*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 45 (1/2), 118-137.
- Elkington, J. (1998). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of the 21st Century*. New Society Publishers, Stoney Creek, CT.
- Esmailikia, M., Fahimnia, B., Sarkis, J., Govindan, K., Kumar, A., Mo, J., (2016). *Tactical supply chain planning models with inherent flexibility: definition and review*. Annals of Operations Research 244 (2), 407-427.
- Fayezi, S., Zutshi, A., O'Loughlin, A., (2015). *How Australian manufacturing firms perceive and understand the concepts of agility and flexibility in the supply chain*. International Journal of Operations and Production Management 35 (2) 246-281.
- Garavelli, A.C., 2003. *Flexibility configurations for the supply chain management*. International Journal of Production Economics 85 (2), 141-153.
- Góncz, E., Skirke, U., Kleizen, H. and Barber, M. (2007). *Increasing the rate of sustainable change: a call for a redefinition of the concept and the model for its implementation*. Journal of Cleaner Production 15 (6), 525-537.
- Guiu-Torné, A., (2017). *Flexibilitat i robustesa de la cadena de subministrament: revisió bibliogràfica*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, UPC.
- Gunasekaran A., Lai, K. H., Edwin Cheng, T. C. (2008). *Responsive supply chain: a competitive strategy in a networked economy*. Omega 36 (4), 549-564.
- Han, J., Shin, K. (2016). *Evaluation mechanism for structural robustness of supply chain considering disruption propagation*. International Journal of Production Research 54 (1), 135-151.
- Hassini, E., Surti C., Searcy, C. (2012). *A literature review and a case of study of sustainable supply chains with a focus on metrics*. International Journal of Production Economics 140 (1), 69-82.
- Holweg, M. (2005). *The three dimensions of responsiveness*. International Journal of Operations & Production Management 25 (7), 603-622.



- Käki, A., Salo, A., Talluri, S. (2005). *Disruptions in Supply Chains: A probabilistic risk assessment approach*. Journal of Business Logistics 36 (3), 273-287.
- Kamalahmadi, M., Parast, M. M. (2016). *A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research*. International Journal of Production Economics 171, 116-133.
- Kritchanchai, D., MacCarthy, B.L., (1999). *Responsiveness of the order fulfilment process*. International Journal of Production & Operations Management 19 (8), 812-833.
- Merschmann, U., Thonemann, U.W., (2011). *Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance: An empirical analysis of German manufacturing firms*. International Journal of Production Economics 130 (1), 43–53.
- Monostori, J., (2016). *Robustness- and Complexity-oriented Characterization of Supply Networks' Structures*. Procedia CIRP 57, 67–72.
- Moon, K.K.-L., Yi, C.Y. & Ngai, E.W.T., (2012). *An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies*. European Journal of Operational Research 222 (2), 191–203.
- Peng, P., Snyder, L. V., Lim, A., Liu, Z. (2011). *Reliable logistics networks design with facility disruptions*. Transportation Research Part B: Methodological 45 (8), 1190-1211.
- Pereira, C. R., Christopher, M., Da Silva, A. L. (2014). *Achieving supply chain resilience: the role of procurement*. Supply Chain Management: An International Journal 19 (5/6), 626-642.
- Reichhart, A., Holweg, M. (2007). *Creating the customer-responsive supply chain: a reconciliation of concepts*. International Journal of Operations & Production Management 27 (11), 1144-1172.
- Sánchez, A.M., Pérez, M.P., (2005). *Supply chain flexibility and firm performance: a conceptual model and empirical study in the automotive industry*. International Journal of Operations & Production Management 25 (7), 681–700.
- Schöggl, J.-P., Fritz, M. M. C., Baumgartner, R. J. (2008). *Sustainability assessment in automotive and electronics Supply Chains – A set of indicators defined in a multi-stakeholder approach*. Sustainability (Switzerland) 8 (11), 1185.

- Seuring, S., Müller, M. (2008). *From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management*. Journal of Cleaner Production 16 (5), 1699-1710.
- Sikdar, S. K., (2003). *Sustainable development and sustainability metrics*. AIChE Journal 49 (8), 1928-1932.
- Stevenson, M. & Spring, M., (2007). *Flexibility from a supply chain perspective: definition and review*. International Journal of Operations & Production Management 27 (7), 685–713.
- Vickery, S., Calantone, R., Dröge, C., (1999). *Supply chain flexibility: an empirical study*. Journal of Supply Chain Management 35 (3), 16–24.
- Vlajic, J.V., van der Vorst, J.G.A.J. and Haijema, R. (2012). *A framework for designing robust food supply chains*. International Journal of Production Economics 137 (1), 176–189.
- You F., Grossmann, I. E. (2008). *Design of responsive supply chains under demand uncertainty*. Computers & Chemical Engineering 32 (12), 3090-3111.
- Xiao, Y., (2015). *Flexibility measure analysis of supply chain*. Taylor & Francis.