



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Extensión de Go-green ANEMONA para Green Supply Chain

**Máster Universitario en Inteligencia Artificial,
Reconocimiento de Formas e Imagen Digital**

Autor: Jose Daniel Velez Gutierrez

Tutor: Ph.D. Adriana Susana Giret Boggino

Curso: 2019-2020

Lugar: **Valencia, España**

Fecha: **Julio 2020**

Autor: **Jose Daniel Velez Gutierrez**

Tutor: **Ph.D. Adriana Susana Giret Boggino**

Título: **Extensión de Go-green ANEMONA para Green Supply Chain**

Universidad: **Universitat Politècnica de València**

Departamento: **Departamento de Sistemas Informáticos y Computación**

Grado: **Máster Universitario en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital**

Curso: **2019-2020**

Índice general

1. Introducción	2
1.1. Motivación	2
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Estructura del documento	5
2. Parte I: Cadenas de producción eco-sostenibles	7
2.1. Sostenibilidad	7
2.2. La Problemática Ambiental	9
2.3. Medios modernos de producción y las cadenas productivas sostenibles .	11
2.3.1. Eficiencia en la Producción Industrial	12
2.3.2. Gestión de cadenas productivas sostenibles	12
2.4. Las dimensiones de la sostenibilidad en los SGD	15
2.5. Aspectos que definen una cadena de producción como sostenible	21
2.5.1. Aspectos en estándares internacionales	21
2.5.2. Aspectos del Índice de Desempeño Ambiental	22
2.5.3. Aspectos en publicaciones académicas	24
2.5.4. Aspectos generales identificados	26
2.5.5. Esquema de categorización y puntaje de eco-sostenibilidad	28
2.6. Cálculo del Puntaje de eco-sostenibilidad	32
2.6.1. Estructura del puntaje de eco-sostenibilidad	32
2.6.2. Requerimientos para la evaluación	33
2.6.3. Procedimiento de evaluación	34
2.6.4. Presentación del puntaje total	37

3. Parte II: Extensión del Framework Go-green ANEMONA	38
3.1. Sistemas de Manufactura Holónica y Modelado Basado en Agentes . . .	38
3.1.1. Holones y Agentes	39
3.1.2. SHM y SMA	42
3.2. GO-Green ANEMONA	44
3.2.1. Notación	45
3.2.2. Modelo de Agentes	49
3.2.3. Modelo de Tareas y Objetivos	49
3.2.4. Modelo de Interacción	56
3.2.5. Modelo de Entorno	57
3.2.6. Modelo de Organización	58
3.2.7. Proceso de desarrollo	61
3.2.8. Los SHM en las cadenas de suministro	68
3.3. Diseño y arquitectura de cadenas de producción y suministro	68
3.3.1. Tecnologías de la información en el diseño de cadenas de suministro	72
3.3.2. Modelado basado en Agentes en el diseño de cadenas de suministro	77
3.3.3. Nivel de madurez de una cadena de suministro	80
3.4. Sostenibilidad en el diseño de cadenas de suministro	82
3.4.1. Sistema de eco-puntos en el diseño de cadenas de suministro	84
3.5. Modelado social y organizacional	85
3.5.1. Organización social: visión sistémica	86
3.5.2. Lineamientos para la caracterización de organizaciones sociales en cadenas de suministro	92
3.6. Ampliación del Framework Go-Green Anemona	95
3.6.1. Alcance	95
3.6.2. Herramientas adicionales	95
3.6.3. Notación	96
3.6.4. Proceso de desarrollo	98
3.7. Ejemplo de Implementación de SSC-ANEMONA	103
3.7.1. Especificar Arquitectura de la Cadena de Suministro	103

3.7.2. Esquema de evaluación de sostenibilidad en cadenas de Suministro 107

4. Conclusiones y Trabajo Futuro 119

Conclusiones 119

4.0.1. Conclusiones 119

4.0.2. Trabajo Futuro 120

Bibliografía 121

A. Indicadores de sostenibilidad y criterios de evaluación 131

A.1. Indicadores de sostenibilidad y evaluación bajo perspectiva de fabricación para entidades materiales 131

A.1.1. Alimentos 131

A.1.2. Instituciones Educativas 132

A.1.3. Agua 132

A.1.4. Infraestructura 134

A.1.5. Ciudades 134

A.1.6. Productos y Suministros 135

A.1.7. Océanos y Mares 136

A.1.8. Ríos y Fuentes hídricas 136

A.1.9. Animales 137

A.1.10. Bósqes y Ecosistemas biológicos 138

A.2. Indicadores por entidades abstractas 139

A.2.1. Pobreza 139

A.2.2. Hambre 139

A.2.3. Bienestar 140

A.2.4. Salubridad 140

A.2.5. Equidad de género 141

A.2.6. Crecimiento económico 142

A.2.7. Innovación 142

A.2.8. Inequidad 143

A.2.9. Reciclaje 143

A.2.10. Justicia	144
A.2.11. Paz	145
A.2.12. Cooperación	145
A.3. Indicadores por entidades conceptuales	146
A.3.1. Educación	146
A.3.2. Energía	146
A.3.3. Trabajo	147
A.3.4. Industria	148
A.3.5. Comunidades	148
A.3.6. Producción	149
A.3.7. Consumo	149
A.3.8. Clima	150
A.3.9. Biodiversidad	151
A.3.10. Instituciones	151
B. Hoja de Formas para Diagramas en Software Dia	152
B.0.1. Instalación de la <i>Hoja de Formas SSC-Anemona</i>	152
C. Elementos adicionales del Framework SSC-Anemona	156
C.1. Requerimientos para evaluación de sostenibilidad	156
C.2. Etapa: Análisis de requerimientos: Guía para especificación de arquitecturas de cadenas de suministro	157
C.3. Etapa: Análisis de requerimientos: Requisitos del documento de requerimientos	159
C.4. Etapa: Identificación y Especificación de Holónes: Caracterización Social	160
C.5. Fase: Diseño: Lista de verificación de nivel de madurez de cadenas de suministro	163
D. Matrices para cálculo de puntajes de eco-sostenibilidad	166
D.1. Matriz de puntajes consolidados por dimensión de sostenibilidad	167

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Los paradigmas de modelado de sistemas holónicos y basados en agentes han tenido un gran despliegue de aplicaciones en los últimos 20 años. Los avances en el campo tuvieron un breve *momentum* de aceleración a principios de siglo, gracias a compilaciones como la de Michael Wooldridge et al. [86], que dieron visibilidad al estado del arte y sentaron las bases teóricas más relevantes, convirtiéndose en un punto de referencia en el desarrollo de sistemas multiagente. En su esfuerzo, Wooldridge et al. quisieron hacer énfasis en la naturaleza *interdisciplinar* del campo de estudio, estableciendo entre otras cosas que:

“El campo de los sistemas multiagentes ... se inspira en áreas tan diversas como la economía, la filosofía, la lógica, ecología y las ciencias sociales. No es sorpresa entonces que existan muchos puntos de vista sobre lo que comprende un proyecto de sistemas multiagentes.” [86]

Por esta razón, cualquier propuesta basada en agentes suele encontrarse directa o indirectamente relacionada con aspectos orientados al desarrollo de software, sistemas distribuidos, inteligencia artificial, economía y sociología.

Honrando la complejidad inherente a estos aspectos, antes de cualquier definición, Wooldridge suele clarificar la importancia de mantener dichas “definiciones” abiertas a discusión (logrando además apartarlas de la controversia), plasmando así una de las frases ahora icónicas en las publicaciones relacionadas con los sistemas multiagentes: “... no existe una definición universalmente aceptada del término Agente, siendo

aún materia de debate y controversia."

Irónicamente, tras su publicación no es común encontrar nuevas postulaciones ni análisis literarios debatiendo acerca de lo que se debe considerar o no un agente computacional. En contraposición, existe ahora un consenso no explícito, que establece la utilidad de no cerrar la definición y permitir formular cualquiera de sus características secundarias de acuerdo al campo de acción, siempre y cuando la autonomía sea una constante manifiesta de su comportamiento. Esta *autonomía* puede manifestarse de forma *reactiva* y/o *proactiva* y debe ocurrir en interacción con al menos un componente adicional, el cual puede ser un usuario, un elemento de Software u otro Agente computacional.

Las publicaciones recientes sobre sistemas multiagente citadas y analizadas en el presente trabajo usan esta definición implícitamente a pesar que ninguna propone, discute o enfatiza definiciones en este sentido, por lo general se centran en postular metodologías e implementaciones prácticas.

Esto en parte, da lugar a que las bases teóricas de principios del siglo XXI permanezcan aún vigentes y que propuestas como la del Framework ANEMONA [42] no sólo mantengan validez sino que continúan estableciendo el estado del arte, con la definición del "*Agente Abstracto*" como elemento teórico explícito para la implementación de Agentes compuestos, planteando los procedimientos lógicos necesarios para determinar intenciones, creencias y objetivos comunes, conciliando además los postulados de los sistemas holónicos y sentando las bases de implementaciones en este ámbito.

Los sistemas holónicos de manufactura establecen los parámetros necesarios para usar el concepto de "holón" en el desarrollo de sistemas industriales de producción y control, otorgándoles propiedades adaptativas mediante procedimientos de interacción con el entorno junto con la robustez de los sistemas distribuidos. La versión inicial del *Framework* ANEMONA, presenta una metodología corroborada experimentalmente que permite dirigir la implementación de este tipo de sistemas en entornos industriales de manufactura. A pesar de la conveniencia y bondades que este paradigma establece, existe un impedimento común que bloquea su adopción como regla generalizada y tiene que ver con la eficiencia de los sistemas industriales rígidos, cuyo esquema dio pie al desarrollo industrial de finales del siglo XX. En implementación, los sistemas holónicos ralentizan la producción industrial, por lo general en forma con-

gruente con su lectura del entorno. Esto sin embargo suele mal interpretarse como una “reducción en la eficiencia” y esta concepción en el ámbito empresarial (donde “el tiempo es dinero”) se interpreta como una posible reducción en ganancias económicas, formando la impresión errada de superioridad de los sistemas rígidos “tradicionales”.

Como respuesta a esta percepción, se adopta el discurso de la sostenibilidad como pivote de concientización en lo que se debe considerar eficiente en los ambientes industriales. En este sentido surge Go-Green Anemona [43] como una adaptación del *Framework* original que además define herramientas y pautas para manejar y entender mejor los procesos adaptativos que implementan los paradigmas holónicos, enfocándose en la eficiencia ambiental y la sostenibilidad. Al incluir elementos de “conciencia ambiental”, se resuelve de cierta forma la discusión sobre la “eficiencia” al interior de los procesos industriales de manufactura, sin embargo surge la necesidad de alinear estos paradigmas con los procedimientos de suministro y comercialización para evitar que los esquemas de regulación y adaptabilidad se interpreten como “demoras” o “cuellos de botella” respecto a las proyecciones de flujo en las cadenas de suministro configuradas. Es aquí donde surge la necesidad de abordar la caracterización de las cadenas de suministro en la formulación e implementación de los sistemas de control industrial, con miras a incluir sus procesos y sistemas de información en plataformas holónicas de gestión inteligente. Este trabajo es una aproximación en ese sentido, formulando aspectos relevantes a la sostenibilidad en ámbitos industriales y agrupando mediante un ejercicio interdisciplinar herramientas para la caracterización de cadenas de suministro inteligentes.

1.2. Planteamiento del Problema

Este trabajo se plantea en dos partes. En la primera se busca establecer los aspectos que definen una cadena de suministro como sostenible, teniendo en cuenta aspectos relevantes de producción industrial y el papel de los sistemas holónicos de manufactura. Partiendo de los resultados allí obtenidos, en la segunda parte se pretende analizar y plantear los elementos necesarios para extender el alcance del *Framework* Go-Green Anemona a cadenas de suministro sostenibles.

1.3. Objetivos

- **Objetivo general:** Plantear los elementos necesarios para extender el alcance del *Framework* Go-Green Anemona a cadenas de suministro sostenibles.
- **Objetivos específicos:**
 1. Definir los aspectos necesarios para determinar que una cadena de suministro pueda considerarse sostenible.
 2. Determinar los elementos del paradigma holónico y de agentes a incorporar en el *framework* que se consideren necesarios para abordar el ámbito de las cadenas de suministro sostenibles.
 3. Ampliar el alcance de Go-Green Anemona, estableciendo las herramientas y procedimientos suficientes para implementar sistemas holónicos inteligentes cuyo alcance involucre las cadenas de suministro sostenibles.

1.4. Estructura del documento

Consistente con el planteamiento del problema, el documento se divide en dos partes:

La primera parte (Capítulo 2) aborda el problema de la sostenibilidad, planteando una aproximación encaminada a la desambiguación aparente del término, encontrando que la falta de precisión suele ser alimentada y mantenida por discursos políticos, comerciales y de mercado. La confusión generada ha llegado a afectar incluso a la comunidad académica, dado que en algunas publicaciones se alimenta el mito, al referenciar esta “ambigüedad” como sinónimo de complejidad. Se encuentra, sin embargo, que en términos generales el manejo de los conceptos es consistente y los consensos alrededor de la sostenibilidad se han manejado de forma precisa a través del tiempo en documentos institucionales y académicos. En la Sección 2.1 se presenta la definición de sostenibilidad usada en el contexto de este trabajo. De forma similar, se usa el consenso internacional vigente sobre sostenibilidad, expresados (al momento de realización de este trabajo) en 17 objetivos para el desarrollo sostenible [8], en la definición de las *dimensiones de la sostenibilidad* (Sección 2.4) y se compara con los aspectos abordados

en estándares, índices y publicaciones académicas (Sección 2.5). Con los resultados del análisis realizado, se plantea un esquema de puntuación que permitiría evaluar el nivel de sostenibilidad de un producto e incluso un proceso complejo como el de las cadenas de suministro. En la Sección 2.6 se describe dicho procedimiento.

En la segunda parte del documento (Capítulo 3), se presentan los aspectos relevantes a la extensión del *framework* Go-Green Anemona (Sección 3.1) y su relación con las cadenas de suministro. En la Sección 3.3 se describen los esquemas tradicionales para diseño y arquitectura de cadenas de suministro, su evolución a través del tiempo y las estrategias usadas en dicho ámbito desde el paradigma de modelado basado en agentes. Con la información extraída de esta sección, se define una lista de verificación que permite conocer el nivel de madurez de una cadena de suministro, siendo el nivel más alto la *cadena de suministro inteligente*. En la Sección 3.4 se describen los elementos de sostenibilidad generalmente usados en la caracterización de cadenas de suministro, encontrando congruencia con los planteamientos postulados en la primera parte del documento. En la Sección 3.5 se aborda la complejidad de los entornos sociales y su caracterización, la necesidad e importancia de abandonar simplificaciones tajantes que crean percepciones insuficientes de la realidad organizacional para evitar problemas en tiempo de ejecución y una metodología de análisis social planteada por el psicólogo Daniel Katz [54] como herramienta para la caracterización del entorno en cadenas de suministro. Finalmente en la Sección 3.6 se presentan los elementos y herramientas a incorporar en el *Framework* para ampliar su alcance a la caracterización de cadenas de suministro inteligentes, con especial énfasis en garantizar la sostenibilidad de su funcionamiento. Debido a limitaciones de tiempo y recursos en la realización de este trabajo no se llega a la verificación total del *Framework* resultante, sin embargo en la Sección 3.7, se presenta un ejemplo de implementación parcial que incluye la caracterización de una cadena de suministro y el uso del esquema de puntaje de sostenibilidad. En el Capítulo 4 se presentan las conclusiones del trabajo.

Capítulo 2

Parte I: Cadenas de producción eco-sostenibles

2.1. Sostenibilidad

Los problemas para establecer una definición de los conceptos asociados a la sostenibilidad ambiental son tan complejos como los términos en sí. Influye el hecho de que palabras como eco, ambiente, sustentable, sostenible, Green, se han convertido en muletillas de propaganda y concientización, por lo que varios autores consideran inconveniente atreverse a formular un significado que pudiera ser universalmente aceptado.

Inicialmente el concepto se asentó en el discurso ambiental a través de los informes emitidos por la Organización de Naciones Unidas (ONU) la cual ha mantenido coherencia en el manejo del término. En consecuencia, esta definición es punto de partida común en las discusiones ambientalistas de la comunidad científica, en especial el concepto de “desarrollo duradero” contenido en el informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo [65]:

“(...) asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (...) implica (...) limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social (...) pero tanto la tecnología como la organización social pueden ser ordenadas y mejoradas de manera que abran el camino a una nueva era de crecimiento económico.”

En este sentido, la viabilidad de un futuro común implica bienestar social, salud y equilibrio ecológico [47]. Estas temáticas a su vez, se relacionan con prácticas y conceptos relativamente novedosos y no bien estructurados como lo es el reciclaje, la economía circular, energías limpias, materiales renovables, la responsabilidad social, el consumismo y el comportamiento eco-responsable [22].

Diferentes autores coinciden en definir perspectivas relevantes para la sostenibilidad como método válido para abordar su complejidad y a partir de las mismas formular soluciones y tecnologías relevantes a un campo de acción. En general se suelen considerar las tres perspectivas delimitadas en los informes de la ONU: la social, la económica y la ambiental. Goodland [46] incluye además la perspectiva “humana”, en donde debe considerarse todo lo referente a la propiedad privada y el capital individual. Las líneas de investigación orientadas al diseño y formulación de productos suelen diferenciar los procesos de diseño y manufactura como una línea distinta separada de su usabilidad y de los efectos que genera sobre el entorno [69] [71], tomando en cuenta que es posible diseñar productos orientados a propiciar la sostenibilidad sin ser sostenibles y de forma similar, productos sostenibles que propician comportamientos nocivos para la sostenibilidad. En el mismo sentido, Penzenstadler y Femmer [71] consideran necesaria una perspectiva “tecnológica” en la que se debe involucrar el uso de sistemas de información y su evolución en el largo plazo de acuerdo con las condiciones del entorno.

La ONU mantiene un marco de referencia que regula los aspectos a considerar en cuanto a sostenibilidad. Al momento de formular el presente documento tienen vigencia 17 objetivos para desarrollo sostenible (Sustainable Development Goals - SDG) [8] formulados en el plan de acción “Agenda para el desarrollo sostenible del 2030” [10].

Es común el uso de los SDGs como método de desambiguación conceptual y marco de referencia para formular metodologías y soluciones sobre aspectos tecnológicos y sociales [12] [17] [56]. En términos generales se entiende que una iniciativa, modelo o tecnología no necesariamente debe involucrar la totalidad de los objetivos para ser considerada sustentable por lo que, generalmente, los autores diversifican las definiciones dependiendo el contexto de estudio y la temática de sus propuestas. De aquí se desprende la complejidad del término y se evidencia la dificultad para mantener una definición de aplicación interdisciplinaria.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la realización de este documento se toma como marco de definición conceptual de sostenibilidad y sustentabilidad los 17 SGD's formulados por la ONU. Se entiende la sostenibilidad como una acción práctica aplicable a procesos de cualquier tipo y a la usabilidad de cualquier producto, cimentada en tecnologías que propician una organización social consistente para generar crecimiento económico con innovación y sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

Frente a esta definición se consideran tres tipos de afectación: (1) positiva: cuando el proceso evaluado contribuye a la consecución de los SGD; (2) neutra: cuando el proceso evaluado no obstruye en ningún ámbito el cumplimiento de ninguno de los SGD; (3) negativa: cuando el proceso evaluado obstruye o va en contra de al menos uno de los SGD.

Adicionalmente, se consideran tres perspectivas: ejecución, uso y ciclo de vida; con el fin de diferenciar los efectos de la sostenibilidad como acción práctica en la manufactura, la usabilidad y de ciclo de vida de productos, procesos y servicios.

2.2. La Problemática Ambiental

Las consecuencias ambientales producto del desarrollo social e industrial desmedido de los seres humanos son incuestionables. Numerosos informes describen a diferentes niveles de detalle las problemáticas identificadas, sus causas y efectos a corto, mediano y largo plazo [4] [3] [83].

Las primeras iniciativas ambientales impulsadas por la ONU en 1972 con la celebración de la conferencia sobre el ambiente humano y en 1992 con el Earth Summit en Rio de Janeiro, dieron pie al uso de estrategias propagandísticas con ciertos grados de fatalismo respecto al futuro, que buscaban acelerar la concientización de la comunidad mundial. Los resultados fueron positivos en el sentido que se logró darle importancia a la temática. Sin embargo, como quedó registrado en los documentos de la declaración de cada uno de los eventos, el desarrollo económico se sobrepuso siempre a cualquier manifiesto de proteccionismo ambiental. Ahora, varias décadas después, los efectos ambientales no han llegado a los niveles de cataclismo previstos a finales del siglo XX [24], pero estudios recientes concuerdan que se ha llegado a un punto de

desequilibrio difícilmente reversible [62].

Dado el nivel de propaganda ambientalista actual, número de organizaciones e iniciativas, es válido afirmar que la etapa de concientización fue implementada con cierto grado de éxito. En contraposición, pareciera incluso necesario iniciar un proceso de desmitificación sobre los efectos del daño ambiental sobre el planeta.

Desde un punto de vista geológico, el desarrollo industrial de la humanidad constituye una parte insignificante de la historia de la tierra. Algunos estudios sustentan la posibilidad de que la proliferación del *homo sapiens* ya tuvo efectos globales sobre otras especies [81], estando ligado a la aniquilación de los grandes mamíferos y de otros homínidos con los que compartió territorio. Se sabe que estos procesos de cambio constante, evidentes solo a escala de eras geológicas, son responsables de la estabilización del medio, la proliferación de la vida y la diversificación de las especies.

Mediante el estudio de fósiles y capas de roca, se han podido establecer al menos cinco extinciones masivas en los últimos 500 millones de años [78] y a pesar de las condiciones ambientales extremas que surgieron al final de cada era, múltiples especies continuaron existiendo, manteniendo la vida en el planeta. Actualmente se tiene conocimiento de micro-organismos capaces de sobrevivir en condiciones extremas como el tardigrado y las bacterias *archaea*, entre otros [21], por lo que se sabe con certeza que sin importar los efectos de largo plazo que pudiera tener la contaminación y la injerencia humana sobre el ambiente, la vida prevalecerá en el planeta. Por tal razón, contaminar los discursos y los estudios ambientalistas con propaganda apocalíptica sobre la destrucción del planeta la convierte en insumo para la ficción, le resta credibilidad, banaliza y caricaturiza su importancia real.

La problemática ambiental es entonces en esencia un problema humano, producto de su fragilidad, codependencia con otras especies y la estabilidad del medio que habita, el cual debe permanecer dentro de ciertos rangos para garantizar nuestra supervivencia.

Bajo esta perspectiva, el efecto último que tendrá la contaminación ambiental generada por el desarrollo industrial desmedido es la extinción de la misma especie humana (y obviamente otras cuantas especies en el proceso). Es importante concientizar las comunidades de esta realidad y el verdadero drama que representa, pues la extinción por contaminación ambiental no sería un proceso rápido e indoloro, después del

cual unos pocos sobrevivientes podrían reconstruir la sociedad. Por el contrario, el proceso puede tardar varias generaciones y aún así ser irreversible. Tal escenario, incluye la muerte prematura de infantes por enfermedades difícilmente tratables o degenerativas producto de la toxicidad del ambiente [9] [41], la proliferación de infecciones en cortos periodos de tiempo que afectan la calidad de vida y ponen en riesgo la seguridad alimentaria y económica de muchas regiones, una disminución drástica de la calidad de vida en las ciudades, desabastecimiento espontáneo e inestabilidad económica, proliferación de enfermedades como el cáncer, inundaciones frecuentes, lluvias con fuerza suficiente para destruir asentamientos rurales y urbanos, así como huracanes en zonas distintas a las habituales, entre otros efectos impredecibles.

Es importante entonces encaminar la temática ambiental en este sentido, orientando políticas y esfuerzos en dirección a mantener la vida, en condiciones dignas para todas las especies presentes en nuestro entorno.

2.3. Medios modernos de producción y las cadenas productivas sostenibles

El termino “cadena productiva” es un concepto teórico, usado desde principios de la década de 1980 [19] que describe una estrategia de producción secuencial muy usada en la industria y mediante la cual es posible identificar los diferentes componentes que conforman los procesos de fabricación y transformación como eslabones (entrelazados), definiendo la naturaleza de sus relaciones, así como los niveles de dependencia y “acoplamiento”. Contemplado como una herramienta de diseño, su uso principal existe en la planeación y gestión de sistemas empresariales. A medida que la industrialización entró a formar la mayoría de la economía global, diferentes aproximaciones respecto a la correcta gestión de las cadenas productivas han sido formuladas y transformadas a la par de los avances sociales, tecnológicos, económicos y ambientales.

2.3.1. Eficiencia en la Producción Industrial

Ante la preocupación general por la sostenibilidad en los procesos productivos industriales y las alertas emitidas en distintos informes por varias organizaciones, han surgido nuevos paradigmas orientados al manejo adecuado de recursos como estrategia para maximizar las ganancias, abaratando los precios de producción y minimizando el desperdicio. El éxito de estas estrategias, sin embargo, ha profundizado la crisis ambiental pues acelera la capacidad de las industrias para generar productos, pero no disminuye su costo energético. Además, con ritmos tan acelerados de producción se ha generado un nuevo fenómeno, donde los desechos (basura) están conformados por productos terminados de bajo costo, que han perdido su valor comercial y no necesariamente su funcionalidad o usabilidad.

La preocupación por empezar a mitigar los efectos nocivos de la aún creciente industrialización global, han llevado a la formulación de paradigmas para gestión de cadenas de producción sostenibles, las cuales redefinen las políticas y estrategias necesarias para el correcto diseño e implementación de cadenas de producción industrial.

Las principales estrategias que han logrado la implementación de políticas orientadas a la sostenibilidad en los procesos industriales son el impulso comercial y la imposición legal [16] [68], que a pesar de ser un buen incentivo para aquellas empresas que no encuentran razones para iniciar cambios en este sentido, pueden llegar a desviar la raíz de los problemas que se busca resolver, dando la idea que los argumentos son debatibles o imposiciones con segundas intenciones.

2.3.2. Gestión de cadenas productivas sostenibles

El esfuerzo por proponer nuevas alternativas en la formulación, diseño e implementación de cadenas productivas sostenibles es evidente y en la literatura se pueden encontrar distintas propuestas. En [79], Seuring y Muller definen el *green supply chain management* como los mecanismos necesarios para la gestión de flujos de recursos, información, capital y cooperación con otras compañías en los procesos productivos, donde se deben tener en cuenta tres niveles de desarrollo sostenible: (1) económico, (2) ambiental y (3) social; que derivan en consecuencia a la demanda de inversionistas y consumidores.

Martín-Gomez et al. en [61], describen los elementos clave para asegurar la correcta implementación de las iniciativas sostenibles:

- La *Gestión* debe estar siempre orientada hacia el diseño de productos sostenibles, el abastecimiento ecológico, el trabajo y desarrollo colaborativo con clientes y proveedores, gestión de la seguridad y la producción eficiente.
- La *Integración* en cuanto a procedimientos, métricas, implementación de tecnologías de la información para la mejora de la sostenibilidad, el desempeño empresarial y el enfoque colaborativo en las cadenas de producción, requiere la definición de estrategias y proyectos continuos orientados a la transferencia de conocimiento.
- La *Adaptabilidad* mediante mecanismos reactivos que aseguren la flexibilidad de las cadenas productivas, permitiendo su evolución conjunta y fundamentada en la cultura de la innovación, la implementación de nuevas tecnologías y la reformulación continua de los productos.
- La *Conectividad* es un requisito fundamental para lograr la integración de las cadenas productivas, mediante el uso de la información extraída de todas sus etapas (desde la extracción de las materias primas hasta la recuperación de los productos al fin de su vida útil).

En [18] los autores evalúan el impacto y la huella contaminante que agregan los procesos logísticos a las cadenas de producción, respecto a emisiones de carbono (CO₂), emisiones de combustibles fósiles y otros 6 indicadores económicos y sociales. A partir de los resultados obtenidos proponen 3 tipos de políticas a ser formuladas en el corto mediano y largo plazo:

- Corto plazo: políticas que consideren factores sociales y económicos encaminadas a soportar la calidad de las infraestructuras logísticas.
- Mediano plazo: políticas de liberalización orientadas a maximizar las ganancias en el comercio internacional, incentivar la inversión extranjera y mejorar la calidad de los servicios logísticos.

- Largo plazo: La gestión de cadenas de producción debe estar basada en el uso de prácticas eco-sostenibles que usen procedimientos estándar internacionales, ayudando a la incursión en el mercado global con productos de calidad.

Existen propuestas sobre marcos conceptuales para gerencia de cadenas productivas donde se incluyen factores financieros, operacionales, organizacionales, de mercado, así como logísticos y ambientales. En [55] los autores proponen incluir conceptos logísticos como: *Green logistics, Reverse Logistics, Green purchasing*; y ambientales como: *Decreasing emissions, Decreasing energy, Consumption, Decreasing Business Waste, Decreasing Environmental cost, Increasing Environmental Revenues*.

El concepto de “logística inversa” es un eje fundamental en las estructuras de economía circular que buscan la reutilización de materia prima a partir del reciclaje de productos desechados. Los autores en [33], muestran los efectos que se consiguen al implementar estas estrategias para remanufactura de productos con el fin de generar un mercado de productos que bajo esquemas actuales terminarían en los depósitos de basura.

La relevancia del transporte de productos y mercancías es inherente a las cadenas productivas. En [60] se evalúa el impacto de estrategias de transporte inteligente colaborativo; además de beneficios ambientales en términos de reducción de emisiones y consumo energético, los autores encuentran beneficios socio-económicos relacionados con la disminución de tráfico y accidentes en carretera, aumento de la seguridad vial, generación de empleo y bienestar laboral. En [77] se plantean los beneficios de manejar centros de acopio logístico compartido como estrategia para la reducción de emisiones y consumo energético. Se describen el tipo de políticas o reglamentaciones que deberían imponerse sobre las empresas para sacar mejor provecho de tal estructura. El autor usa como ejemplo el mercado de bebidas alemán, sobre el cual plantea volver al uso de empaques genéricos que facilitan y abaratan la logística inversa. Se discute el mal uso de este tipo de iniciativas pues elimina los beneficios de políticas como el reciclaje al incrementar el consumo energético de combustibles y las emisiones contaminantes en el proceso. En [45] los autores evalúan, mediante simulación computacional, los beneficios de implementar un sistema de abastecimiento alimentario financiado por entidades gubernamentales, que busca abaratar el costo de los alimentos al inte-

rior de las ciudades, mejorar los ingresos de los productores y garantizar la seguridad alimentaria.

Partiendo de los retos formulados por la ONU para lograr la estabilización de los ecosistemas y el desarrollo económico sostenible, los esfuerzos en investigación dirigidos a la estandarización e implementación de cadenas productivas sostenibles son de vital importancia tanto en el ámbito académico como en el empresarial y es necesario conocer cada uno de los ámbitos a los que deben ser focalizados. En ese sentido los SGDs son un valioso marco de referencia.

2.4. Las dimensiones de la sostenibilidad en los SGD

Las dimensiones humanas, sociales, económicas, ambientales y tecnológicas de la sostenibilidad, mencionadas en secciones anteriores, pueden resultar en desagregaciones ambiguas, cuya correlación implica solapamiento. Por esta razón se suele hablar de aspectos socio-ambientales, socio-económicos, económico-ambientales, socio-económico-ambientales, etc. Con propósitos de desambiguación en ese sentido, resulta útil considerar cada uno de los SGDs como un ámbito de categorización, pues focaliza las temáticas sobre 17 aspectos diferentes y aún así complementarios a considerar frente a la sostenibilidad.

Los objetivos de desarrollo sostenible formulados por la ONU son los siguientes [8]:

- Objetivo 1: *No Poverty*. Acabar la pobreza en todas sus formas, en todo lugar.
- Objetivo 2: *Zero Hunger*. Acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria con mejores estándares de nutrición y promover la agricultura sustentable.
- Objetivo 3: *Good Health and Well-Being*. Garantizar la vida sana para todas las edades.
- Objetivo 4: *Quality Education*. Garantizar educación igualitaria y de calidad y promover oportunidades permanentes de aprendizaje para todos.
- Objetivo 5: *Gender Equality*. Lograr la equidad de género y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas.



Figura 2.1: Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (Recuperado del sitio WEB: SGD - Sustainable Development Knowledge Platform [8])

- Objetivo 6: *Clean Water and Sanitation*. Garantizar la disponibilidad del agua, su manejo sustentable y su salubridad para todos.
- Objetivo 7: *Affordable and Clean Energy*. Garantizar acceso a energía accesible, moderna, confiable y sustentable para todos.
- Objetivo 8: *Decent Work and Economic Growth*. Promover el crecimiento económico sustentable e inclusivo, así como el empleo total y productivo con trabajo digno para todos.
- Objetivo 9: *Industry, Innovation and Infrastructure*. Construir infraestructuras robustas, promover la industrialización inclusiva y sostenible promoviendo la innovación.
- Objetivo 10: *Reduced Inequalities*. Reducir la inequidad entre los países.
- Objetivo 11: *Sustainable Cities and Communities*. Hacer de todas las ciudades y asentamientos humanos un lugar seguro, inclusivo, robusto y sustentable.
- Objetivo 12: *Responsible Consumption and Production*. Garantizar el consumo responsable, así como patrones de producción responsable.

- **Objetivo 13: *Climate Action*.** Tomar acciones inmediatas para combatir el cambio climático y sus impactos.
- **Objetivo 14: *Life Below Water*.** Conservar y usar sustentablemente los océanos, mares y todo recurso marítimo para el desarrollo sostenible.
- **Objetivo 15: *Life on Land*.** Proteger, restaurar y promover el uso sustentable de los ecosistemas terrestres, manejar sustentablemente los bosques, combatir la desertificación, detener la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad.
- **Objetivo 16: *Peace, Justice and Strong Institutions*.** Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, promoviendo el acceso a la justicia para todos por igual y construir instituciones responsables, efectivas e inclusivas en todos los niveles.
- **Objetivo 17: *Partnerships for The Goals*.** Afianzar y reforzar la cooperación global internacional y sus medios de implementación para el desarrollo sostenible.

Estos objetivos contemplan un consenso internacionalmente aceptado de los aspectos necesarios para garantizar la supervivencia humana y la de otras especies en condiciones dignas. Cada uno se refiere a un ámbito de acción necesario para que la sostenibilidad sea completa. En este sentido, cada uno puede ser considerado una dimensión desde la cual abordar cualquier iniciativa, si se considera la definición establecida en la sección 2.1 y su capacidad para ser implementada en cualquier actividad económica o proceso social. Cada dimensión va a estar definida por las entidades sobre las cuales se focaliza el campo de acción del objetivo, que son principalmente de tres tipos:

- **Entidades Materiales:** consiste en los objetos físicos involucrados en el foco de acción del objetivo. En esta categoría se incluyen los alimentos, las escuelas, universidades, el agua, las infraestructuras, las ciudades, los océanos, mares, ríos, fuentes hídricas, los bosques, los animales, los ecosistemas biológicos.
- **Entidades Abstractas:** comprende ideas abstractas pertenecientes a las estructuras sociales y económicas propias de los seres humanos. Los elementos identificados bajo esta categoría son el crecimiento económico, la innovación, la pobreza, el

hambre, la equidad de género, el bienestar, la salubridad, la inequidad, la justicia, la paz.

- **Entidades Conceptuales:** abarca realidades intangibles, aún así presentes, en los entornos sociales, económicos y ambientales. En esta categoría esta la energía, el trabajo, la educación la industria, las comunidades, la producción, el consumo, el clima, la biodiversidad, las instituciones.

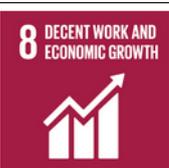
En la Tabla 2.1 se detalla la correspondencia de cada una de estas entidades con los SGDs que las focalizan. Esta desagregación (en dimensiones) puede ser de especial utilidad al momento de identificar fuentes de información que permitan determinar el nivel (y tipo) de afectación que una política, proyecto, proceso industrial o actividad comercial tiene sobre los objetivos y por ende sobre la sostenibilidad general.

Tabla 2.1: Entidades de focalización por SGD

SGDs*	Entidades Materiales	Entidades Abstractas	Entidades Conceptuales
		Pobreza	
	Alimentos	Hambre	
		Bienestar Salubridad	
	Escuelas Universidades		Educación
Continúa en siguiente página			

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 2.1 viene de página anterior

SGDs*	Entidades Materiales	Entidades Abstractas	Entidades Conceptuales
		Equidad de género	
	Agua		
			Energía
		Crecimiento económico	Trabajo
	Infraestructura	Innovación	Industria
		Inequidad	
	Ciudades		Comunidades
Continúa en siguiente página			

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 2.1 viene de página anterior

SGDs*	Entidades Materiales	Entidades Abstractas	Entidades Conceptuales
	Suministros Productos	Reciclaje	Producción Consumo
			Clima
	Océanos Mares Ríos Fuentes Hídricas		
	Bóscues Animales Ecosistemas biológicos		Biodiversidad
		Justicia Paz	Instituciones
		Cooperación	

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

2.5. Aspectos que definen una cadena de producción como sostenible

Como se menciona en secciones anteriores, el uso comercial desmedido de la terminología ha dificultado la estandarización de lo que se debe considerar como sostenible, así como la definición de mecanismos para valorar procedimientos, servicios o productos concretos. En varios países se han aplicado regulaciones estrictas frente a estas prácticas, evitando que por ejemplo los automóviles sean publicitados como medios de transporte ecológicos sostenibles [2]. Esto y la amplia literatura al respecto hace que definir los aspectos generales para determinar una cadena productiva como sostenible no sea una tarea sencilla. A continuación, se presentan algunas iniciativas de estandarización y los temas de investigación en los que la comunidad académica ha enfocado sus esfuerzos, para ser tomados en cuenta en la formulación de un mecanismo de valoración generalizable que permita categorizar la sostenibilidad de las cadenas productivas y de suministro.

2.5.1. Aspectos en estándares internacionales

El *framework* que mayor acogida ha tenido a nivel corporativo es conocido como “*Triple bottom line*” (3BL). Los conceptos establecidos en este marco fueron respaldados por la ONU y ha permanecido como enfoque predominante para la evaluación del desempeño sostenible en distintas organizaciones desde principios de siglo XXI. El 3BL se fundamenta en tres conceptos [80]:

- **Personas:** Referente al recurso/capital humano. Promueve la creación de un marco de referencia social que considere el bienestar de los empleados y la población involucrada en la cadena de producción y suministro de la compañía, fomentando el “sentido social” corporativo.
- **Planeta:** Referente a los recursos naturales. Fomenta la creación de convenciones corporativas encaminadas a proteger el ambiente, el uso de energías limpias, reducción de emisiones, reciclaje, etc., buscando reducir la huella ambiental del ejercicio corporativo.

- **Rentabilidad:** Referente a las ganancias económicas producto del ejercicio corporativo. Desde el marco de referencia de la sostenibilidad, la rentabilidad debe ser considerada como un beneficio económico producto del bienestar social aportado por la corporación.

La organización *Global Reporting Initiative* contiene una serie de estándares que guían a las corporaciones a desarrollar las tres bases del 3BL y así registrar el desempeño socio-ambiental de las compañías.

De forma similar, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) dispone la serie 14000 [6], como herramienta práctica gerencial para la implementación del sistema ambiental en compañías y organizaciones. Involucra métodos de valoración del ciclo de vida para procesos corporativos e induce a la creación de estrategias, objetivos e indicadores orientados a la sostenibilidad.

A pesar de que estos estándares proporcionan ejemplos de indicadores, no definen mediciones específicas aplicables a nivel general, sino que promueven la creación de esquemas de evaluación de desempeño ambiental internos, propios para cada organización. Entidades como la OCDE, la ONU, la sociedad internacional de profesionales de la sostenibilidad y la Unión Europea, entre otras, si han formulado indicadores específicos para la evaluación de la sostenibilidad en diferentes ámbitos [40], sin embargo, para las empresas puede resultar engorroso revisar todas las propuestas emitidas por cada una de estas organizaciones, por lo que la formulación de mediciones propias suele ser la práctica generalmente aplicada.

2.5.2. Aspectos del Índice de Desempeño Ambiental

The Environmental Performance Index [11] fué desarrollado por las universidades de Yale y Columbia de Estados Unidos, en colaboración con la Comisión Europea. Usa un método de cuantificación y categorización numérica para evaluar el desempeño ambiental de las políticas estatales de acuerdo con los objetivos de desarrollo del milenio de la ONU. A nivel macro, presenta dos desagregaciones ponderadas, identificadas como contrastantes:

- *Environmental Health:* Constituye el 40 % del puntaje total. Está relacionado con

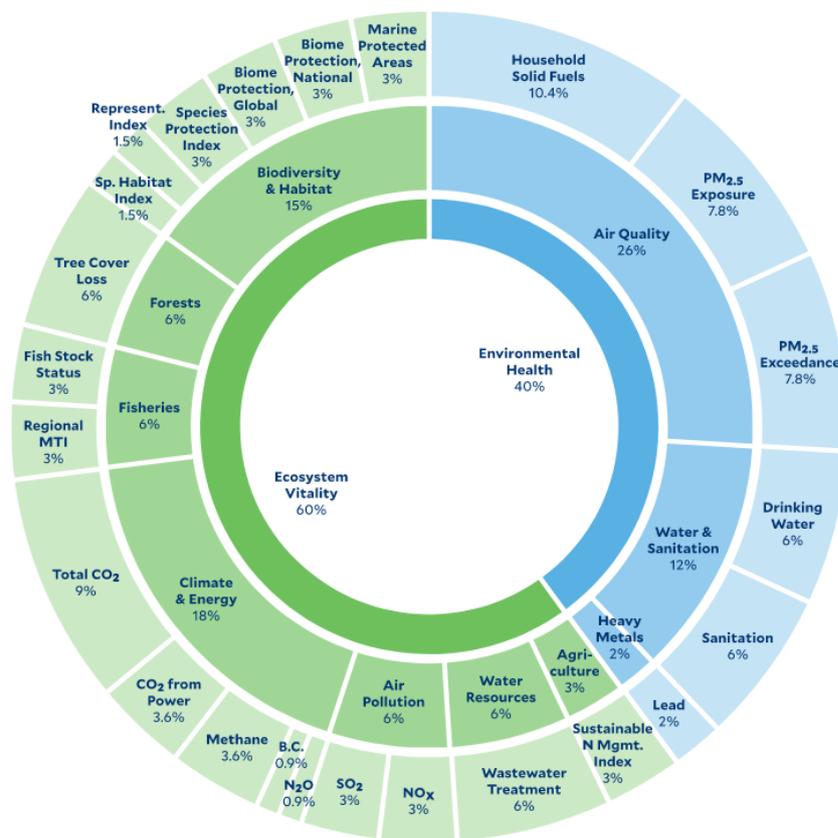


Figura 2.2: Framework EPI 2018 (Recuperada del sitio WEB *Environmental Performance Index - Yale University* [85])

el crecimiento y prosperidad económica; relaciona temáticas y mediciones sobre calidad del aire y del agua.

- *Ecosystem Vitality*: Constituye el 60% del puntaje total. Está ligado a aspectos generalmente afectados por la industrialización y la urbanización desmedida; toma en cuenta temáticas e indicadores relacionados con la agricultura, las energías limpias, el clima, la biodiversidad y el uso industrial de los recursos naturales.

La Figura 2.2 muestra los indicadores, categorías, políticas y objetivos incluidos en el *framework*.

Actualmente el desempeño se evalúa a nivel general otorgando una puntuación a los países. La estrategia de medición de este índice presenta una aproximación interesante que puede ser aterrizada a niveles más concretos en los eslabones industriales.

2.5.3. Aspectos en publicaciones académicas

Los esfuerzos en investigación frente al tema de la sostenibilidad y las cadenas de producción y suministro suelen centrarse en temáticas de gran interés para la industria, algunas veces impulsadas por la entrada en vigor de regulaciones cada vez más estrictas en diferentes países, las cuales dictan los parámetros que de forma activa están siendo considerados para garantizar la sostenibilidad industrial.

Mediante revisión literaria del tema en cuestión, en [82], los autores identificaron tres aspectos generales de interés en el contexto de las operaciones sostenibles:

- **Manufactura sostenible:** Los esfuerzos en este sentido se centran en formular soluciones y tecnologías orientadas a la remanufactura, diseño de procesos de desensamble para reducción y reutilización de suministros, manejo de inventarios y producción inteligente.
- **Logística inversa:** Con propuestas y soluciones orientadas al diseño de redes de distribución, preprocesamiento, recolección, ordenamiento, inspección y control.
- **Gestión de residuos:** Con investigación orientada a tecnologías y estrategias sostenibles para disposición de residuos, sistemas de reciclaje y reducción de emisiones nocivas y contaminantes.

Los **aspectos sociales**, a pesar de no ser un aspecto de investigación activo en lo referente a cadenas de producción, es considerado un aspecto esencial a tener en cuenta. En [67] se referencia el número de horas laborales o ausencias, como medidas ejemplo para la categoría social de los indicadores a formular. Los autores de [71], incluyen la dimensión social como parte integral de un Modelo genérico para la sostenibilidad con instancias específicas para productos y procesos. En [40] se diagrama el “Bienestar social” como una categoría de los indicadores de sostenibilidad a la par con el “Impacto ambiental” y el “Beneficio Económico”. En [23] se considera el impacto en las comunidades, la contribución en la creación de cohesión comunitaria local y programas de desarrollo como parte del desempeño social para medir la influencia de las prácticas sostenibles en la gestión de cadenas productivas.

El **tema energético**, es abordado desde perspectivas no siempre inherentes a la gestión de cadenas productivas, su consumo reducido y controlado es considerado

parte importante de las estrategias de producción “lean” [23]. En [36] se incluye tanto el consumo como el origen (electricidad, biomasa, gasolina, diésel, etc.) de la energía consumida en los procesos productivos en un modelo que combina el análisis multivariado y el modelado de redes de Petri para proponer un método de evaluación conjunta de indicadores ambientales y de negocio. En [17] abordan específicamente la cadena de producción de energía, proponiendo un modelo de optimización y la metodología asociada para reducir la variabilidad de proveedores de energías renovables mediante mejoras en los procesos de planeación y así facilitar la correcta integración de fuentes de energía sustentable en las redes de suministro.

El **desarrollo tecnológico** sustentable también hace parte de los aspectos relevantes abordados con relación a las cadenas de suministro. El artículo [57] presenta varias iniciativas de investigación dirigidas a la automatización de sistemas de manufactura y la reducción de emisiones en la gestión de cadenas productivas sostenibles. En [20] los autores proponen el concepto de “Green Robotics” (Robótica sostenible) como eje central de una metodología para el diseño y programación de robots y su relación con la gestión de cadenas productivas sostenibles.

Los autores en [89] abordan varios temas transversales mediante su propuesta de “tarifa al carbono” analizan los efectos para crear conciencia sostenible, contribuir con la reducción del **cambio climático** y fomentar la **colaboración entre naciones** con regulaciones deficientes frente a las emisiones de dióxido de carbono. Mediante implementación experimental concluyen que el esquema propuesto induce a las empresas a tomar acciones frente a las emisiones, independientemente del entorno legal del país de operación. Agregando una penalización económica, el modelo allí propuesto aplica un concepto abordado también en [87], donde los autores analizan la capacidad que tiene la “**presión social**” como mecanismo para regular la cooperación entre actores comerciales (socios) teniendo en cuenta el contexto cultural de China, donde estas prácticas son válidas y refuerzan y preservan la cooperación. La “presión social” se define como el mecanismo mediante el cual los actores de una cadena de suministro usan la confianza para propiciar conductas deseables como la solución conjunta de problemas, la toma mutua de decisiones, información compartida, cumplimiento de pactos y contratos encaminados a la sostenibilidad. De esta forma surge como un factor fundamental en la relación proveedor-comprador en todos los niveles promovien-

do mejores resultados financieros [87]. Dadas las diferencias culturales, este tipo de estrategias pueden tener mayor relevancia en países orientales donde el control social, la confianza y el honor forman parte importante de sus esquemas de cohesión social. En las culturas europeas, sin embargo, estas estructuras de confianza estarían limitadas a círculos empresariales cerrados o supeditadas a marcos legales. El efecto sería aún más inocuo en entornos americanos, debido a sus esquemas de libre competencia regulados principalmente por la demanda del mercado.

Los resultados experimentales favorables de estas propuestas, aunque limitados a un contexto particular, ratifican la validez de su principio esencial, el cual consiste en incluir elementos adicionales para influenciar el flujo del mercado y “manipular” su capacidad de autorregulación a favor de la sostenibilidad, sin la necesidad de intervención gubernamental externa. Esto por supuesto, es posible hoy en día gracias al proceso de concientización que ha generado segmentos de mercado para productos “amigables con el ambiente”. Según informe de la comisión europea [39], alrededor del 80 % de los ciudadanos europeos (encuestados) afirma que el impacto ambiental de los productos es un elemento medianamente importante o muy importante a tomar en cuenta al momento de comprar un producto.

2.5.4. Aspectos generales identificados

De acuerdo con la literatura consultada, se pudo identificar el desarrollo tecnológico e industrial como eje temático mediante el cual se busca liderar la sostenibilidad en las cadenas de producción y suministro, incluyendo tecnologías orientadas al reciclaje, la logística inversa, la manufactura sostenible y la eficiencia energética. Se mantiene sin embargo como punto de referencia los aspectos sociales como finalidad inmersa en el concepto, así como el tema de las emisiones nocivas y el cambio climático. En propuestas enmarcadas en el contexto empresarial oriental, también se destacan iniciativas encaminadas a la colaboración empresarial a través de modelos predefinidos.

Los estándares internacionales suelen abordar los aspectos de la sostenibilidad desde perspectivas más abstractas y generalizables, manteniendo el enfoque en lo social, lo ambiental y lo económico. El Índice de desempeño ambiental, es uno de los *fra-*

networks más completos en este sentido, pues abarca bajo sus dos categorías “*ecosystem Vitality*” y “*Environmental health*” gran parte de las dimensiones de la sostenibilidad, incluyendo la calidad del aire, salubridad del agua, toxicidad del ambiente, agricultura, energías renovables, bosques, pesca, biodiversidad y urbanismo.

Tema Identificado	SGD Asociado
Desarrollo Tecnológico	Objetivo 9: Industry, Innovation and Infrastructure
Manufactura Sostenible	
Logística Inversa	Objetivo 12: Responsible Consumption and Production
Gestión de Residuos	
Aspectos Sociales	Objetivo 3: Good Health and Well-Being
	Objetivo 5: Gender Equality
	Objetivo 8: Decent Work and Economic Growth
Eficiencia Energética	Objetivo 7: Affordable and Clean Energy
Cambio Climático	Objetivo 13: Climate Action
Colaboración empresarial	Objetivo 17: Partnerships for The Goals
	Objetivo 11: Sustainable Cities and Communities
EPI	Objetivo 14: Life Below Water
	Objetivo 15: Life on Land
	Objetivo 6: Clean Water and Sanitation

Tabla 2.2: Concordancia de los SGDs Vs temas identificados

La Tabla 2.2 muestra la relación de los aspectos identificados y los objetivos de desarrollo sostenible, definidos en la sección 2.4 como las dimensiones necesarias para garantizar la sostenibilidad. Mediante este cuadro comparativo, se evidencia el esfuerzo existente en crear iniciativas, directa o indirectamente, en 12 de los 17 objetivos y respalda la utilidad de usar los SGDs como marco referencial de un esquema de categorización de sostenibilidad.

2.5.5. Esquema de categorización y puntaje de eco-sostenibilidad

Como parte de la ampliación del Framework Go-Green ANEMONA para el diseño de sistemas de información holónicos en cadenas de producción y suministro, se presenta a continuación un esquema transversal de categorización y puntaje mediante el cual sería posible definir si un proceso productivo, cadena de suministro, producto o servicio puede ser considerado sostenible, teniendo como marco de referencia principal los objetivos para desarrollo sostenible emitidos por la Organización de Naciones Unidas.

El esquema consiste en un sistema de puntos que mide el nivel de contribución positiva o negativa a la sostenibilidad. Dado que una contribución negativa tiende a ser más nociva que los efectos de una positiva, la categorización establece un rango numérico con valor mínimo -74 y valor máximo +37, con las siguientes directrices:

- La contribución neutra de un proceso productivo a un SDG no suma ni resta puntos.
- La contribución negativa de un proceso productivo a un SDG resta el doble que su contribución.
- Sólo la contribución positiva de un proceso productivo a un SDG suma puntos.
- La falta de información o la información no verificable respecto a un proceso, producto o servicio, implica una obstrucción a la consecución de los SDGs y se puntúa de forma negativa; por tanto, un producto del que se desconoce la información relevante para evaluar su sostenibilidad debe ser valorado con el puntaje más negativo contemplado por el esquema de categorización.
- Un proceso productivo que no contribuye ni obstaculiza el desarrollo de los SDGs, tendrá una puntuación de cero y no puede ser considerado como sostenible.
- Si su afectación negativa a los SDGs sobrepasa las contribuciones, su puntuación será negativa, por lo que debe ser considerado como “No-sostenible” y nocivo para la supervivencia humana.

- Para que un proceso productivo, servicio o producto pueda ser considerado sostenible, las contribuciones positivas a los SGDs deben ser tal, que logren contrarrestar los efectos nulos y negativos, obteniendo puntuaciones positivas estrictamente mayores que cero.
- En caso que la ponderación total del puntaje positivo de sostenibilidad incluya puntajes negativos contrarrestados, estos deben ser manifestados como superíndice del puntaje total positivo (Ejemplo: $+5^{-4}$)

Este esquema sencillo en principio debe estar acotado por una serie de parámetros que garanticen su objetividad a nivel regional, legal y comercial entre otros aspectos. Con esto en mente, a continuación, se detallan una serie de consideraciones definidas con el fin de mantener la consistencia de las mediciones a pesar de la variabilidad del entorno y las perspectivas inherentes a la actividad productiva industrial.

Validez regional de la puntuación

Orientado a mantener la consistencia del método de evaluación con el SGD número 10 “Reducir la inequidad”, la puntuación debe ser calculada usando como marco de referencia la legislación del lugar donde los productos o servicios son comercializados. Esto implica que si los procesos productivos que dan origen a un producto o servicio son ejecutados en un país, estado o región con distintas leyes laborales y comerciales al lugar donde se comercializan, el puntaje de categorización que aplica es el del lugar de comercialización. Así entonces el puntaje de sostenibilidad debe contener como prefijo el nombre de la región o abreviación internacional estándar sobre el cual fue calculado. Por ejemplo el puntaje $ES+5^{-4}$ se lee como: puntaje +5 de sostenibilidad con cierto grado de afectación negativa a los SGD (-4) y con validez en el territorio español (ES).

Esta diferenciación regional pretende entregar a los consumidores finales información relevante sobre las prácticas productivas asociadas al producto, los efectos que tiene sobre su entorno social, económico y ambiental inmediato y así otorgarle una herramienta para la toma de decisiones respecto a su participación en el mercado. También, permite al consumidor entender su papel real en la economía de mercado y su capacidad de afectación, regulación y control del entorno comercial.

De esta forma, el esquema soporta escenarios típicos, en los que la cadena productiva y de suministro de un producto o servicio es ejecutada transversalmente en diferentes países y mercados, adaptándose a la subjetividad de las leyes. Muy seguramente la ponderación de eco-sostenibilidad de un producto fabricado en un país en vía de desarrollo, alcance valores positivos cuando va a ser comercializado en el mismo lugar y otro negativo al calcularlo para su comercialización en un país económicamente desarrollado, pues al tomar como referencia los estándares y regulaciones del país en vía de desarrollo, objetivos como “Trabajo decente y crecimiento económico” será afectado positivamente. En contraposición, el mismo SGD bajo los estándares de un país desarrollado puede incluso considerarse de afectación negativa (pues la legislación laboral del lugar de producción no sería considerada como “decente” y tampoco estaría aportando localmente al crecimiento económico). Estos escenarios podrían generar una regulación espontánea de este tipo de productos por parte de los consumidores pues refleja el grado de desigualdad entre las comunidades productoras y las consumidoras, implica una consecuente afectación negativa al objetivo número 10 “Reducción de la inequidad” y aunque el costo de venta sea menor que otros productos similares, dará a conocer al consumidor los ámbitos de la sostenibilidad a donde está siendo desplazada la diferencia en el costo, permitiéndole decidir si está dispuesto a propiciarlos a cambio de una reducción en el precio.

Perspectivas de categorización

Como se menciona en la sección 2.1, en el desarrollo del presente trabajo se consideran tres perspectivas esenciales para abordar la definición de sostenibilidad (ejecución, uso y ciclo de vida), que permiten desagregar y manejar la complejidad de los elementos a considerar. Calcular el puntaje de eco-sostenibilidad bajo cada perspectiva, permite evaluar consistentemente productos que parecieran crear efectos contradictorios, como los elementos tecnológicos, por ejemplo, cuya usabilidad puede contribuir positivamente objetivos sociales, económicos y de innovación, su fabricación puede seguir los estándares más estrictos de sostenibilidad pero aún así, al terminar su vida útil constituyen un peligroso riesgo ambiental si su ciclo de vida no incluye la remanufactura y/o un proceso claro y eficiente de reciclaje. Un producto de tales características

ostentaría puntajes positivos bajo las perspectivas de fabricación y usabilidad, pero seguramente uno negativo en la perspectiva de su ciclo de vida. Esta información, desagregada de tal forma, sería de gran utilidad para los consumidores, pues les permitiría decidir qué productos adquirir de acuerdo con las características de su entorno inmediato.

La categorización debe entonces realizarse teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- **Categorización del proceso de fabricación:** Debe considerar la cadena de producción y suministro en su totalidad. Los procesos de manufactura, uso energético, materiales, emisiones, manejo de residuos, marco laboral de los trabajadores involucrados y demás elementos descritos en las secciones anteriores.
- **Categorización de la usabilidad:** Debe considerar los efectos que tiene el uso del producto o servicio sobre cada una de las dimensiones de la sostenibilidad; ¿Su uso contribuye o impide la erradicación de la pobreza? ¿Su uso contribuye o impide la erradicación del hambre? ¿su uso contribuye o impide mejora frente al cambio climático? etc. De no ser posible determinar su injerencia frente a alguna de las dimensiones, suma cero. Si contribuye suma positivamente. Si obstruye resta.
- **Categorización del ciclo de vida:** Debe considerar la afectación que sufre cada una de las dimensiones de la sostenibilidad al momento de dejar de prestar un servicio o al desechar un producto. ¿Desechar el producto contribuye con garantizar acceso a energías limpias? ¿Finalizar el servicio promueve el crecimiento económico sustentable y el trabajo digno? ¿Desechar el producto contribuye a reducir la inequidad? etc. De igual forma, según los argumentos que sustenten la respuesta a cada valoración se suman o restan los valores correspondientes: suma si contribuye, resta si obstruye, cero si no influye.

La simplicidad y desagregación del esquema aquí propuesto está diseñado para ser compatible con cualquier iniciativa y modelo de sostenibilidad. Muchas de las propuestas y modelos presentados en las secciones 2.5.1 y 2.5.3, pueden ser usadas para

soportar y argumentar a favor (o en contra) en aplicar un puntaje positivo (o negativo) en las dimensiones relacionadas. De igual forma, el esquema puede ser incluido fácilmente en *frameworks* para el diseño y gestión de cadenas productivas sostenibles, garantizando un mecanismo generalizable de evaluación y control orientado con los consensos internacionales de sostenibilidad.

Su enfoque modular lo hace especialmente compatible con tecnologías holónicas orientadas a agentes como la del Framework Go-Green ANEMONA, por lo que su incorporación puede aportar un mecanismo valioso para el diseño de sistemas de información holónicos en cadenas de producción inteligentes y sostenibles.

2.6. Cálculo del Puntaje de eco-sostenibilidad

El esquema de puntuación descrito en la sección anterior plantea una serie de retos en su implementación, pues se debe contar con fuentes confiables de información para sustentar la calificación computada sobre sus productos/servicios y procesos de fabricación. Con la propuesta se incluye un procedimiento para el cálculo del puntaje generalizable a cualquier cadena de producción y suministro, mediante una estructura escalonada que garantiza la consistencia de sus resultados.

2.6.1. Estructura del puntaje de eco-sostenibilidad

El puntaje de eco-sostenibilidad propuesto se asienta sobre un listado de indicadores predefinidos y generalizables a cualquier cadena de suministro. Están formulados a partir de las dimensiones de la sostenibilidad descrita en la sección 2.4 y categorizados en concordancia con las entidades (materiales, abstractas y conceptuales) allí analizadas. En el Apéndice A de este documento se incluye el listado completo de indicadores y los criterios de evaluación con los cuales se computan los valores base para calcular los puntajes totales por región. La Figura 2.3 diagrama la estructura general de la propuesta.

El “Puntaje Total” (regional) se calcula sumando los puntajes consolidados de cada SGD. Estos a su vez, se computan consolidando los puntajes obtenidos tras la evaluación de los indicadores de “Entidad”. En el Apéndice D.1 se incluye una matriz

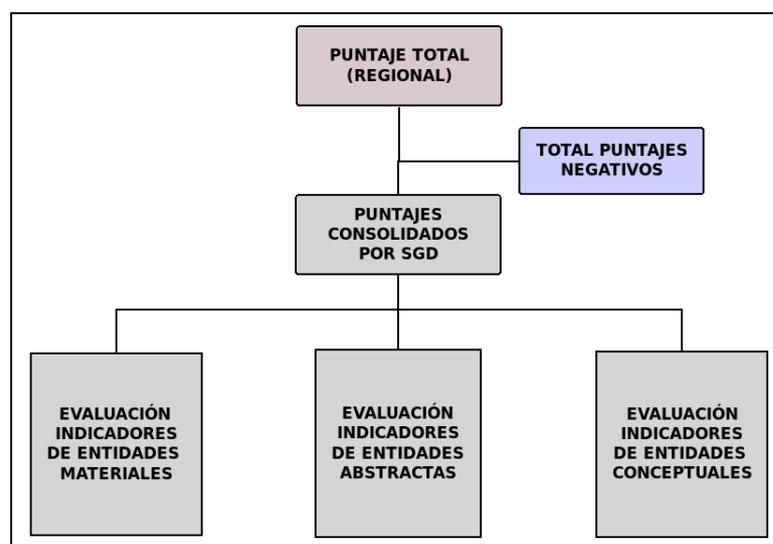


Figura 2.3: Estructura del puntaje de eco-sostenibilidad para cadenas de producción y suministro

que facilita el cálculo de los puntajes consolidados y totales. El procedimiento y reglas para la consolidación y demás cálculos se detalla en la sección 2.6.3.

2.6.2. Requerimientos para la evaluación

La estructura del puntaje de eco-sostenibilidad aquí propuesto implica una serie de requerimientos de información accesible en intervalos regulares que garanticen la consistencia de las mediciones de los indicadores de sostenibilidad. Una estrategia válida para lograr tal flujo de información, es la construcción de un mapa de entorno de la red de suministro asociada a la cadena de producción que defina las relaciones, flujos y ubicación de las entidades (materiales, abstractas y conceptuales) que constituyen las dimensiones de la sostenibilidad, descritas en la sección 2.4. Teniendo en cuenta esta estrategia, a continuación se listan algunos de los requerimientos que se consideran necesarios para soportar y mantener el esquema de evaluación activo en una cadena productiva previamente establecida:

- Tener acceso a información actualizada y real referente a la ubicación geográfica de los nodos de distribución de la red.
- Mantener información actualizada sobre las regiones (con la delimitación política y agrupación más conveniente: comunidades autónomas, provincias, estados,

federaciones, naciones, países, etc.) donde se ubican los consumidores finales.

- Construir y mantener actualizada una estructura jerárquica basada en la hegemonía legislativa, social, económica y ambiental de las regiones en que se va a computar el puntaje de eco-sostenibilidad, para facilitar el proceso de evaluación de indicadores.
- Crear líneas de comunicación directas con fuentes de información oficiales y confiables para cada región vinculada a la red de distribución sobre leyes, estándares y regulaciones asociadas a las entidades que constituyen las dimensiones de la sostenibilidad.
- Crear y mantener un mapa con las relaciones existentes entre las entidades (materiales, abstractas y conceptuales) de cada región y los eslabones de la cadena de producción y suministro.
- Crear y mantener procesos de recopilación de información periódica sobre aspectos de la sostenibilidad asociados a cada una de sus dimensiones.
- Crear un proceso de evaluación continua de los indicadores de sostenibilidad (incluidos en Apéndice A).

2.6.3. Procedimiento de evaluación

Contar con acceso a fuentes de información confiable y precisa simplifica el cálculo del puntaje de eco-sostenibilidad, pues facilita el paso inicial que consiste en la evaluación de los indicadores predefinidos de sostenibilidad (Apéndice A). La Figura 2.4 diagrama el procedimiento de evaluación propuesto.

Cálculo de puntajes consolidados por SGD y Total

- Representamos con G , el conjunto de objetivos para desarrollo sostenible.
- $G = \{g_1, g_2, \dots, g_{17}\}$ comprende los 17 objetivos g_n , siendo n el número del SGD.
- E_n representa el conjunto de entidades (materiales, abstractas y conceptuales) del objetivo g_n .

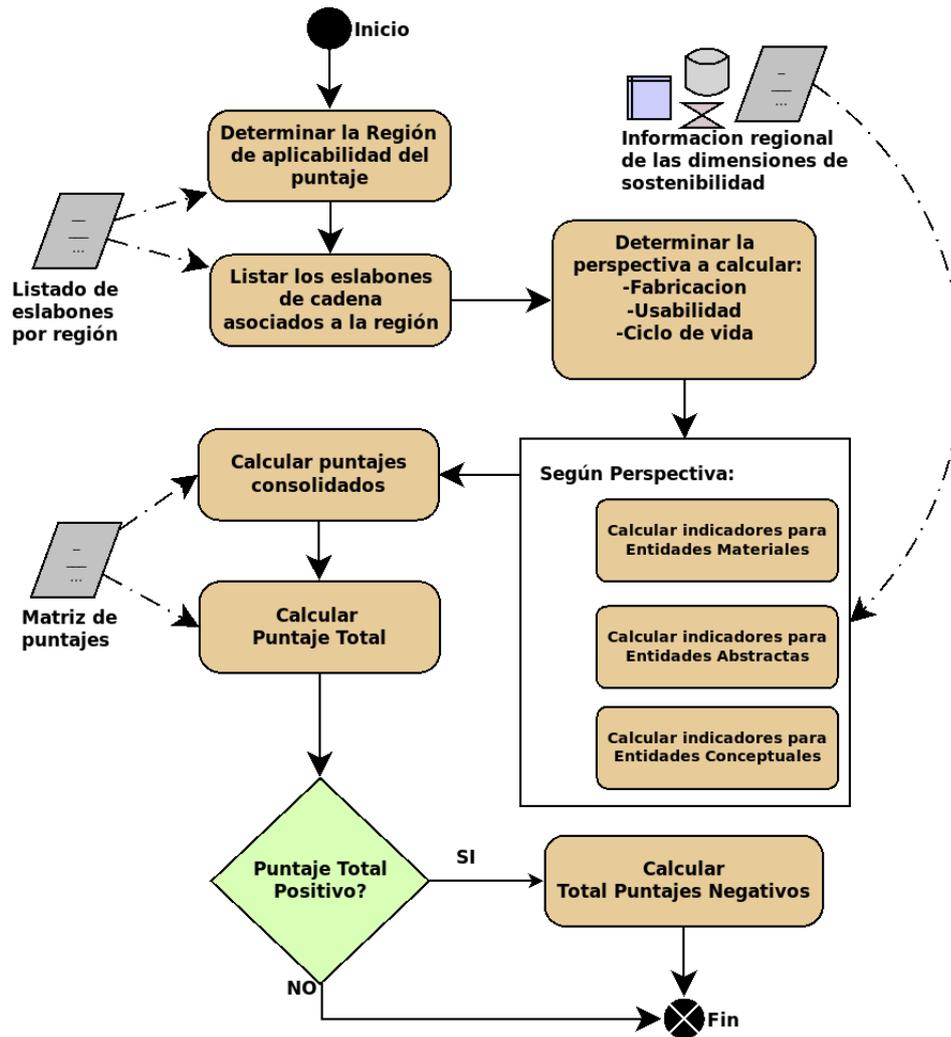


Figura 2.4: Procedimiento para el cálculo de puntaje de eco-sostenibilidad

- $\widehat{E}_n^+ = \{e_1, \dots, e_r\}$ es conjunto de entidades (materiales, abstractas y conceptuales) del objetivo gn sobre los que se identifica una aportación positiva.
- $\widehat{E}_n^- = \{e_1, \dots, e_r\}$ es conjunto de entidades (materiales, abstractas y conceptuales) del objetivo gn sobre los que se identifica una afectación negativa.
- El **puntaje consolidado** Pg_n para el objetivo gn estará dado por:

$$Pg_n = \widehat{E}_{gn}^+ - 2\widehat{E}_{gn}^- \quad (2.1)$$

La ecuación 2.1 castiga las afectaciones negativas con el fin de impedir que contribuciones parciales a un objetivo cubran afectaciones que a largo plazo obstruyen la sostenibilidad, incentivando un esfuerzo integral.

- Se define con W_n al conjunto de pesos parametrizables $\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ que ponderan la importancia que se le da a cada objetivo g_n según el entorno en el que se evalúa. Mediante esta estrategia es posible configurar de manera flexible modelos de medición específicos para complementar, estimular o afianzar legislaciones socio-ambientales y de sostenibilidad a nivel regional.

- El **puntaje total** P_T corresponde a la suma ponderada de los 17 puntajes consolidados:

$$P_T = \sum w_n P_{g_n} \quad (2.2)$$

- El **total de puntajes negativos** N_T , se calcula cuando el puntaje total P_T es mayor que cero y corresponde a la sumatoria de los puntajes P_{g_n} negativos:

$$N_T = \sum P_{g_n}; \text{ para todo } P_{g_n} < 0 \quad (2.3)$$

Aquí, igual que con la penalización de la ecuación 2.1, se busca exponer enfáticamente las afectaciones negativas a la sostenibilidad, con el fin de incentivar la visión integral de esta problemática.

Con el fin de facilitar el procedimiento de cómputo, en el Apéndice D.1 se incluye una matriz guía para el cálculo de puntajes consolidados. El Cuadro 2.3 muestra un segmento tipo de la matriz con valores ejemplo para el cálculo de todos los posibles puntajes (+1, 0, -2).

Tabla 2.3: Segmento tipo de Matriz de puntajes consolidados

SGD	E.M.	✓	✗	E.A.	✓	✗	E.C.	✓	✗	P_{g_n}
SGD-n				EA1	✓		EC1	✓		+2
	$\hat{E}_{g_n}^+$	0		+	1		+	1		
	$\hat{E}_{g_n}^-$		0			0		+	0	
SGD-n'	EM1'	✓		EA1'	✓					0
				EA2		✗				
	$\hat{E}_{g_n}^+$	1		+	1		+	0		
	$\hat{E}_{g_n}^-$		0			1		+	0	

Continua en siguiente página

Tabla 2.3 viene de página anterior

SGD	E.M.	✓	✗	E.A.	✓	✗	E.C.	✓	✗	Pg_n
SGD-n''				EA1''		✗				-2
\widehat{E}_{gn}^+		0		+	0		+	0		
\widehat{E}_{gn}^-			0		+	1		+	0	

* E.M.: Entidades Materiales. E.A.: Entidades Abstractas. E.C.: Entidades Conceptuales. Ind.: Indicador. Pgn: Puntaje consolidado total

2.6.4. Presentación del puntaje total

El puntaje total calculado se presenta usando 4 *slots* que identifican la región de aplicación, el signo del puntaje obtenido, el valor del puntaje y un superíndice opcional para representar afectaciones negativas a pesar de un puntaje positivo. El Cuadro 2.4 muestra el arreglo de los *slots* en diseño de presentación y su descripción:

$[\text{COD_REG}][+][P_T]^{[N_T]}$	
COD.REG:	Abreviación ISO 3166-1 del país o dependencia administrativa a la que corresponde el puntaje de sostenibilidad.
SIGNO:	Se indica explícitamente el signo del puntaje.
PUNTAJE_TOTAL (P_T):	El puntaje obtenido.
PUNTAJES_NEGATIVOS (N_T):	La sumatoria de los puntajes negativos se muestra cuando el PUNTAJE_TOTAL es positivo mayor que cero.

Tabla 2.4: Presentación del puntaje total

Capítulo 3

Parte II: Extensión del Framework

Go-green ANEMONA

El objetivo de esta sección es presentar una adaptación del framework Go-Green ANEMONA con el fin de ampliar su campo de implementación a cadenas de suministro, mediante el uso de tecnologías basadas en agentes. Se presenta a continuación una contextualización de los aspectos involucrados en el *framework*, su alcance actual sobre procesos de manufactura inteligente y demás aspectos relevantes para su adaptación.

3.1. Sistemas de Manufactura Holónica y Modelado Basado en Agentes

El modelado basado en agentes es un tema activo en investigación y con múltiples aplicaciones tanto académicas como empresariales. Por ser un tema en constante actualización, sus conceptos y definiciones siguen siendo tema de discusión y consolidación por parte de los investigadores. Para la realización del presente trabajo se toma en cuenta la conceptualización presentada en la formulación del Framework ANEMONA [31], la cual mantiene vigencia y forma parte de la línea de consolidación de estas tecnologías. A continuación, se presentan los conceptos de Agente, Holón, Sistema Holónico de Manufactura y Sistema Multi-Agente, que hacen parte de la ampliación a cadenas de suministro. Para un desglose más detallado de estos términos y los fundamentos concretos de su conceptualización se puede consultar los artículos y publica-

ciones referentes al *framework* ANEMONA [31] [43], [44].

3.1.1. Holones y Agentes

El *Holón* es un término usado en biología, propuesto por el filósofo Arthur Koestler, para referenciar de forma integral y abstracta tanto individuos como sistemas de seres vivos, en los que no siempre es clara la división entre las *partes* y el *todo* [31]. Esta conceptualización es fundamental en la teoría general de sistemas y las corrientes de pensamiento sistémico que surgieron paralelamente. Dada la capacidad de abstracción de esta técnica de análisis, sus implementaciones tecnológicas han sido igualmente de gran utilidad. En el concepto biológico, un *holón* cuenta con cierto grado de independencia en lo que respecta a su *nivel de existencia* y maneja sus capacidades y relaciones con el entorno sin acudir a niveles superiores. Aún así, suele hacer parte de organizaciones (*holigarquías*) con distintos grados de encapsulamiento y cada cual con la capacidad de manipular o controlar el comportamiento de los holones de jerarquías inferiores.

A partir de estos conceptos, a nivel industrial, surgieron propuestas dirigidas a solucionar problemas de adaptabilidad en esquemas de fabricación, presentes cuando el cambio constante de los productos y sus características resultan indispensables para la competitividad empresarial. El *framework* para sistemas holónicos de manufactura (SHM), fue una de las propuestas más elaboradas en este sentido a finales del siglo XX y la base de la metodología de análisis y diseño de ANEMONA.

En computación, el concepto se asentó en la rama de los sistemas distribuidos, como estrategia para formular arquitecturas capaces de resolver problemas complejos para los cuales los sistemas monolíticos individualmente no son suficientes. La abstracción fundamental en este ámbito es el *Agente*, sobre el cual es posible atribuir características similares a las del *holón*. Su naturaleza distribuida le infiere características orientadas a la autonomía, reactividad y sociabilidad. En lo que respecta al *framework* ANEMONA se consideran estas y otras características necesarias para compatibilizar los conceptos de Agente con los de holones como herramienta de diseño en sistemas de manufactura:

- **Autonomía:** Se refiere a la capacidad de procesar tareas y definir sus propios

planes y estrategias de acción, de acuerdo con criterios de ejecución predefinidos.

- **Reactividad:** Es la capacidad que tienen para reaccionar a los eventos de su entorno inmediato. Es uno de los principios de adaptabilidad inmersos en el concepto biológico de los holones y está presente en la abstracción de Agente computacional. La reactividad de los Agentes puede incurrir en la modificación del comportamiento del agente así como en sus creencias u objetivos.
- **Proactividad:** Los agentes deben ser capaces de tomar la iniciativa en lo que respecta a la ejecución de tareas y procedimientos orientados a satisfacer sus intenciones, respeto al estado percibido del entorno.
- **Social:** Los Agentes interactúan con otros como parte fundamental de su comportamiento, orientados a la cooperación, negociación y coordinación. Por esta razón, suelen estar dotados de capacidades comunicativas que les permitan compartir información y establecer estrategias conjuntas. En modelado basado en agentes, el estándar de comunicación es fijado por la FIPA.
- **Cooperación:** Dadas las características sociales del Agente la cooperación debe ser parte de su configuración por defecto, para garantizar los beneficios de las estructuras modulares distribuidas.
- **Abiertos:** En pro de la cooperación, los Agentes deben garantizar la ejecución conjunta de planes, tareas y estrategias, lo cual implica la incorporación constante de elementos externos en los procedimientos. Esta característica es propia de los sistemas abiertos, considerados en constante interacción con su entorno y para lo cual suelen estar dotados de mecanismos de control que regulan el contacto con las entidades externas. Esta capacidad suele implementarse en los Agentes mediante protocolos de interacción y coordinación.
- **Racional:** Se considera como la capacidad del Agente de actuar de acuerdo con sus intereses y creencias internas y nunca en contra de sus objetivos.
- **Creencias:** Hace parte de las aptitudes mentales del Agente, que dependiendo de su implementación pueden incluir también conocimientos, objetivos, intenciones, compromisos. Forman parte de las estructuras racionales del Agente.

- **Aprendizaje:** Los procesos de aprendizaje de los Agentes pueden estar presentes a nivel individual mediante mecanismos basados en *machine learning* o en otros niveles holigárquicos mediante estrategias y algoritmos colaborativos (*swarm intelligence*). Es una característica indispensable para facilitar los procesos de adaptabilidad.
- **Benevolencia:** Describe la predisposición que deben tener los Agentes por defecto para cooperar cada que le sea posible.
- **Movilidad:** Es una propiedad presente en algunos escenarios dónde la capacidad de trasladar físicamente la entidad autónoma beneficia el desempeño general de la configuración distribuida. No es una característica en la que se haga mucho énfasis en lo referente a sistemas de manufactura, sin embargo puede facilitar la implementación de relaciones entre los componentes.
- **Recursividad:** El Agente al estar concebido como una entidad de Software, en su estructura interna puede estar constituido por otros Agentes en otros grados de jerarquía. Esta condición de recursividad y composición (holigarquica) es explícita en el concepto de *holónes* de los sistemas de manufactura.

En la formulación de ANEMONA, se amplía la definición de “Agente” mediante la especificación de una especialización del mismo, denominado *Agente Abstracto*, que incluye explícitamente la característica de recursividad, igualando en todo aspecto la conceptualización de *Holones* con *Agentes* y facilitando el uso de las tecnologías de modelado basado en Agentes y los Sistemas Multi-Agente (SMA) en el diseño y formulación de Sistemas Holónicos de Manufactura. Específicamente, en la conceptualización de ANEMONA, un Agente Abstracto:

“... es un sistema de software modular, localizado en un entorno específico, que como entidad tiene la capacidad para percibir su entorno (...) y a partir de tales percepciones determina y ejecuta sus acciones de forma flexible, reactiva y proactivamente (...) Desde un punto de vista estructural, un agente abstracto puede ser una entidad atómica o un sistema multiagente constituido por otros agentes no necesariamente homogéneos.” [31]

3.1.2. SHM y SMA

Los Sistemas Holónicos de Manufactura buscan trasladar conceptos biológicos al ámbito industrial, mediante diseños escalonados, modulares, autónomos y de control distribuido, con el fin de generar características de flexibilidad ante las variaciones del entorno, propias de los organismos y las estructuras sociales [31]. Los SHM son punto de referencia teórico en lo que se considera el futuro de los sistemas de producción y control industrial [35]. Varias propuestas, publicadas en años recientes, dirigidas a modernizar las estrategias industriales para diseño, automatización, control y gestión operativa, usan el concepto de “holón” como base de sus planteamientos.

El estándar IEC 61499, por ejemplo, desarrollado por la Comisión Internacional de Electromecánica (International Electrotechnical Commission - IEC) [50] esta fundado sobre un esquema modular, que define estrategias para el diseño y desarrollo de sistemas de control automatizados descentralizados usando funciones en bloque. Es una aproximación técnica orientada a implementar los conceptos teóricos de los SHM, Autómatas, Redes de Petri y sistemas de control discreto por eventos. Partiendo de los conceptos de autonomía y capacidad de relación con el entorno, formaliza mecanismos de interacción entre componentes a través de abstracciones orientadas a eventos (*Event Message* y *Data Message*) usadas para la sincronización y control de la ejecución de los algoritmos en tiempo real [35].

A partir de estos esfuerzos por generar métodos formales para el diseño de procesos industriales de manufactura han surgido propuestas que involucran los conceptos holónicos inherentes al estándar IEC 61499 y por ende el paradigma de los SHM, orientados por ejemplo al diseño de sistemas de control en células de trabajo cooperativo entre humanos y robots [76], dónde la arquitectura de control holónico es esencial para el esquema descentralizado propuesto y para la interacción mediante actos de comunicación; En [58], los autores describen un *framework* para el diseño de sistemas holónicos y esquemas operativos de aplicación en entornos de manufactura distribuidos y el concepto modular del *holón* es explotado para generar mecanismos de auto-optimización, coordinación y lograr su implementación; En [51] se presenta la aplicación de patrones de diseño (Observador y Singleton específicamente) en un mecanismo de control de sistemas de producción, la propuesta busca agilizar el funcionamiento de

las arquitecturas holónicas aprovechando los beneficios de los patrones mencionados en los protocolos de interacción y comunicación propios de los SHM; En [27], los autores detallan como la auto-organización individual de los holones (micro-nivel) pueden generar cambios estructurales globales (macro-nivel) y se proponen los cambios necesarios para incorporar y explotar este fenómeno con la implementación de arquitecturas holónicas de control para manufactura ADACOR2; La misma arquitectura es usada como base en una propuesta para el modelar fuentes de alteración previamente identificadas en sistemas de manufactura usando lenguaje SysML en [14]. Aquí, los autores proponen una estrategias predictivas y reactivas, usando *Case based Reasoning* y las abstracciones de *holón* como entidades atómicas para la flexibilización de los procesos de manufactura. También, orientado a la creación de redes colaborativas en [52] se plantea una ontología que facilita el diseño y modelado de funciones, estructuras, estrategias de planeación y gestión en general de organizaciones (compañías, empresas y autónomos) enlazadas en redes de “trabajo colaborativo”, lo cual corresponde a una estrategia competitiva usada por pequeñas y medianas empresas para hacer frente a mercados controlados por grandes conglomerados empresariales. Se basa en el *framework* PROSA (diseñado por la iniciativa de sistemas inteligentes de manufactura) y hace uso del protocolo estándar de contrato-red (*Contract-net protocol* - CNP) de la FI-PA, para respaldar los objetos, relaciones y además proponer un modelo de interacción para la organización de redes de manufactura, en la que los holones son nuevamente el concepto principal sobre el que se formulan las reglas de interacción.

Las capacidades de abstracción de los conceptos teóricos que soportan los SHM, han impulsado la investigación en las nuevas tendencias de automatización industrial, las cuales incluyen entidades mixtas fisico-digitales, conocidas como *ciber-físicas*. Los *CyberPhysical Systems* (CPS) crean un puente digital con artefactos físicos, con el fin de facilitar la transmisión de información sobre el estado actualizado de objetos reales. Un acercamiento orientado a crear un procedimiento iterativo para la definición de un modelo holístico de sistemas de sistemas (*System-Of-Systems* - SoS) es presentado en [30], dónde el paradigma de holones es fundamental para estructurar las relaciones multifacéticas entre el todo y las partes de los sistemas físico-cibernéticos. Se apoya en el estándar IEC 61499 y dado que el esquema está enfocado en el análisis de la complejidad es, en principio, aplicable a múltiples ámbitos además de la industria de manu-

factura. De forma similar en [34], se demuestra la asociación del paradigma holónico con los sistemas físico-cibernéticos y la industrialización 4.0, al considerar que el concepto de la inteligencia de los holónes se puede modelar en CPS mediante uno o más dispositivos usando los algoritmos del estándar IEC 61131-3 y la encapsulación del IEC-61499. El proceso de coordinación de tareas y control de automatización industrial propuesto en [13], usa los conceptos holónicos para la codificación de escenarios en CPS reconfigurables.

Las propuestas mencionadas anteriormente están igualmente ligadas con el uso de paradigmas de computación y desarrollo orientadas a Agentes, la que se considera una implementación tecnológica con un espectro de aplicación más amplio que los SMH. Los Sistemas Multi-Agente manejan el mismo tipo de estructuras lógicas y analíticas que los holónicos, apoyándose en las capacidades distribuidas de los dispositivos de computo y procesamiento que a su vez permiten la conexión en redes a escalas locales, regionales y mundiales.

En las definiciones para la formulación de ANEMONA, un SMA “... *esta compuesto por dos o más agentes abstractos que interactúan para resolver problemas que sobrepasan las capacidades y conocimientos de un Agente individual.*” [31]

3.2. GO-Green ANEMONA

Go-Green ANEMONA es un marco de trabajo con herramientas y lineamientos útiles para encaminar la ingeniería de sistemas de manufactura industrial bajo paradigmas holónicos y orientado a la sostenibilidad. Específicamente define: una notación; cinco modelos de diseño (agentes, tareas, interacción, entorno, organización); un proceso de desarrollo (en fases: análisis, diseño, implementación, configuración y mantenimiento); un conjunto de lineamientos técnicos aplicables en las etapas de análisis (HMS, PROSA), diseño (JADE, bloques funcionales) y de sostenibilidad aplicables en todas las etapas; una librería de métodos de implementación pre configurados orientados a la eficiencia y la sostenibilidad; un software para especificación de modelos gráficos llamado “EMFGormas CASE tool” (disponible para descarga en el portal del Grupo de Tecnología Informática e Inteligencia Artificial de la UPV - GTI-IA [5]), con capacidad de generación automática de código.

A continuación se presenta una descripción general de los componentes del *framework*, suficientes para dar claridad a las referencias y ampliaciones propuestas en este trabajo. Para una descripción más detallada del *framework* y sus antecedentes se pueden consultar las referencias [44], [43].

3.2.1. Notación

La notación de Go-Green ANEMONA, especifica un conjunto de *primitivas* y propiedades sintácticas y semánticas (metamodelo) útiles en la especificación de modelos de ingeniería de software a ser implementados. Está basado en las metodologías INGENIAS [70] y RT-MESSAGE [53]. En la definición de la notación se usan diagramas UML (a nivel de metamodelo) y un conjunto de reglas nemónicas para facilitar su lectura (ver Figura 3.1). Adicionalmente, en cada vínculo de asociación entre una *entidad-objeto* y una *entidad-relación* se agrega una instancia de la primitiva UML de *role*, con el mismo nombre que la *entidad-relación*, pero con el con el prefijo **R** (*Relationship*) y un sufijo que indica la cardinalidad de la relación: puede ser **D** (*Destination*) u **O** (*Origin*). Los elementos de la notación se representan gráficamente con elementos UML, especificando el nombre de la entidad representada (objeto, relación, rol, propiedad) en la etiqueta de *estereotipo*.

```

RelationIdentifier ::= WorkflowRelation | AgentRelation | InteractionRelation |
                    InteractionUnitRelation | MetaTaskRelation | SocialRelation |
                    OrganizationRelation | EnvironmentRelation
WorkflowRelation ::= WFIdentifier
AgentRelation ::= AIdentifier
InteractionRelation ::= IIdentifier
InteractionUnitRelation ::= UIIdentifier
MetaTaskRelation ::= GTRelation
SocialRelation ::= AGORelation
OrganizationRelation ::= ORelation
EnvironmentRelation ::= ERelation

BinaryAssociationRolIdentifier ::= RRelationName(O|D)
NaryAssociationRolIdentifier ::= RRelationNameIdentifier(O|D)

```

Figura 3.1: Reglas nemónicas para roles y relaciones (Extraído de [31])

En la Figura 3.2 se muestran los elementos de notación gráfica de GO-Green ANEMONA usados en la construcción de los modelos de análisis y diseño. La des-

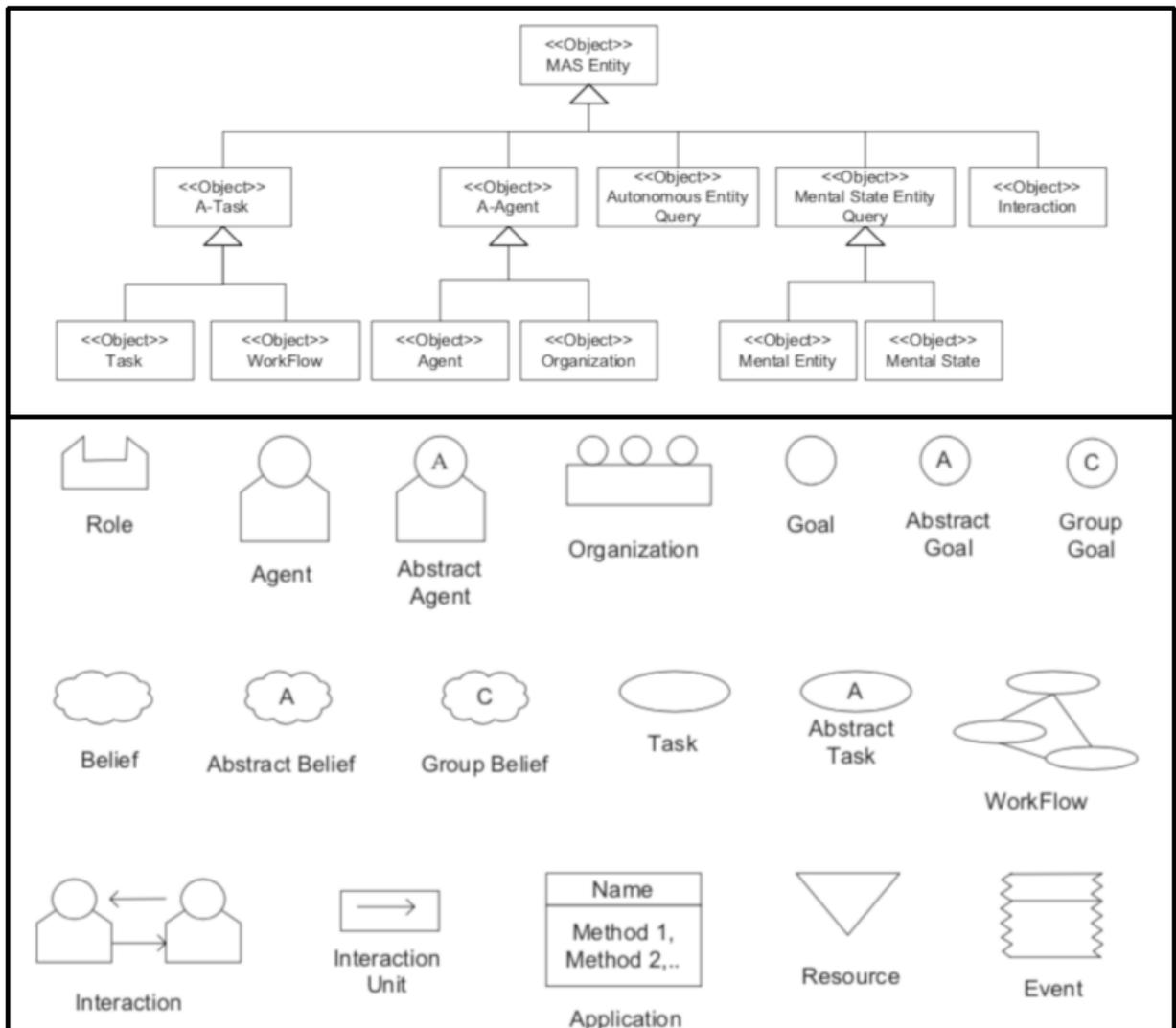


Figura 3.2: Entidades básicas notación ANEMONA: (a) Especificación UML del meta-modelo de entidades. (b) Notación gráfica de entidades. (Extraído de [31])

cripción de estos elementos se detalla a continuación [31]:

- **Role:** Un rol, representa el encapsulamiento de ciertos atributos y comportamientos que parametrizan los agentes abstractos. Se diagrama con el ícono listado en la Figura 3.2 con el nombre del rol como etiqueta. Los roles agrupan funciones, responsabilidades, e interacciones y representan una posición al interior de una estructura organizacional.
- **Abstract agent (A-Agent):** Un Agente Abstracto es una entidad autónoma compleja que representa holónes no atómicos (que están compuestos por otros holónes). Se representa con el ícono listado en la Figura 3.2 y el nombre del agente como etiqueta.
- **Agent:** Un Agente es una entidad computacional autónoma, dotada de habilidades sociales y capaz de interactuar con su entorno. Es una especialización del *Agente Abstracto* y se representa con el ícono listado en la Figura 3.2 con el nombre del agente como etiqueta.
- **Organization:** Una *organización* modela grupos de “Agentes Abstractos” que cooperan en pro de un objetivo común. Las *organizaciones* se componen por roles, vínculos de comunicación entre esos roles y una estructura social cooperativa. Es una especialización del *Agente Abstracto* y se representa con el ícono listado en la Figura 3.2 y el nombre de la organización como etiqueta.
- **Goal:** Un *objetivo* describe lo que un *agente* persigue o intenta lograr mediante sus acciones e interacciones. Se representa con el ícono listado la Figura 3.2.
- **Abstract goal:** Los *objetivos abstractos* se usan para representar los objetivos perseguidos por *Agentes Abstractos*. Pueden ser desagregados en *objetivos* específicos y/o en *grupos de objetivos*.
- **Group goal:** Un *grupo de objetivos* representa objetivos emergentes en un grupo de *Agentes* que luego pueden ser enlazados o atribuidos a los *Agentes Abstractos* representativos según el nivel de representación.
- **Belief:** Una *creencia* es una entidad mental atribuida a los *agentes* que modela la idea que el mismo tiene sobre su entorno.

- **Abstract Belief:** Una *creencia abstracta* representa las *creencias* de un *Agente Abstracto*. Puede ser desagregada en *creencias* individuales entre los agentes constituyentes y/o en *grupos de creencias*.
- **Group Belief:** Un *grupo de creencias* modela las *creencias abstractas* de un *Agente Abstracto* cuando este mismo representa una organización u holigarquía.
- **Task:** Una *tarea* representa las funcionalidades de los *agentes* y demás entidades autónomas. Un *agente* puede modificar e interactuar con su entorno mediante la ejecución de *tareas*.
- **Work Flow:** Un *flujo de trabajo* es un conjunto de *tareas* ejecutadas en un orden específico por uno o varios agentes. Se define al interior de las *organizaciones* y se usan para modelar sus funcionalidades o planes específicos para un *objetivo* particular.
- **Abstract Task:** Las *tareas abstractas* representan capacidades funcionales de *Agentes Abstractos*. Puede representar una *tarea* o un *flujo de trabajo*.
- **Interaction:** Una *interacción* especifica las dependencias identificadas entre *Agentes Abstractos* que definen su comportamiento. Encapsula los comportamientos reactivos atribuidos a un *agente abstracto* a consecuencia de eventos, mensajes, influencia ambiental, etc. Involucra otros elementos que determinan los “actores” participantes, “unidades de interacción” con su orden de ejecución así como las *tareas* involucradas en la interacción y su entorno.
- **Application:** una *aplicación* modela todos aquellos servicios que se ejecutan fuera del SHM y por tanto no son ejecutados por ninguna de las entidades autónomas del modelo. Generalmente caracterizan la interacción con sistemas de Software ya implementados o que operan fuera del SHM a modelar.
- **Resource:** Un *recurso* es un elemento de Hardware o Software necesario para la ejecución del SHM.
- **Go Green Resource Holon:** Un *GRH* es una especialización de *Agente Abstracto* que teniendo en cuenta principios de manufactura sostenible, influencia o sobre-

escribe las decisiones de otros holónes (*agentes*) delegando operaciones de manufactura en sí mismo u otros *holónes*. Actúa considerando mecanismos orientados a la eficiencia, enfocándose en los medios requeridos para ejecutar estas operaciones (visión a-priori) y/o sus consecuencias ambientales (visión a-posteriori) [44] [84].

- **Event:** Un *evento* modela los cambios del entorno percibidos por un *Agente Abstracto*.

3.2.2. Modelo de Agentes

En el modelo o perspectiva de agentes, se especifican los detalles y conceptualizaciones de *Agentes abstractos* que componen el SHM.

La Figura 3.3 describe los elementos del metamodelo usados en el modelo de agentes el cual incluye los conceptos de *agente*, *rol*, *objetivo*, *creencia*, *tarea* y sus relaciones. La entidad de relación *play*, se usa para vincular un *role* con un *agente/abstracto*, los cuales pueden estar asociados a varios roles. Mediante la entidad relación *GTPursues* se especifican los objetivos que un *agente/abstracto* persigue. Con la relación *AContainE* se modelan las creencias de los *agentes/abstractos*.

De igual forma, los vínculos con las *tareas* y los *agentes* se caracterizan mediante relaciones *AResponsible*.

3.2.3. Modelo de Tareas y Objetivos

En la perspectiva de Tareas y Objetivos se especifica la funcionalidad del SHM. El modelo define las actividades utilizadas por los modelos de organización, coordinación y agentes, también establece las relaciones identificadas entre los objetivos de las entidades autónomas y las tareas que estas pueden ejecutar.

La relación tarea-objetivo busca caracterizar las consecuencias que implica la ejecución de una actividad y su intencionalidad. Las entidades y relaciones usadas en los diagramas de Tarea/Objetivo se describen en la Figura 3.4, donde se incluyen los conceptos: *objetivo*, *tarea*, *flujo de trabajo*, *agente*, *rol*, *creencia* y su respectivo conjunto de relaciones.

Adicionalmente, el metamodelo define las relaciones *GTAffect*, *WFConsume*, *WFUse* y *WFProduce*, las cuales se usan para representar explícitamente precondiciones, poscondiciones y efectos. Los vínculos relacionales identificados entre tareas, objetivos y creencias, pueden ser modelados mediante el conjunto de relaciones formado las especializaciones del elemento *Relationship-GTAffect*, que están dirigidas a representar la afectaciones directas de la ejecución de una tarea sobre las entidades mentales (*creencias*) de los *agentes*. En la Figura 3.5, se describe la jerarquía establecida en el metamodelo (arriba) para estas entidades y su representación gráfica (abajo).

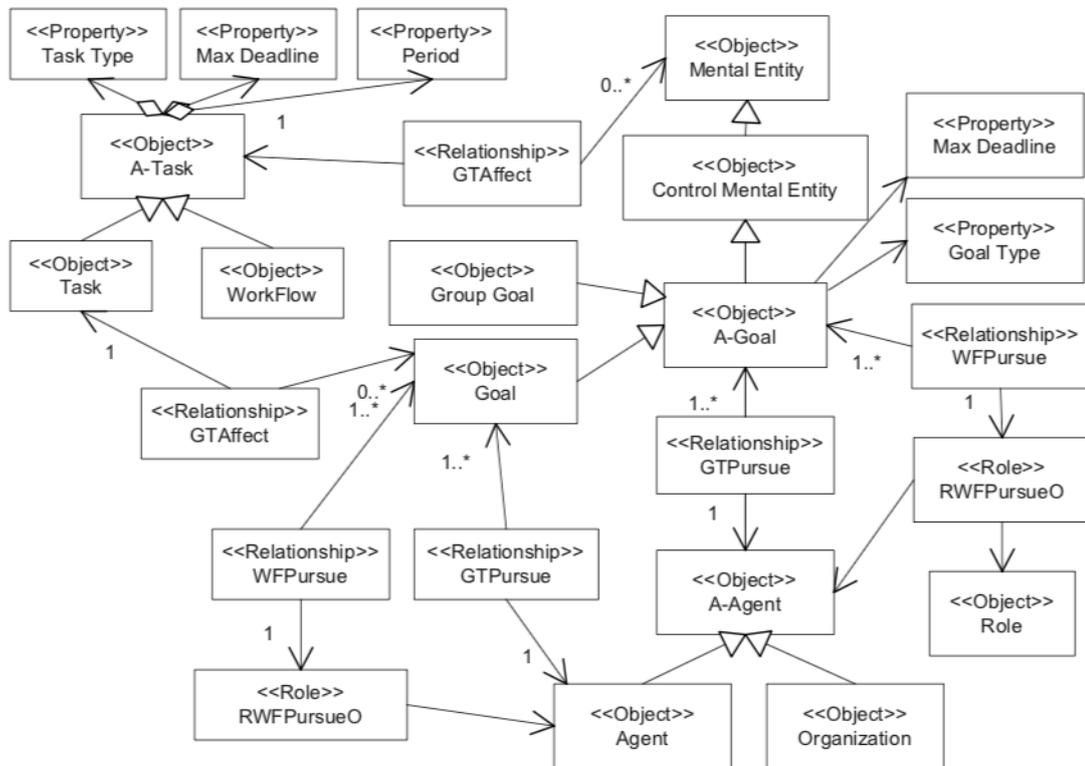


Figura 3.4: Metamodelo UML para modelado de Tareas y Objetivos (Extraído de [31])

La relación *WFConsume*, se usa para modelar precondiciones dirigidas a entidades de *creencia*, *creencia abstracta* o de *recurso*. La entidad *Relationship-WFUse* también puede ser usada para modelar precondiciones en las tareas, pero en este caso expresa la necesidad de una *aplicación* (servicio externo al SHM) para su ejecución. En contraposición, la relación *WFProduce* se usa para especificar los efectos de una tarea, lo cual puede ser un recurso (que se vuelve disponible) o la materialización de una interacción con el entorno. La representación gráfica y la especificación del metamodelo para estas

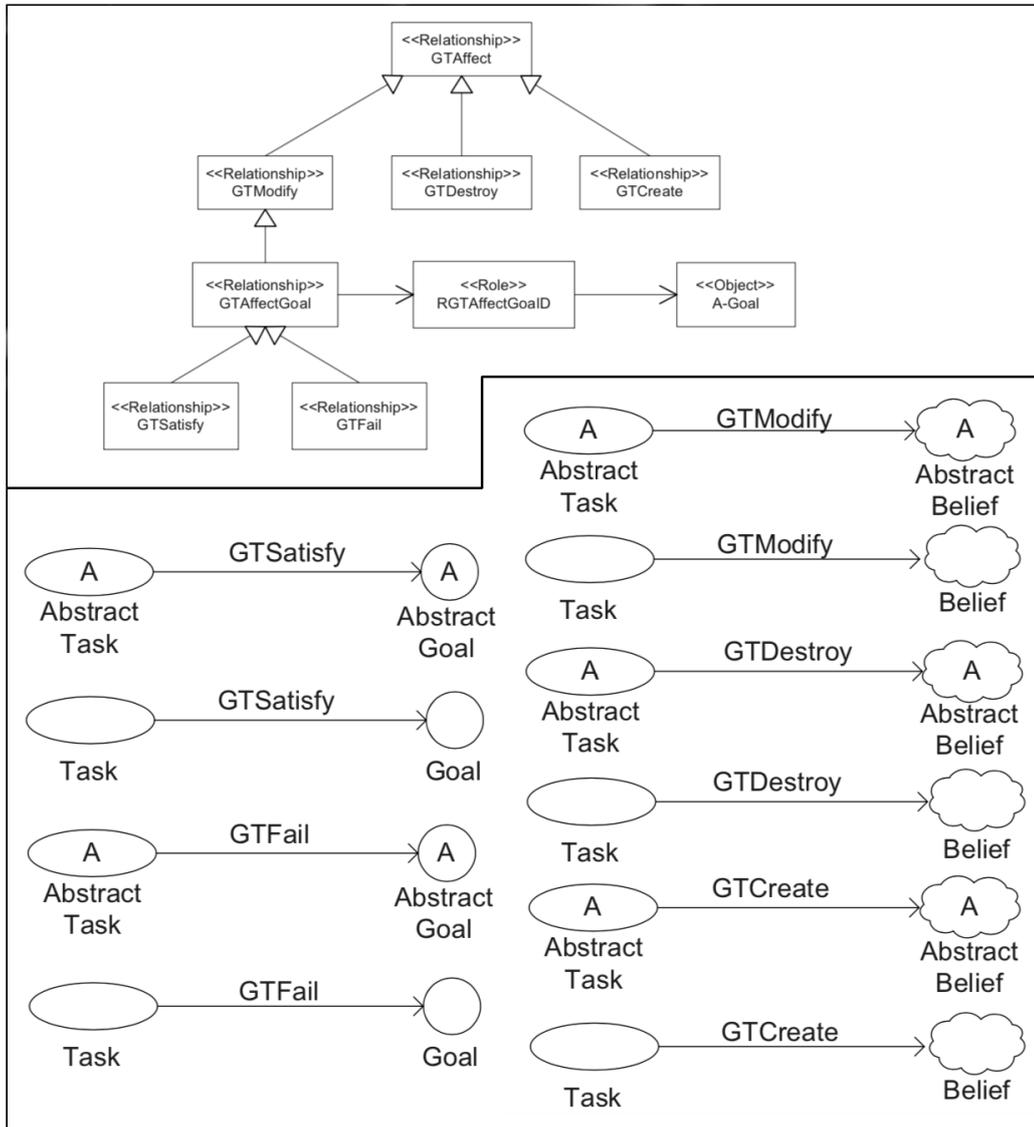


Figura 3.5: Relaciones *GTAffect*: (a) Metamodelo UML para modelado de relaciones entre tareas, objetivos y creencias. (b) Representación gráfica de las relaciones *GTAffect*. (Extraído de [31])

relaciones se muestra en la Figura 3.6.

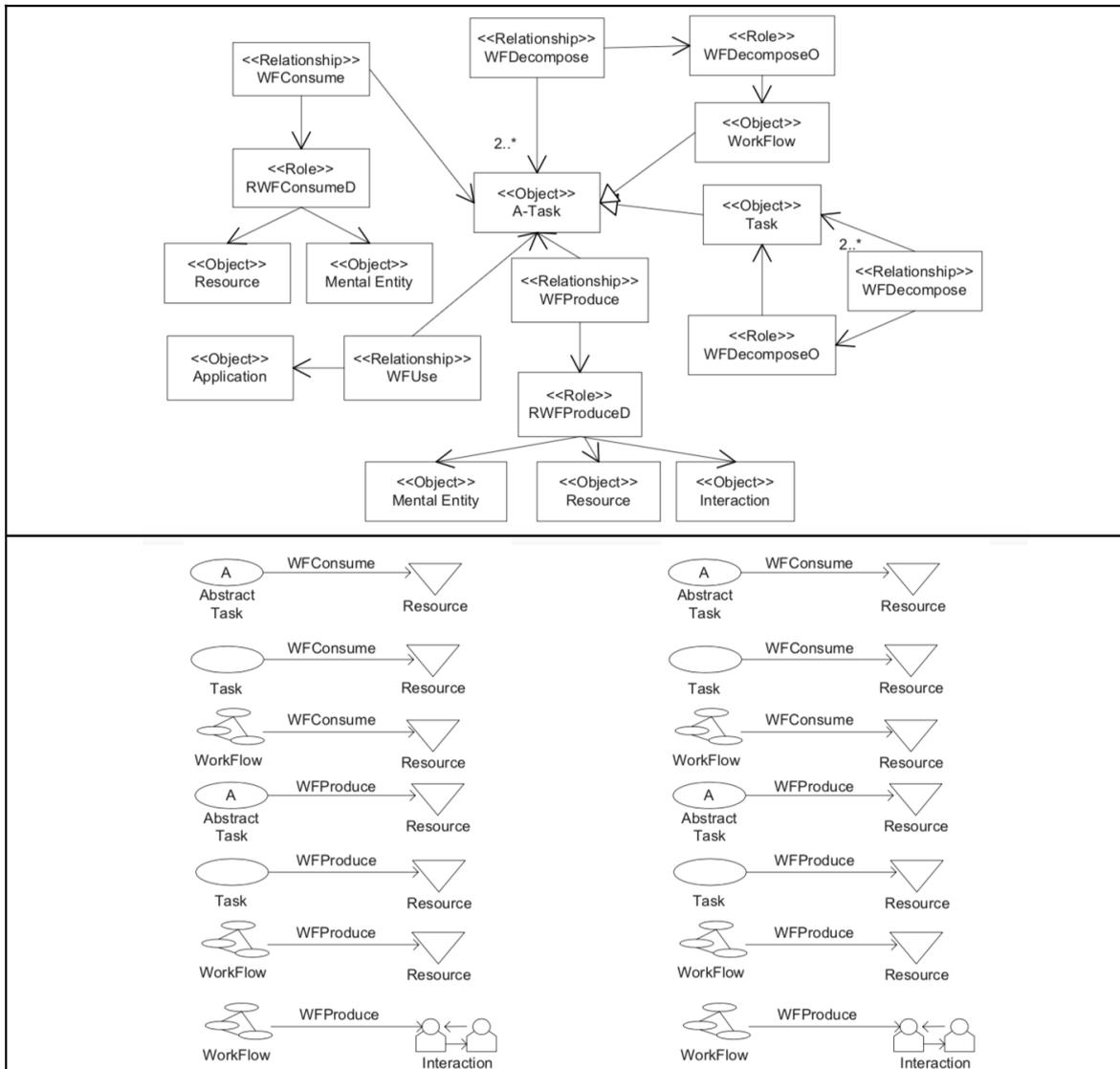


Figura 3.6: Relaciones *WFConsume*, *WFUse*, *WFProduce*: (a) Metamodelo UML para modelado de relaciones. (b) Representación gráfica de las relaciones (Extraído de [31])

En caso de tener que incluir actividades cuya ejecución exitosa depende no solo de los resultados finales obtenidos sino que también de su tiempo de ejecución o lo que toma en obtener los resultados (es decir tareas de “Tiempo-Real”; *Real-Time Tasks* - RTTask), se deben incluir explícitamente las propiedades *tipo de tarea* (*hard real-time*, *soft real-time*), *tiempo máximo de ejecución* y su *periodicidad*. De forma similar aplica para los *objetivos de tiempo real* (*real-time goals* - RTGoal), específicos para holónes que manejan recursos o interacciones con restricciones de tiempo. Para los RTGoals se deben especificar las propiedades *tipo de objetivo* (*hard*, *soft*, *normal*) y *tiempo máximo de ejecu-*

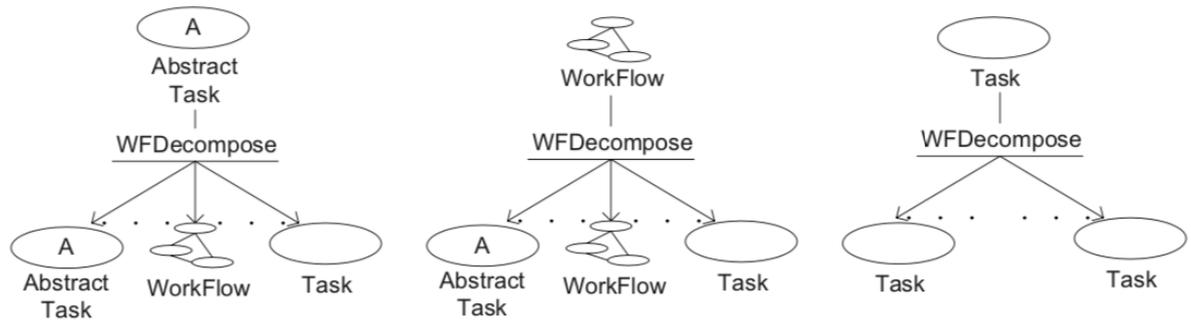


Figura 3.7: Representación gráfica de la entidad *Relationship-WFDecompose* (Extraído de [31])

ción. Cuando se modelan RTTasks y RTGoals, el *tiempo máximo de ejecución* del objetivo restringe el de las tareas relacionadas, que deben ser menor o igual a la del objetivo.

Las *tareas compuestas* o *tareas abstractas* pueden ser desagregadas en tareas más simples de forma escalonada. Esta abstracción es útil para representar interacciones específicas en diferentes niveles de abstracción. La relación *WFDecompose* se puede usar para modelar este tipo de desagregaciones. La Figura 3.7 muestra la representación gráfica de estas entidades de relación.

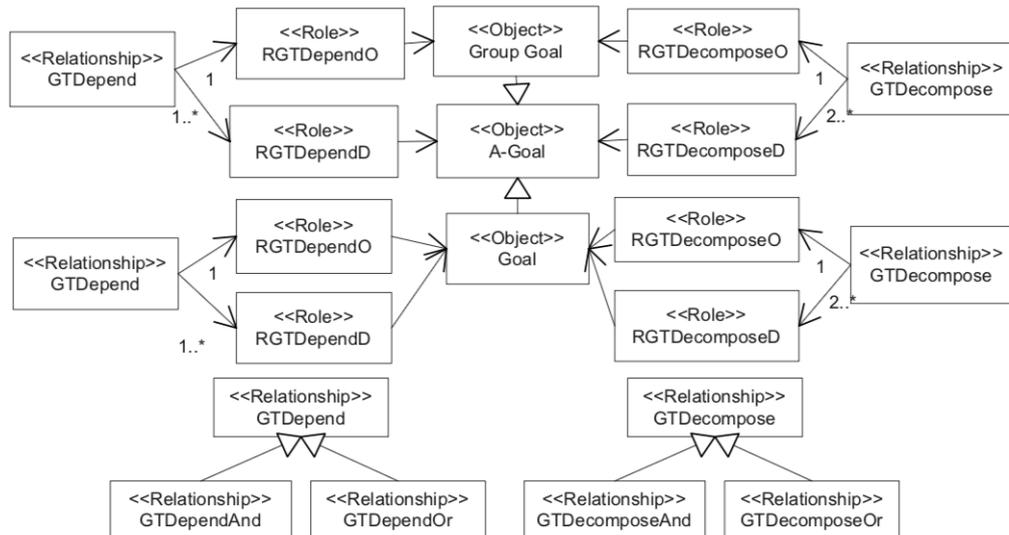


Figura 3.8: Metamodelo UML para entidades relación entre objetivos. (Extraído de [31])

De forma similar, el metamodelo incluye entidades relación para *objetivos* que pueden ser utilizadas para caracterizar *estados mentales motivacionales* para entidades autónomas. La especificación del metamodelo con las entidades que soportan este tipo

de modelado se describe en la Figura 3.8. La entidad de relación *GTDecompose*, allí descrita, caracteriza la desagregación de *objetivos* complejos en sub-objetivos más simples. La relación *GTDepend* se usa para especificar como el éxito o fracaso en la consecución de un objetivo, afecta el éxito/fracaso de otro, permitiendo establecer cuándo la consecución de un objetivo implica el éxito automático de otro. La Figura 3.9 muestra la representación gráfica de estas entidades de relación.

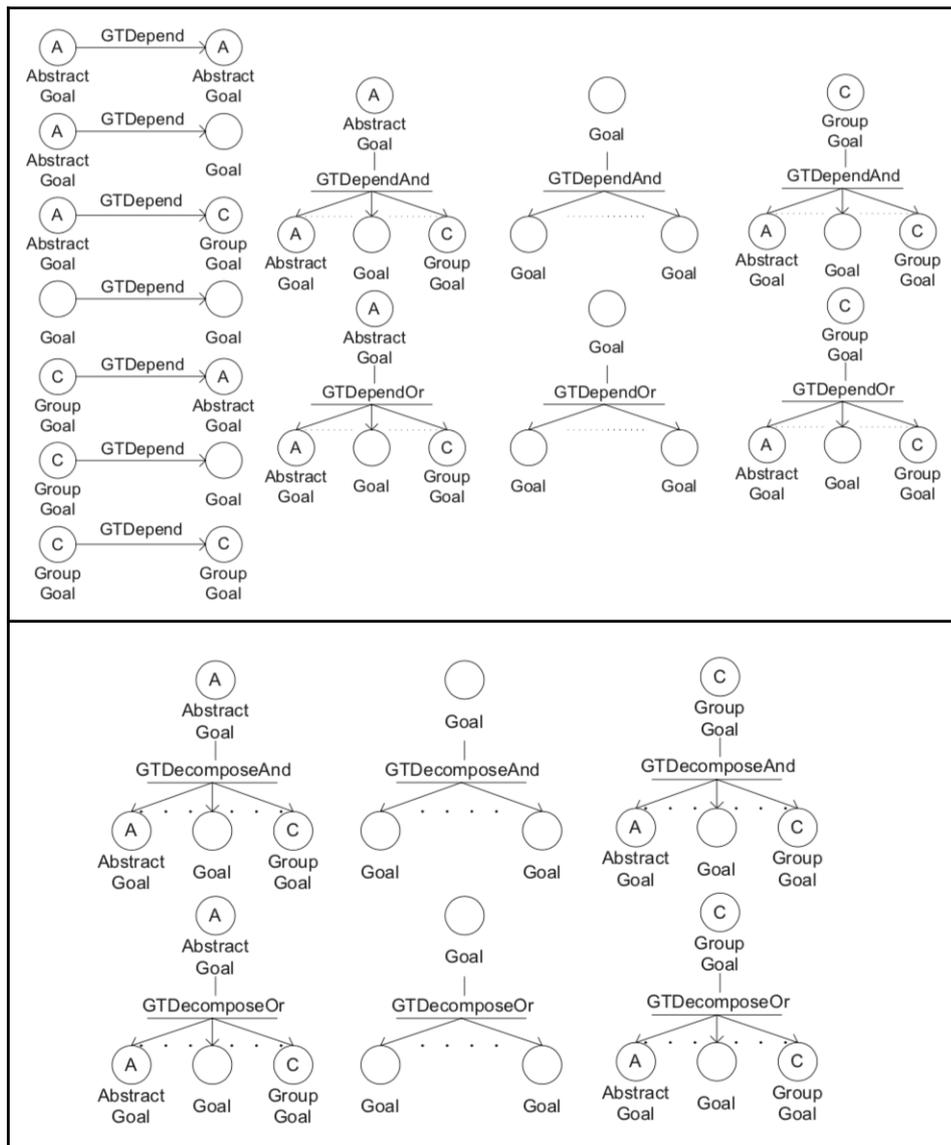


Figura 3.9: Representación gráfica de relaciones *GTDepend* y *GTDecompose*. (Extraído de [31])

3.2.4. Modelo de Interacción

El modelo de interacción caracteriza el comportamiento dinámico del SHM a modelar. En esta perspectiva se involucran *agentes, roles, objetivos, tareas y unidades de interacción*.

Las *unidades de interacción* son actividades colaborativas iniciadas por un “emisor” (iniciador) y ejecutadas por el mismo y un conjunto de colaboradores “receptores” del mensaje, como medio para alcanzar objetivos comunes. En el modelo de interacción se especifica el comportamiento reactivo o proactivo de diferentes *Agentes Abstractos* y la dinámica en la que opera el SHM a diferentes niveles de abstracción. En la Figura 3.10 se describen las entidades y relaciones especificadas por el metamodelo (izquierda) y la representación gráfica de las relaciones *IStart* (usado para indicar la entidad que inicia la interacción) e *ICooperate* (usado para especificar las entidades que cooperan en la interacción) (Fig. 3.10 - derecha).

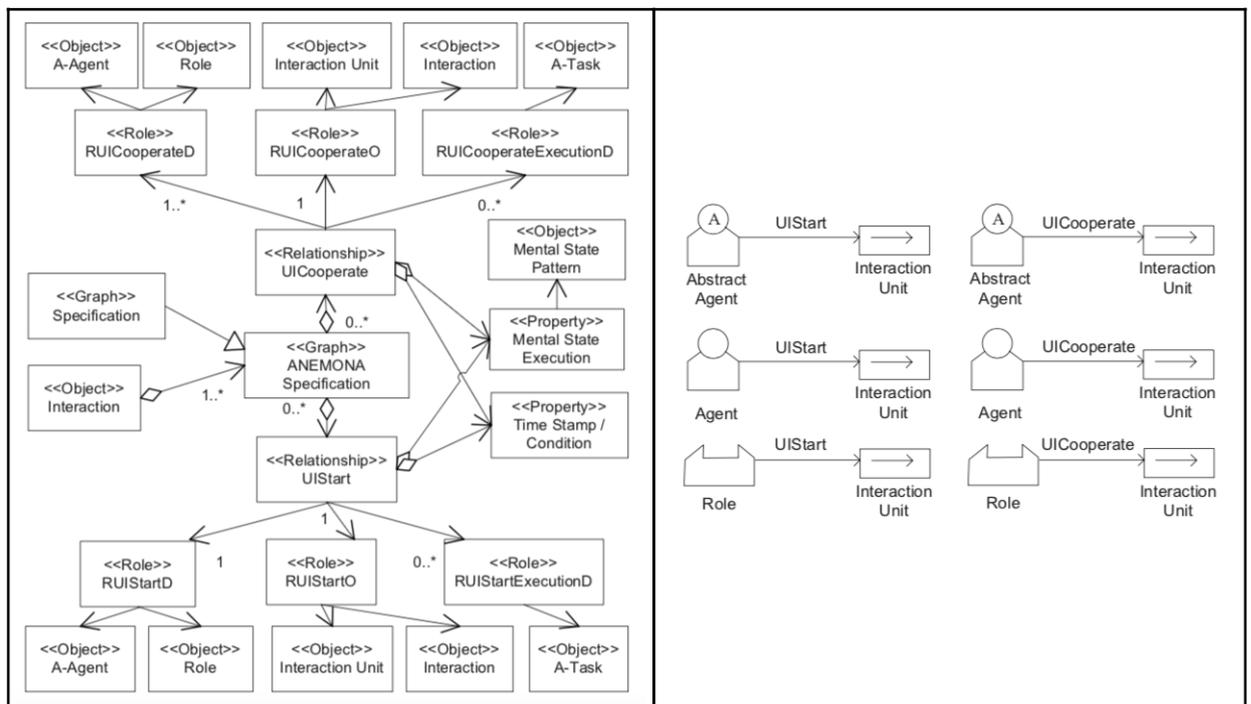


Figura 3.10: Metamodelo de Interacción: (derecha) Metamodelo UML de entidades y relaciones para modelo de interacción (izquierda) Representación gráfica de las relaciones en modelos de interacción (Extraído de [31])

El metamodelo define también un conjunto de entidades para la especificación

de *unidades de interacción*, las cuales pueden representar mensajes o llamadas a procedimientos remotos. En la Figura 3.11 se describen las entidades y relaciones usadas para su especificación. Se establecen básicamente tres tipos de entidades de relación: La entidad *precede* que define la secuencia de la *unidad de interacción*, *bifurcate* se usa para modelar precondiciones para un grupo de *unidades de interacción* y *UIIteration* que especifica sus ejecuciones iterativas.

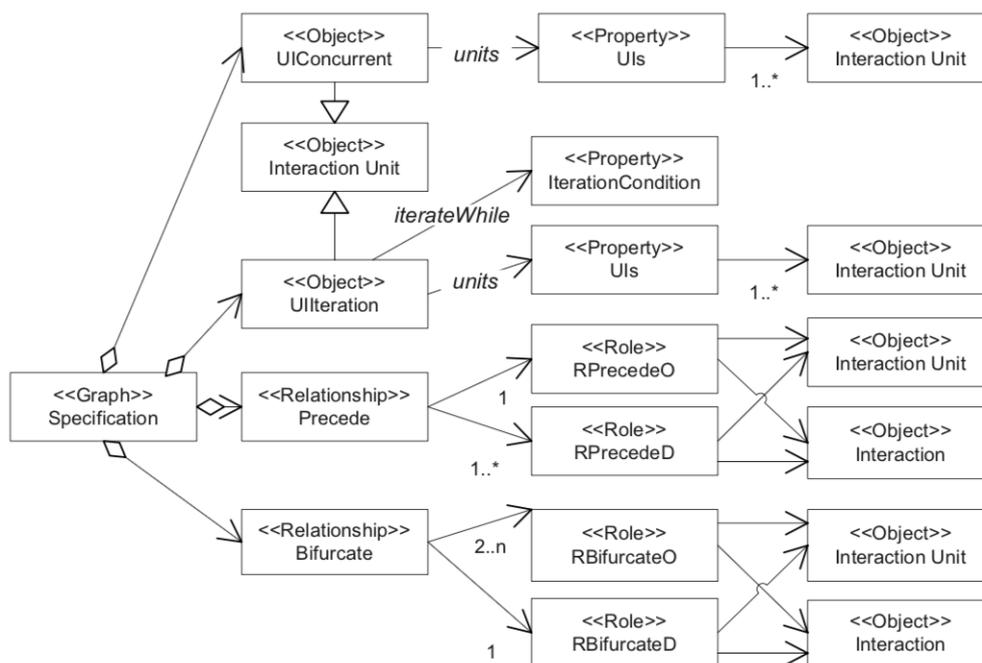


Figura 3.11: Metamodelo UML para el modelado de *unidades de interacción* (Extraído de [31])

Adicionalmente, en la Figura 3.12 se muestran las entidades y relaciones especificadas en el metamodelo para la caracterización de las relaciones identificadas entre las *unidades de interacción* y la *organización* a la que están asociadas a través de entidades autónomas. En esencia, el nexo es representado por el enlace creado mediante los *objetivos* compartidos entre interacciones y organizaciones.

3.2.5. Modelo de Entorno

Mediante el modelo de entorno se especifican los recursos externos con las que el SHM interactúa durante su funcionamiento, sus restricciones y limitantes. Las entidades y relaciones que define el metamodelo para la especificación del modelo de

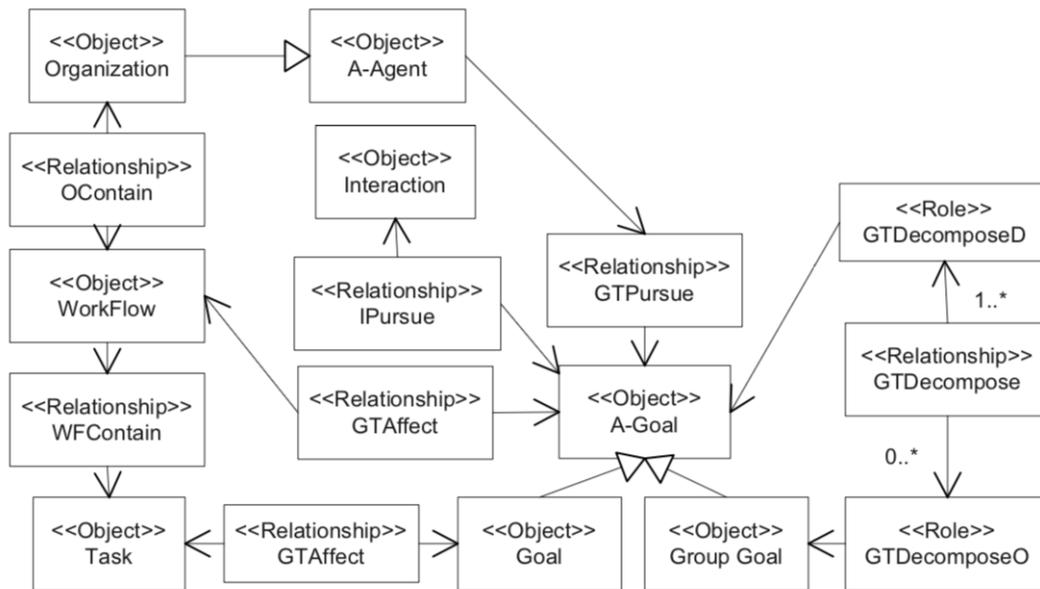


Figura 3.12: Metamodelo UML para el modelado de *unidades de interacción* en relación con las organizaciones. (Extraído de [31])

entorno se presenta en la Figura 3.13.a (arriba).

Los recursos ambientales identificados en el modelo de entorno pueden ser *consumibles* o *no-consumibles*. Mediante la relación *EResourceBelongsTo* se puede definir su pertenencia respecto a las entidades autónomas y con *EPerceive* se modela el conocimiento respecto a la disponibilidad del mismo. La representación gráfica de estas entidades de relación se muestra en la Figura 3.13.b (abajo).

3.2.6. Modelo de Organización

En el modelo de organización se especifica la arquitectura del SHM. Contiene los diagramas organizacionales y demás arreglos estructurales de las empresas asociadas al sistema de manufactura que introducen restricciones sobre el comportamiento de los holónes mediante relaciones de subordinación.

La arquitectura del SHM se modela a través de tres perspectivas complementarias: *Organización estructural* que especifica los elementos principales constituyentes y sus relaciones, las *relaciones sociales de alto nivel* que define las restricciones sobre el comportamiento de los integrantes y la *definición funcional* que establece lo que la organización ofrece a sus usuarios y los términos de su ejecución. La Figura 3.14 describe

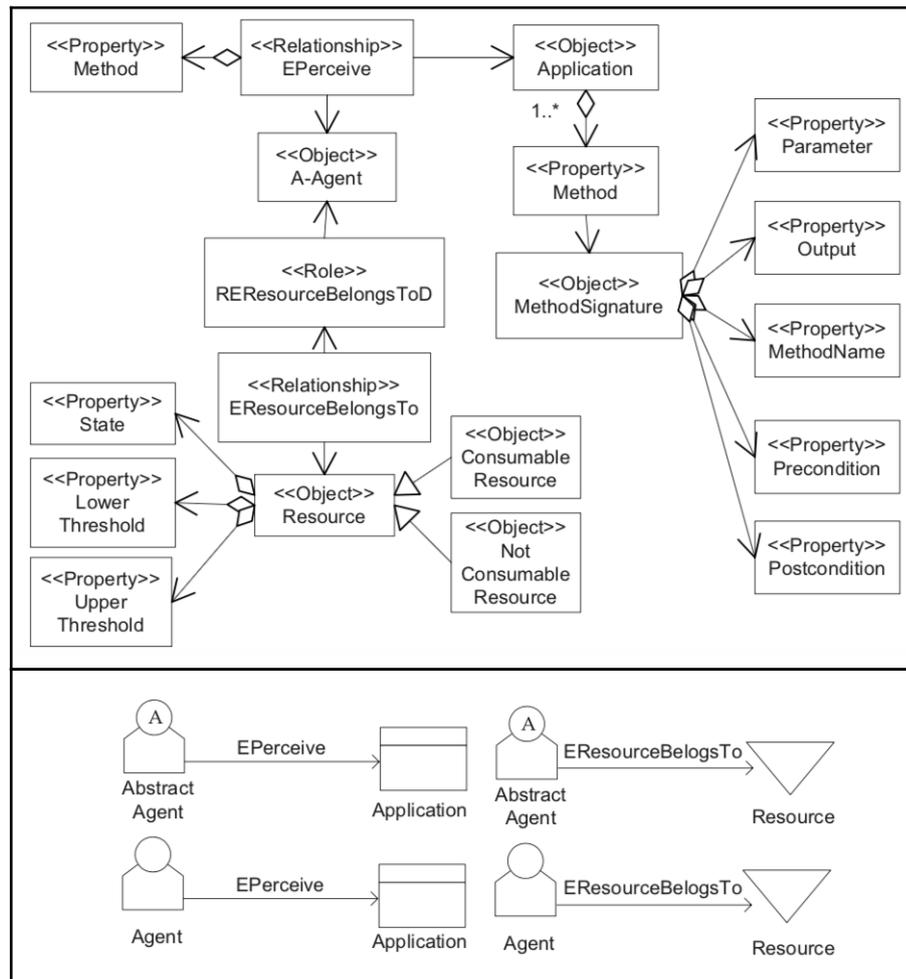


Figura 3.13: Metamodelo para modelado de *entorno*: (a) Metamodelo UML de entidades para modelado del entorno. (b) Representación gráfica de las relaciones para modelado del entorno. (Extraído de [31])

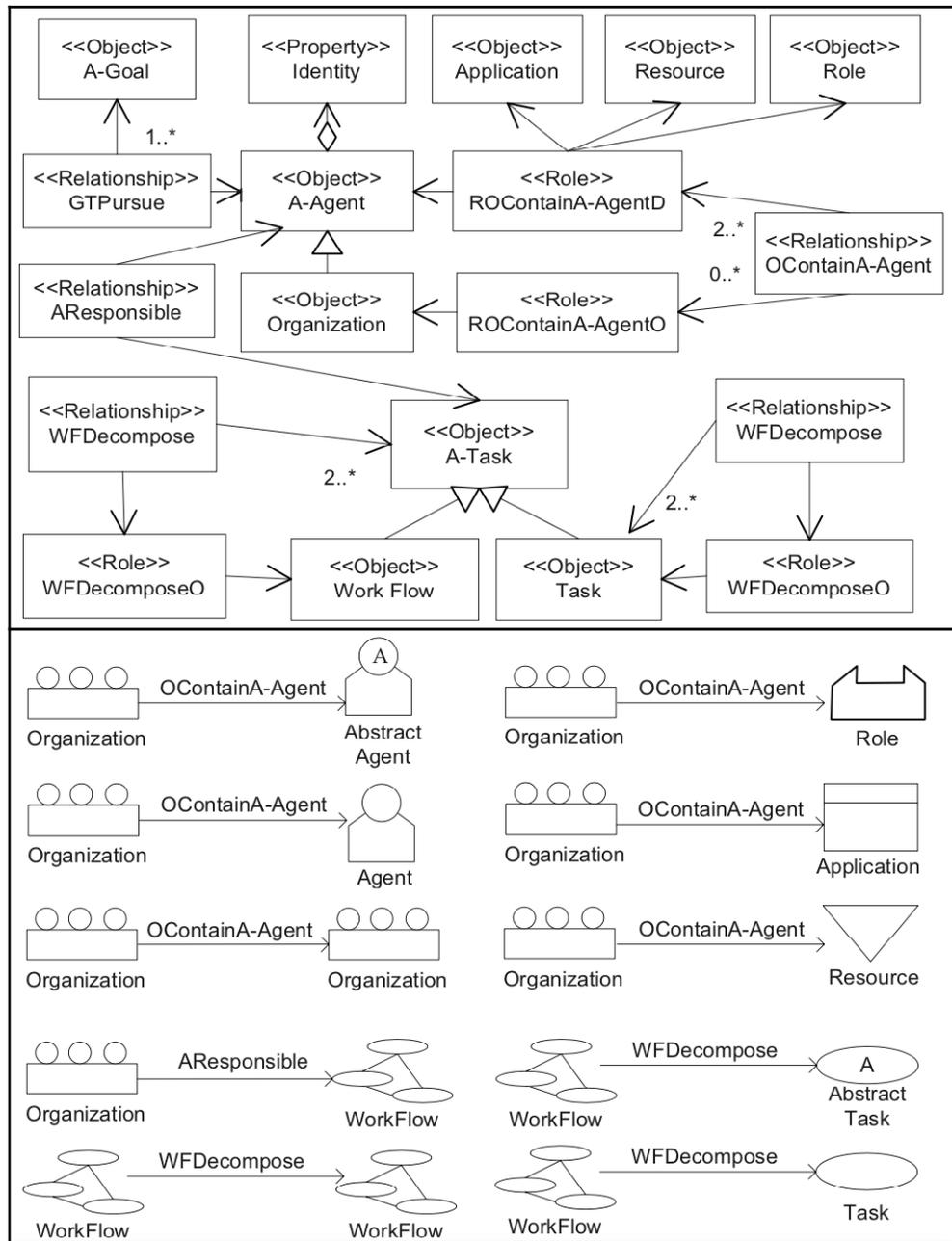


Figura 3.14: Metamodelo para modelado de la *Organización estructural*: (a) Metamodelo UML con entidades usadas para modelado organizacional. (b) Representación gráfica de las relaciones para modelado organizacional. (Extraído de [31])

el meta-modelo UML y la representación gráfica de las entidades de relación definidas para modelar la *estructura organizacional*. La entidad relación *OContainA-Agent* se usa para representar las entidades que componen la organización y *WFDecompose* para establecer las actividades y procedimientos que definen un *flujo de trabajo*.

De forma similar, la entidad de relación *AGOSubordination* define a los subordinados a que entidad autónoma “obedecer”. Puede ser condicional, expresada mediante *AGOConditionalSubordination* e implica que los subordinados siempre cumplirán las ordenes recibidas sin importar sus objetivos individuales o puede ser incondicional, establecida con *AGONotConditionalSubordination* y en cuyo caso la interacción es mediada por un contrato que fija el comportamiento a seguir. La relación *AGOClientServer* se usa para modelar vínculos en los que existe un proveedor de servicios y un usuario que requiere de los mismos (patrón cliente-servidor). La Figura 3.15 describe las entidades definidas por el metamodelo para el modelado y la representación gráfica de sus relaciones.

Las entidades de relación *WFConsume*, *WFUse* y *WFProduce* se usan para especificar las entradas y salidas de los flujos de trabajo y la ejecución de las entidades autónomas. La Figura 3.16 detalla los elementos y representación gráfica definida en el metamodelo.

3.2.7. Proceso de desarrollo

Go-Green ANEMONA incluye un proceso de desarrollo definido con actividades, lineamientos, procedimientos y productos finales, haciendo uso del paradigma holónico. A continuación, se presenta una descripción general de las fases del proceso de desarrollo. Para un detalle más profundo sobre los lineamientos y procedimientos específicos a incluir se puede consultar las referencias [43], [44], [31] [42].

Requisitos del Sistema

El *documento de requisitos* describe los requerimientos del sistema de fabricación, los procesos de control asociados y el entorno social y técnico en que se ejecutan. El documento debe contener los siguientes elementos [42]:

1. Organigrama de los departamentos de la empresa de fabricación, incluyendo la

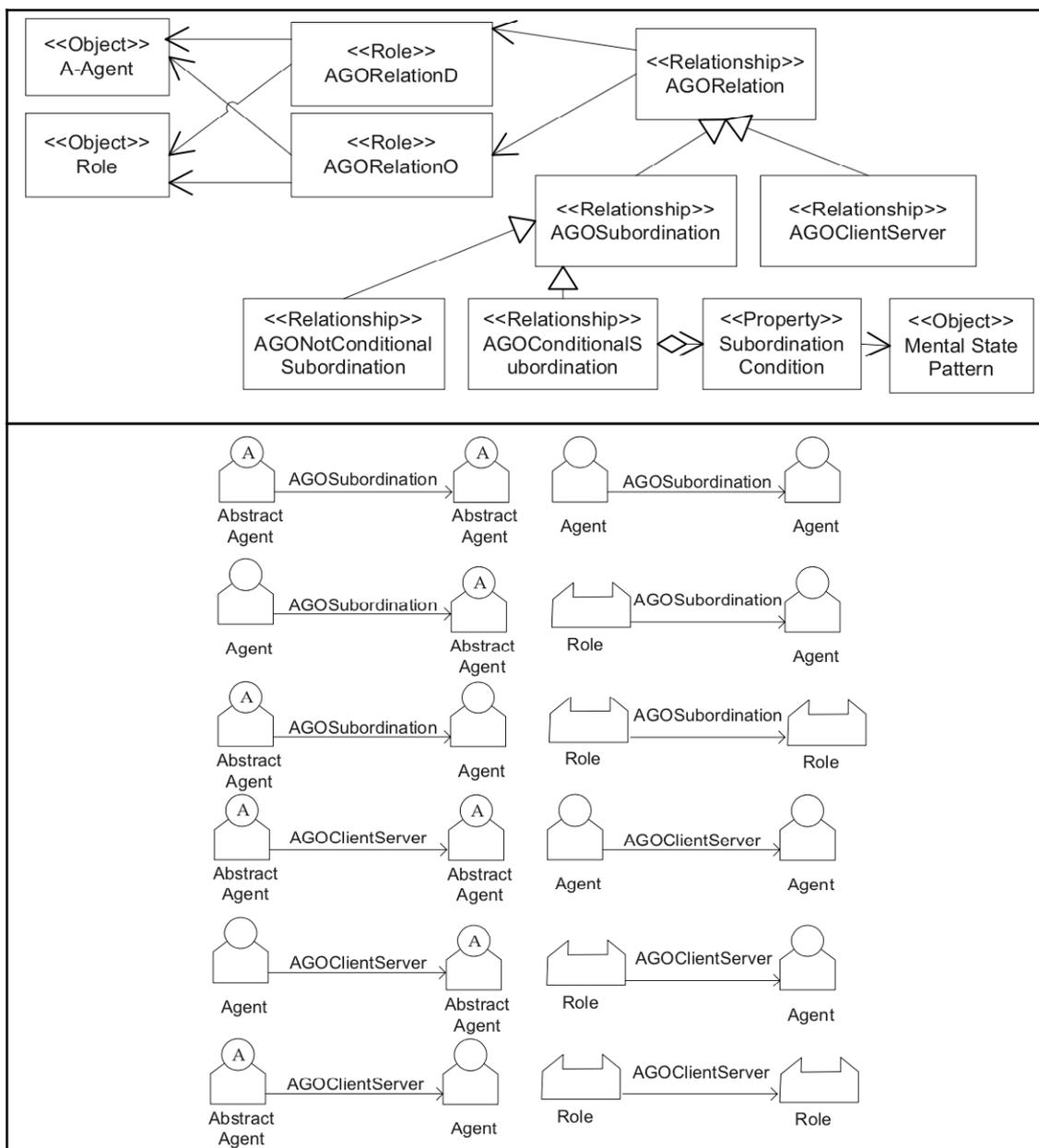


Figura 3.15: Metamodelo para modelado de las *relaciones sociales de alto nivel*: (a) Meta-modelo UML con entidades usadas para modelado. (b) Representación gráfica de las relaciones. (Extraído de [31])

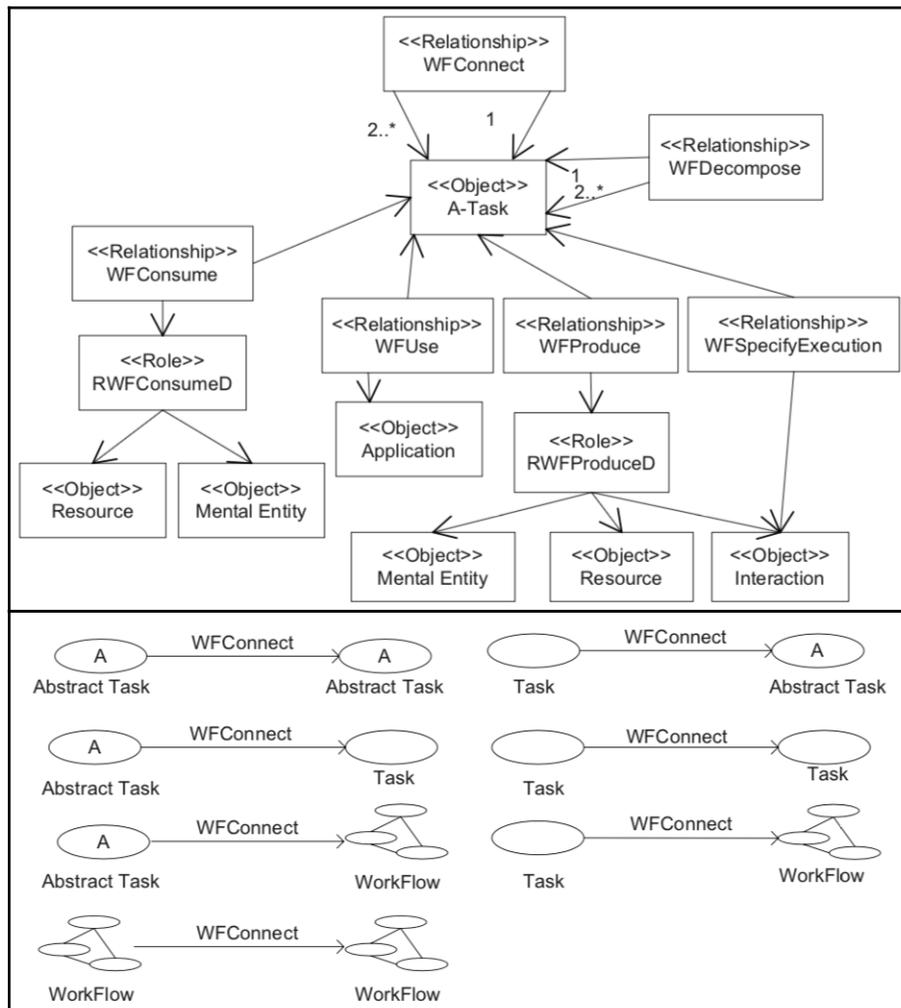


Figura 3.16: Metamodelo para modelado de Flujos de trabajo: (a) Metamodelado UML para modelado de *definición funcional*. (b) Representación gráfica de las relaciones. (Extraído de [31])

descripción funcional de los departamentos, sus relaciones de poder e interacciones.

2. Descripción de los procesos de negocio de la empresa.
3. Especificación del alcance del sistema que se desea desarrollar, que incluye los procesos actuales que se pretende automatizar, los procesos nuevos a incorporar y su interacción con el proceso de fabricación.
4. Especificación de los procesos de negocio del sistema de fabricación que deben ser controlados incluyendo las interfaces de control disponibles.
5. Especificación de las condiciones de operación.
6. Especificación de los objetivos y requisitos de producción.

Análisis

La finalidad del análisis en ANEMONA es generar una especificación de alto nivel a partir de los requerimientos que pueden ir siendo modificados en cualquier fase del desarrollo. El objetivo principal consiste en identificar los holónes constituyentes del SHM y establecer una especificación inicial. Dado que el desglose de un SHM es problema complejo, el procedimiento se ejecuta de forma incremental y colaborativa, usando diferentes niveles de abstracción y adoptando un acercamiento *top-down* iterativo para identificar holigarquías en diferentes niveles de recursión [43].

En la Figura 3.17 se describe el flujo de actividades definidos para esta fase. Cada iteración consiste en lo siguiente [31]:

1. Determinar casos de uso. En este paso se identifican los objetivos generales del sistema y dominios de cooperación necesarios. El producto de este paso son los casos de uso del sistema.
2. Especificación de la realización de los casos de uso. En este paso se especifican las interacciones entre los casos de uso y el conjunto inicial de tareas que los implementan. Los productos de este paso son el modelo organizacional, de interacción y de tareas.

3. Identificar holónes. En este paso se identifican los holónes que constituyen la holigarquía que está siendo analizada en la iteración. Como producto final se tendrá el modelo de agentes inicial (con los agentes identificados en la iteración) y una versión más refinada de los modelos organizacional, de interacción y de tareas.
4. Especificación de las relaciones con el entorno. En este paso se identifican las entidades no autónomas con las que los holónes deben interactuar. El producto de este paso es el modelo de entorno.
5. Paso Final. Se debe realizar un análisis sobre la conveniencia de desagregar el nivel analizado en una nueva holigarquía e iniciar una nueva iteración. La decisión debe estar basada en los requerimientos del sistema.

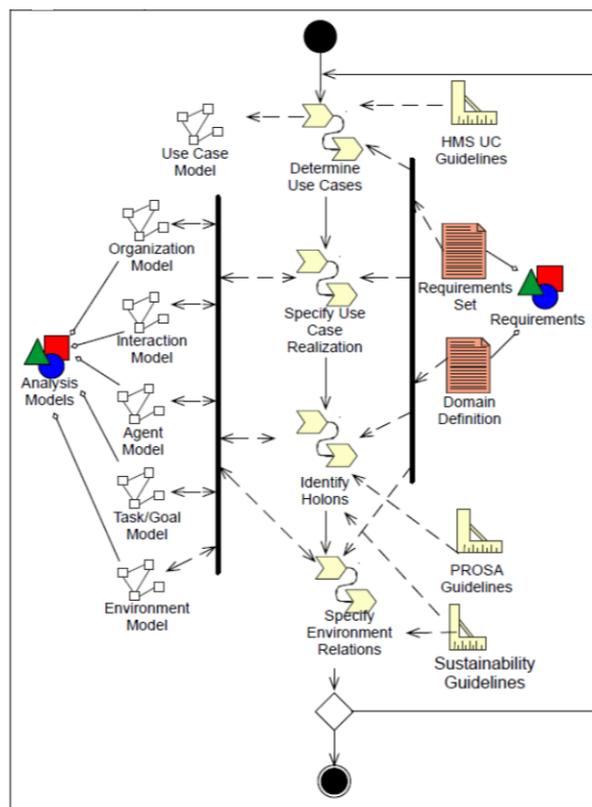


Figura 3.17: Fase de análisis de Go-Green ANEMONA (Extraído de [43])

Con cada nueva iteración se van desagregando los procesos colaborativos y concurrentes para cada uno de los holónes constituyentes definidos en la iteración inmediatamente anterior. El proceso se repite hasta que complete la especificación de cada

holón identificado sin dar lugar a una mayor descomposición. Cuando se determina que no hay necesidad de generar más descomposiciones se puede proceder a la siguiente fase del desarrollo [43]

Diseño

La fase de diseño se especifica la arquitectura del sistema a partir de los modelos de análisis (agentes, tareas, entorno, interacción, organización) mediante estrategia *bottom-up*.

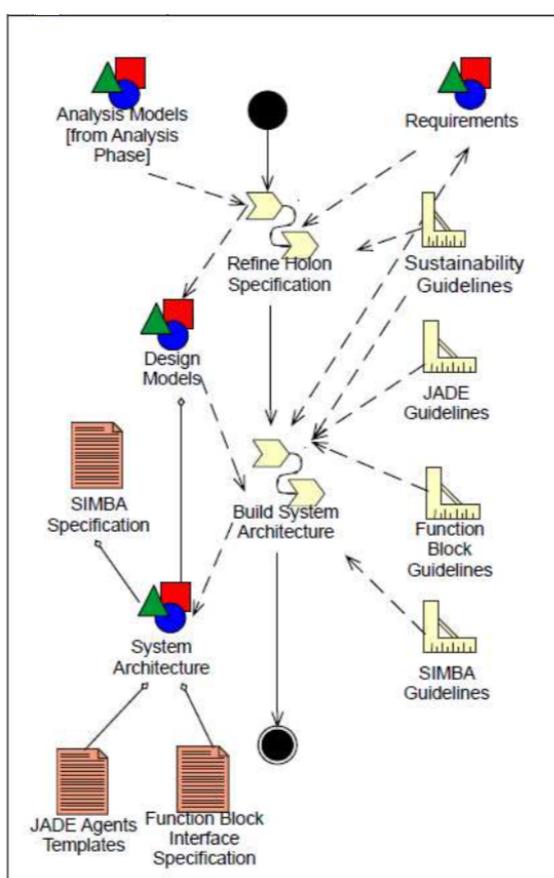


Figura 3.18: Fase de diseño de Go-Green ANEMONA (Extraído de [43])

La Figura 3.18 describe el flujo de actividades definidos para la fase. Esta fase está dividida en dos pasos:

- **Refinamiento de Holónes:** El propósito de este paso es el perfeccionamiento de los modelos generados en la fase de análisis, asegurando la caracterización de todos los parámetros y restricciones a considerar en la construcción del sistema

prestando especial énfasis en la aplicación de los lineamientos de sostenibilidad aportados en el *framework*. Mediante un procedimiento *bottom-up*, debe iniciar con la verificación de los holónes “atómicos” e ir abordando las capas superiores de cada modelo hasta que se alcance el nivel más alto de cooperación establecido en los modelos.

- **Construcción de la Arquitectura:** El objetivo de este paso es completar la especificación de la arquitectura del sistema incluyendo los detalles de la plataforma de ejecución e implementación. Para los mecanismos de control de alto nivel Go-green ANEMONA proporciona lineamientos para el diseño de arquitectura sobre la plataforma JADE y SIMBA y componentes físico-cibernéticos. Los diagramas de despliegue UML modelan la arquitectura física de los nodos del sistema, las plataformas de agentes y sus contenedores.

Este proceso de verificación asegura la confiabilidad de los datos para el cálculo y monitoreo de los indicadores de desempeño que se van a considerar en la ejecución del sistema. En esta fase se determina la asociación de las entidades de los modelos de Go-Green ANEMONA con las entidades de la plataforma de implementación al definir la arquitectura del SHM y sus procesos físicos y de información [31].

Implementación

El propósito de esta fase consiste en producir el código ejecutable para la fase de instalación y configuración. Se implementan los programas de procesamiento de información, así como los de representación y control de los procesos físicos de los holónes, equipamientos y maquinaria. Los lineamientos de sostenibilidad se deben tener en especial consideración durante esta fase para lograr la implementación requerida por los holónes “Go-Green” [43].

Configuración y mantenimiento

En la fase final, se ejecutan las funciones de configuración y mantenimiento. En esta fase se despliega el SHM en las plataformas de producción, incluyendo su configuración, ejecución y correspondiente mantenimiento. En caso de que surgiesen nuevos requerimientos, se iniciaría un nuevo proceso completo de desarrollo [43].

3.2.8. Los SHM en las cadenas de suministro

Los sistemas de producción industrial son elementos constituyentes de las **cadena de suministro** (*Supply Chain* - SC). Dependiendo del enfoque y metodología abordada durante el diseño de una SC los sistemas de producción pueden representarse como un eslabón independiente de la cadena o al interior de una conceptualización más general como “fábrica” o “proveedor”. En esencia, los sistemas de producción involucran el proceso de transformación a productos o materiales elaborados, cuyos consumidores finales pueden ser otros sistemas de producción o entidades individuales que los adquieren para consumo personal. Su caracterización depende nuevamente del alcance y metodología empleada en su diseño.

A pesar que las iniciativas de SHM hacen especial énfasis en abordar la complejidad de los sistemas industriales de producción, los paradigmas holónicos y de agentes (como se puede intuir a partir de su origen) comprenden conceptos generalizables a ámbitos con niveles de complejidad comparables al de los sistemas biológicos, en escalas tanto “micro” como “macro”. Dada la acogida que tiene el tanto término como el esquema de visualización de los sistemas interempresariales y de mercado como estructuras de elementos entrelazados (cadena), es común encontrar como parte constituyente del entorno de los SHM caracterizaciones propias de las cadenas de suministro. La incorporación de estos paradigmas y de metodologías como Go-Green ANEMONA en el diseño y gestión de estas estructuras comprende una aproximación importante para eliminar la ruptura conceptual entre las tecnologías de implementación y los sistemas de gestión industrial y de mercado.

3.3. Diseño y arquitectura de cadenas de producción y suministro

El diseño de las cadenas de suministro no cuenta con un procedimiento único de implementación. Es un tema regularmente abordado desde el campo de la administración empresarial como herramienta para generar ventajas estratégicas. Involucra factores económicos, sociales, organizacionales, entre otros y tiende a ser analizado desde diferentes perspectivas y corrientes de pensamiento. Las propuestas académicas

cas en este sentido, por lo general, buscan generar algún valor agregado al proceso de diseño o la generación de herramientas de utilidad para la gerencia en su implementación u operación. El paradigma holónico y los sistemas Multi-Agente hacen parte de varias propuestas dirigidas a solventar distintos problemas o a generar nuevas configuraciones para mejorar el desempeño (en la sección 3.3.2 se analizan algunas de estas propuestas). A pesar de la complejidad asociada al diseño de cadenas de suministro, existen aproximaciones en la literatura formuladas desde perspectivas administrativas clásicas que incluyen pasos y factores base necesarios para su formulación. La Figura 3.19, describe un conjunto de aproximaciones conceptuales extraídas de [48], que encapsulan visiones generales clásicas de los pasos, etapas, tareas y consideraciones a tener en cuenta en el diseño de cadenas de suministro, teniendo como objetivo principal optimizar su capacidad de gestión.

El “procedimiento conceptual” (Figura 3.19 izquierda) inicia (1) identificando los consumidores finales como punto de partida, con el fin de enfocar los esfuerzos de diseño en la función principal de la cadena, que consiste en satisfacer las expectativas y necesidades de los clientes. El siguiente paso (2) se centra en determinar la función de valor del producto y su relación con los clientes finales. Teniendo estas consideraciones en cuenta (3), continúa con la definición de las relaciones y los elementos que comprenden la red de suministro. A partir del paso 4, se inicia la definición técnica de la cadena, con la especificación de los procesos, tiempos, requerimientos y demás elementos necesarios para implementar con éxito la propuesta de valor definida en los pasos anteriores. Luego sigue la consolidación de todos estos elementos en (5) la elaboración de un bosquejo de la cadena de suministro ideal, para terminar en (6) una revisión y definición de los aspectos realizables y de implementación en la cadena, enfocándose en la capacidad real de cooperación entre sus componentes. Las otras dos estrategias descritas en la Figura 3.19 (central e izquierda) muestran aproximaciones que se enfocan en perspectivas competitivas y estratégicas a partir de *frameworks* y propuestas orientadas a la gestión que a su vez dan por sentado los conceptos y pasos del “procedimiento conceptual” y lo encapsula en un solo paso o etapa (paso 2 del modelo SCOR (central) y Fase 3 del *Network design framework* (derecha)).

Es usual entonces iniciar los diseños de SC con simplificaciones basadas en abstracciones amplias pero que delimitan la cantidad de elementos a considerar para lue-

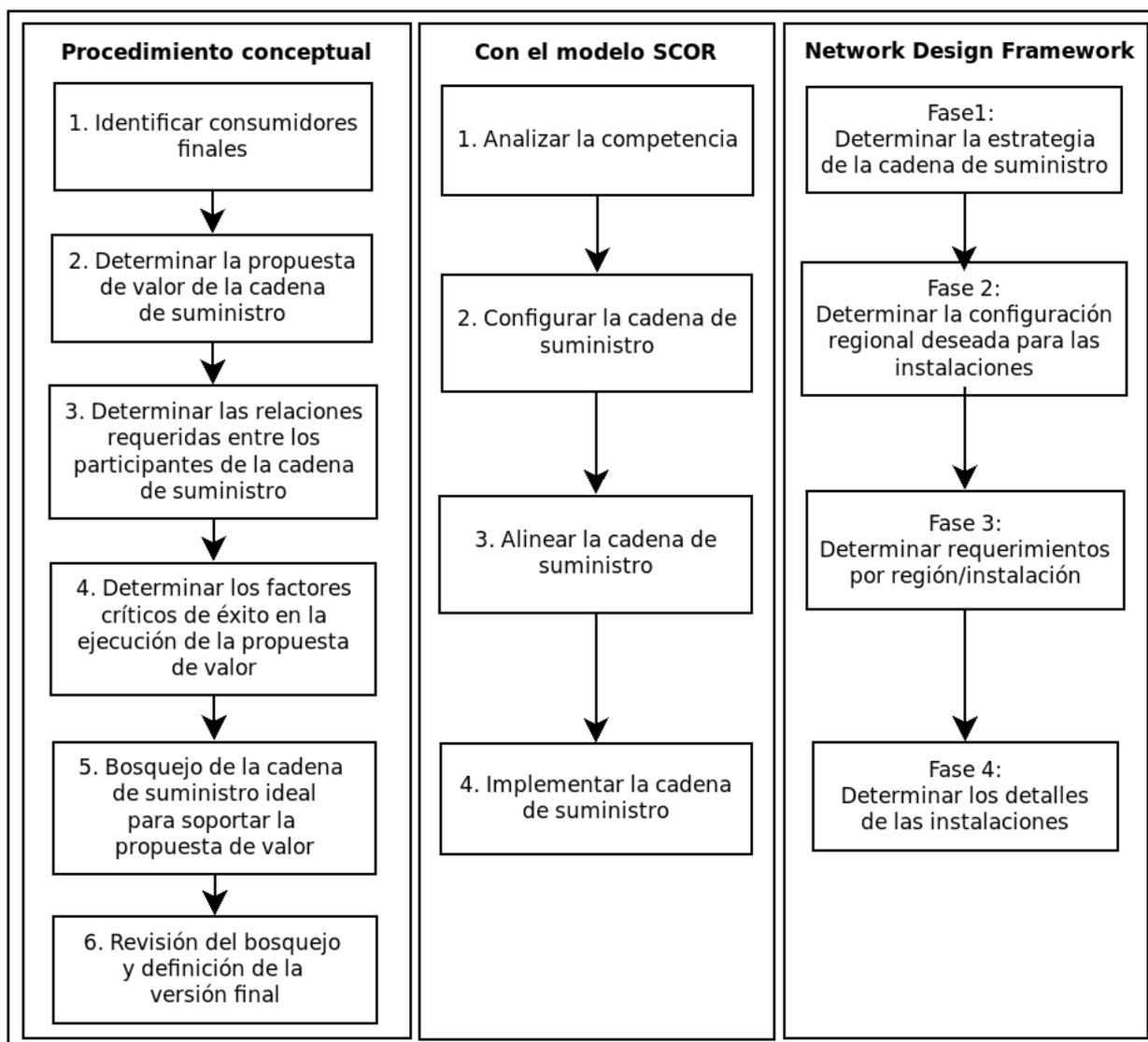


Figura 3.19: Perspectivas de diseño para cadenas de suministro (construido a partir de [48])

go ir escalando mediante desagregación los modelos. Según [48], se aconseja iniciar con dos conceptos: **consumidor** e **instalación** (*two-echelon supply chain*). El primer borrador de la red de suministro consiste en la ubicación geográfica de los consumidores, las instalaciones y la relación existente o necesaria entre estos “**nodos**”, representada por una “**línea de enlace**”. Sobre ese diagrama simplificado ya es posible empezar a aplicar estrategias de optimización (investigación de operaciones, métodos lógicos, analíticos, etc.) que permitan establecer las ubicaciones más propicias, así como los niveles de servicio y la capacidad de las instalaciones del diseño. En esta primera instancia, los “**niveles de servicio**” suelen estar relacionados con la distancia entre las instalaciones

y los clientes finales, la “**capacidad**” se refiere a la cantidad de productos esperados en cada nodo. Estos elementos constituyen los “**bloques de construcción**” en el proceso de diseño de la cadena de suministro.

El siguiente elemento que se involucra al diseño está relacionado con los “**costos de operación**”, para lo cual se analizan: (1) los medios de transporte vinculados a cada *línea de enlace* y sus características (tipo, costo, vehículos asociados, tiempos de desplazamiento, etc.) y (2) los costos variables y fijos asociados a cada “nodo”. Los costos fijos suelen estar asociados a pagos recurrentes necesarios para mantener la operación de las instalaciones (alquileres, impuestos, facturas, etc.). Los costos variables se refieren a aquellos que varían en función a la cantidad de productos que pasan por el “nodo”.

Una vez se cuenta con la información de los “costos de operación” asociados a los “bloques de construcción” de la red de suministro se expande el diseño escalonadamente incluyendo los conceptos de “**producto**” y “**servicio**” e incluyendo el “**rol**” que desempeña cada instalación en la red de distribución (origen de materia prima, planta de producción, bodega de almacenamiento, almacén de tránsito, proveedor, distribuidor, etc.). Sobre este nivel de desagregación, es posible reconsiderar u optimizar los “costos de operación” y “capacidad” de cada uno de los “nodos” de la red. En este punto ya se cuenta con una versión preliminar o “**arquitectura base**” de la cadena de suministro (*multi-echelon supply chain*), que dependiendo de los criterios usados en su formulación puede representar el estado ideal óptimo de la red o su estado actual [48].

Partiendo de la “arquitectura base”, existe una amplia variedad de estrategias, procedimientos, metodologías y tecnologías para otorgarle propiedades competitivas, de gestión, flexibilidad, sostenibilidad, optimización, autogestión entre otros atributos.

En este punto cabe destacar una diferenciación mencionada en [63], respecto a lo que se debe considerar la “arquitectura” de una cadena de suministro y el “diseño” de la misma. Referenciando postulados académicos, los autores consideran la arquitectura como todo aquello que abarca consideraciones geográficas, organizacionales, culturales y tecnológicas a partir de lo cual definen el diseño como el ejercicio resultante de entrelazar los procesos de planeación (de la arquitectura) e implementación (realización). De igual forma, mediante una conceptualización dirigida a la creación de un *framework* de investigación, encuentran que existen tres dimensiones en particular, con relación jerárquica, que encapsulan los principales aspectos involucrados en

propuestas para el diseño de cadenas de suministro [63]:

- **Influenciadores:** Comprende los factores del entorno que dirigen, restringen y moldean la cadena de suministro de acuerdo con los resultados esperados y sus relaciones políticas, económicas, tecnológicas, industriales, proximidad, etc.
- **Decisiones de diseño:** Se refiere a todas aquellas decisiones que, dirigidas por los factores “influenciadores”, definen la distribución física y geográfica de la cadena de suministro, así como su capacidad, estrategias de suministro, red de colaboración, mecanismos de gerencia, estructuras de mando, entre otros.
- **Bloques de construcción:** En el nivel más básico, los “bloques de construcción” son aquellos elementos físicos y conceptuales necesarios para definir las “decisiones de diseño” como lo pueden ser instalaciones, consumidores, costos, servicios, producto, etc.

A partir de este marco referencial, es posible identificar cómo la gestión de cadenas de suministro (*Supply Chain Management - SCM*) y su diseño (*Supply Chain Design - SCD*) hacen parte de un mismo conjunto de estrategias, pues las decisiones orientadas a la gestión afectan directamente la estructura de la cadena y el funcionamiento pre-diseñado. Esto amplía significativamente el espectro de propuestas e implementaciones a considerar como relevantes a considerar ante una propuesta vinculada al diseño y caracterización de cadenas de suministro. Las propuestas más recientes en este sentido, sin embargo, suelen estar enmarcadas en lo que se considera “la evolución” de los sistemas industriales de producción y suministro, enfocados en incrementar la capacidad de cooperación y comunicación automática teniendo como base un ecosistema digital. Esta iniciativa, es la base de la “Plataforma Industrial 4.0” [7] y a partir de esta perspectiva surge el concepto de **cadenas de suministro y producción inteligentes**.

3.3.1. Tecnologías de la información en el diseño de cadenas de suministro

Mediante una revisión literaria orientada a identificar los elementos tecnológicos que hacen posible la implementación de la industria inteligente, los autores en [75]

identificaron seis aspectos que permiten categorizar las propuestas formuladas desde distintas investigaciones. La primera categoría se refiere a (1) los **SMA y SHM**, los cuales constituyen el principal paradigma de implementación para entornos colaborativos (inteligentes), la segunda categoría va orientada a (2) **integración e interoperabilidad** (referenciado como la habilidad de un sistema para usar la información de otros) como un aspecto usualmente abordado con propuestas relacionadas con el internet de las cosas (*Internet Of Things - IoT*), con modelos de integración verticales (jerárquicos) y horizontales (que comparten información a lo largo de la cadena de valor). En una tercera categoría agrupan lo referente a el (3) **análisis de datos**, necesario para sacar provecho de la información disponible y asistir la toma de decisiones, lo cual suele ser abordado mediante propuestas de *machine learning* (ML) e Inteligencia Artificial (IA). La cuarta categoría (4) **computación en la nube** es uno de los conceptos que encuentran más significativos y abarca propuestas orientadas a brindar la capacidad de usar recursos distribuidos facilitando la transmisión de datos a lo largo de la cadena de valor. La categoría (5) **interacción humano-máquina** juega un rol central en la implementación de sistemas avanzados de producción mediante CPS y los esfuerzos de investigación en este sentido están orientados a la creación de interfaces multi-modales, donde el cuerpo humano entero se convierte en un canal de comunicación, lo cual sumado a la interacción con las otras categorías mencionadas, lleva a inferir la sexta categoría, que agrupa las propuestas dirigidas a la (6) **ciber-seguridad** y cuyo enfoque de investigación suele estar dirigido a la creación de mecanismos que garanticen la solidez y confiabilidad de los sistemas de producción distribuidos.

Esta desagregación concuerda con los resultados obtenidos por los autores en [88] que, también mediante revisión literaria, identifican los elementos esenciales en la implementación de **cadena de suministro inteligentes (Smart Supply Chains - SSC)** encontrando principalmente cuatro aspectos fundamentales para gestar el cambio, siendo estos: el intercambio de información, la colaboración, la integración de procesos y la gestión del riesgo. El artículo incluye un análisis histórico en el que identifican la “cadena de suministro original” como resultado de la interacción comercial a través del dinero, por el cual se crean los enlaces entre los eslabones y se propicia su expansión. Luego, el surgimiento de la “cadena de suministro primaria” ocurre con el advenimiento de las sociedades industriales creando relaciones más complejas entre

los participantes; su principal característica consiste en la división funcional explícita (producción, compras, almacenamiento, logística, ventas, etc.) donde cada eslabón toma una responsabilidad especializada, con lo cual se mejora su capacidad de gestión. La “cadena de suministro integrada” surge como respuesta a los problemas de comunicación existentes en las cadenas primarias, creando mecanismos de coordinación y facilitando el intercambio de información entre las dependencias funcionales lo que lleva a la optimización de los procesos operativos. Consecuentemente, el siguiente paso evolutivo se da con las “cadenas de suministro colaborativas”, las cuales mejoran y solucionan problemas de coordinación externa mediante mecanismos cooperativos tanto a nivel de proveedores como de distribuidores, promoviendo la circulación de bienes, capital e información a lo largo de la cadena. Finalmente, surge la “cadena de suministro inteligente” como un esquema industrial que busca adaptarse a estructuras económicas globalizadas mediante el uso de tecnologías de la información; implica la creación de infraestructuras masivas para la integración de datos, información, instalaciones, producción y procesos de negocio como medio para optimizar la colaboración entre los participantes. En este sentido, las características más relevantes que identifican una SSC son [88]:

- **Instrumentación:** En las SSC la mayor parte de los datos es generada por máquinas y sensores especializados en el manejo y recolección de información. Mediante estos instrumentos se automatiza el flujo y procesamiento de los datos necesarios para soportar la ejecución de los procesos.
- **Interconexión:** Todos los componentes de una SSC deben estar integrados, monitoreando el flujo de la cadena de suministro en interacción constante con clientes, proveedores y demás sistemas de información.
- **Inteligencia:** Las SSC deben ser capaces de tomar decisiones oportunas por sí mismas sin la intervención de agentes externos mediante el uso de modelos predictivos complejos y simulación.
- **Automatización:** Todas las operaciones repetitivas deben estar a cargo de máquinas para garantizar altos grados de eficiencia en los procesos tanto productivos y de manufactura como logísticos y administrativos.

- **Integración:** Los procesos de integración de las SSC implican escenarios colaborativos en los que el intercambio continuo de información, la toma de decisiones conjunta y el uso de sistemas compartidos se practica entre los integrantes de la cadena mediante mecanismos avanzados de coordinación.
- **Innovación:** La innovación se define como la búsqueda de soluciones ante requerimientos previsibles y necesidades no reconocidas o simplemente la implementación de mejores estrategias para satisfacer la demanda sobre la cadena de valor y constituye una herramienta importante en las SSC.

Es interesante observar como, a diferencia de sus predecesoras, las SSC no surgen, en principio, a partir de procesos emergentes de la interacción social y comercial sino que hace parte de un esquema dirigido (aún no completamente resuelto) que busca acomodarse a las iniciativas industriales propuestas y que aún no han sido implementadas en su totalidad, como lo es la “industria 4.0” (I4.0). Así entonces, los esfuerzos académicos en ese sentido están encaminados a un esquema idealizado predefinido que, sin lugar a duda, otorgará ventajas competitivas sin precedentes a sus participantes, pero aún así se basa en un concepto colaborativo que necesita la integración de un número importante de actores para ser funcional. La estructura masiva que hace de esta una propuesta robusta y prometedora es a la vez la razón de su lenta implementación, pues no todos los actores de una cadena de suministro convencional tienen la madurez organizacional y tecnológica suficiente para soportar su participación bajo esta iniciativa. La escuela nacional de ciencia y tecnología de Alemania (Acatech) establece seis niveles de madurez posibles para las organizaciones en relación con la iniciativa I4.0 [15] : (Nivel 1) Computarización, (Nivel 2) Conectividad, (Nivel 3) Visibilidad, (Nivel 4) Transparencia, (Nivel 5) Capacidad predictiva y (Nivel 6) Adaptabilidad. Para que un actor de la cadena de suministro esté en capacidad para integrarse al esquema de la iniciativa I4.0, debe estar por lo menos en el nivel 3, lo cual implica, por lo general, una inversión importante en la que muchos proveedores de materia prima no suelen estar interesados.

Bajo este panorama, la investigación académica está generando continuamente propuestas orientadas al uso de tecnologías de la información para facilitar este proceso de transición, los artículos mencionados anteriormente ([75], [88]) listan como

parte de su revisión literaria un buen número de propuestas en este sentido. De forma similar lo hacen los autores en [72] quienes (también mediante revisión literaria) establecen las características y propiedades que dan forma al diseño de productos y sus medios de producción en los diseños de ingeniería inteligente, encontrando tres aspectos intrínsecamente relevantes con la iniciativa I4.0 [72]:

- Los equipos de ingeniería y diseño deben estar capacitados en el manejo y análisis de datos, internet de las cosas y ciber-seguridad.
- Los procesos de diseño e ingeniería deben contemplar el uso de datos por retroalimentación y en general toda información relevante disponible en la red, donde las “sombras digitales” constituyen una poderosa herramienta con la cual dirigir y soportar el desarrollo de los productos y garantizar su seguridad.
- Los diseños de ingeniería deben estar soportados por herramientas, técnicas y tecnologías que soporten la explotación de los datos, la integración del diseño de hardware-software (modelado de sistemas basado en modelos), soportar la creación de las “sombras digitales”, garantizar la ciber-seguridad, permitir prototipos ágiles con los cuales dirigir el diseño de sensores y tecnologías IoT.

Los requerimientos y retos en temas de seguridad son analizados en [59] y en [74], donde se vislumbra el uso de tecnologías blockchain como una propuesta con la capacidad de afrontar buena parte de los riesgos orientados a la confiabilidad de la información.

El uso de tecnologías para el análisis de datos en cadenas de suministro y *Machine Learning* (ML) es analizado en [66], encontrando un aporte interesante en este sentido. Desde una perspectiva histórica, evidencian un pico en publicaciones desde el 2016, siendo las revistas de China y Estados Unidos las de mayor número de artículos, con propuestas dirigidas, en su mayoría, al uso de técnicas de aprendizaje supervisado y mediante el uso de datos simulados e históricos; los principales sectores involucrados son el de bienes de consumo, el automotriz, financiero, moda y manufactura en general, con propuestas que implementan *support vector machines* y redes neuronales en aspectos como estimación de la demanda, selección de proveedores, planeación y agendamiento de la producción, manejo predictivo de inventarios, logística y el uso

conjunto de ML y IoT para mejorar la visibilidad operativa a lo largo de la cadena de suministro propiciando el mejoramiento en la toma de decisiones.

En ese sentido, el esfuerzo por explotar la capacidad del aprendizaje automático y la inteligencia artificial sigue generando propuestas desde el ámbito académico e industrial y las tecnologías multi-agentes suelen ser el punto de partida para generar propuestas holísticas sobre la gestión y diseño de cadenas de suministro.

3.3.2. Modelado basado en Agentes en el diseño de cadenas de suministro

En la sección 3.1.2 se citaron varias propuestas presentes en la literatura reciente sobre el uso de SHM y SMA en la industria y las cadenas productivas. En esta sección se analizan algunas propuestas recientes dirigidas explícitamente al diseño y administración de cadenas de suministro haciendo uso del paradigma de modelado basado en agentes (MBA).

En uso de tecnologías MBA suele enfocarse en fortalecer la capacidad colaborativa de los eslabones de las cadenas de suministro, soportar la toma de decisiones y garantizar respuestas ordenadas frente a cambios en el entorno. Es importante tener en cuenta que el potencial del MBA radica en la capacidad para generar comportamientos y características emergentes, en tiempo de ejecución, a partir de la configuración pre-diseñada de componentes constituyentes. Por esto, los esfuerzos del modelado deben estar enfocados a garantizar que los aspectos a fortalecer hagan parte de tal “emergencia”, para que cuenten con mayor resiliencia y adaptabilidad.

La *emergencia* no es un efecto fácilmente controlable ni completamente predecible, sin embargo, las metodologías de MBA están diseñadas para dirigir el modelado, crear estructuras y definir relaciones que propicien la generación de los comportamientos y características deseables, algunas veces, recreando configuraciones observadas en sistemas biológicos y/o sociales.

En [49], por ejemplo, el autor describe una metodología para el diseño de redes de suministro y la planificación de sus actividades usando algoritmos de planificación colaborativa con los que busca sincronizar los flujos de suministro entre los participantes de la cadena. La solución propuesta se basa en la implementación de un SMA que

imita procesos sociales “deliberativos” entre las partes interesadas creando interacciones comunicativas entre agentes que representan a los participantes en la cadena. El efecto emergente propiciado por la metodología es la capacidad de consenso que dará como resultado una “arquitectura base” potencialmente alineada con flujos óptimos de suministro. En este caso los SMA se usan como sistemas expertos de asesoría y soporte al diseño y toma de decisiones frente a la configuración de la cadena.

También existen propuestas orientadas a incorporar los SMAs como parte de los procesos operativos. En [28], el autor plantea un proyecto de investigación que pretende hacer uso de sistemas físico-cibernéticos como base para una arquitectura empresarial configurada como un SMA con la capacidad de procesar información histórica y tomar decisiones de forma distribuida propiciando el flujo continuo de información. El objetivo de la investigación se centra entonces en la detección de comportamientos emergentes en relación con los procesos de negocio y arquitecturas configuradas, con el fin de identificar los parámetros que promuevan la resiliencia general del sistema y mejoren su desempeño. Los resultados de esta investigación probablemente aportarán un conjunto de posibles configuraciones para SMAs, integrables en el diseño de cadenas de suministro. Similarmente, los Autores en [37] presentan una propuesta mixta, en la que plantean un SMA que puede ser usado como sistema experto capaz de simular el flujo de suministro en una cadena representada por agentes virtuales o también puede ser implementada como “sombra virtual” de una cadena de suministro real, con la capacidad de tomar decisiones y dirigir automáticamente el flujo de suministro optimizando su operación mediante la interacción de los agentes de software que emulan procesos de subasta inversa, todo sobre la base de un *framework* conceptual de tres pasos: (1) establecer perfiles de mercado, (2) generar redes de suministro alineadas con los perfiles de mercado y (3) evaluar las redes de suministro frente a indicadores de desempeño pre-establecidos. Aquí, el SMA propuesto usa las reglas de oferta y demanda, propias de los sistemas comerciales, para propiciar la emergencia de procesos de suministro óptimos y adaptabilidad frente a sus variaciones manteniendo un ciclo continuo de evaluación periódica, garantizando el funcionamiento de la cadena. En [38] se describe una propuesta dirigida a SSCs y sistemas de manufactura en la nube. Mediante una arquitectura que imita un sistema organizacional jerárquico (vertical) buscan optimizar la planificación de los tiempos y actividades de suministro y manu-

factura usando un escenario de impresión 3D en su planteamiento. El SMA propuesto usa herramientas de inteligencia artificial para automatizar la toma de decisiones en la orquestación de tareas ejecutables, definidas de forma distribuida y analizadas por un “agente maestro” que transmite los planes y asignaciones. En este caso el SMA esta basado en el esquema corporativo convencional, en el que una cabeza directiva toma las decisiones apoyada en información compartida por sus subalternos en tiempo real. El comportamiento emergente propiciado será la capacidad de respuesta ante variaciones, supeditado (como ocurre en los esquemas corporativos reales) a la pertinencia de la información recibida por el “agente maestro”. En una aproximación similar a las anteriores, pero buscando integrar los procesos de definición de producto con el diseño de las cadenas de suministro relacionadas, los autores en [26] proponen el uso de un SMA detallado previamente en [25], que distribuye los procesos de evaluación de costes ambientales y de suministro. En el SMA, los “agentes de diseño” (*product design agents* - PDA) generan un conjunto de alternativas de productos, que son transmitidos a los “Agentes de suministro” (*supply chain agents* - SCA) para evaluar el costo ambiental en sus actividades; el puntaje obtenido es enviado al “agente comunicador” (*communication agent* - CA) el cual reduce el espectro de posibilidades usando la metodología TOPSIS y envía los resultados de vuelta a los SCA quienes optimizan el costo de los productos; estos devuelven al CA un conjunto de posibles patrones de cadena de suministro con sus costos asociados el cual selecciona bajo criterios de costo y envía las propuestas al PDA para su análisis. Esta propuesta explota la capacidad de computación distribuida desagregando las tareas de cálculo y combinación de algoritmos de programación lineal a las cuales delega la responsabilidad de generar resultados óptimos, usando los principios básicos de trabajo colaborativo. La emergencia resultante del SMA es su capacidad para seleccionar en un mismo ciclo productos sustentables y diseños de cadenas de suministro viables para los mismos.

Estos y otros trabajos han corroborado la pertinencia de las tecnologías holónicas y basadas en agentes en el diseño y configuración de cadenas de suministro. La naturaleza distribuida de las estructuras sociales que soportan la interacción económica y comercial de las comunidades humanas las convierten en candidatas perfectas para la construcción de diseños de alto desempeño, adaptables y resistentes a la variabilidad de los entornos industriales y de mercado.

3.3.3. Nivel de madurez de una cadena de suministro

Alineado con los recursos literarios mencionados en la sección anterior y las características deseables para las cadenas de suministro allí identificadas desde perspectivas tecnológicas e iniciativas corporativas, en la Tabla C.5 se presenta una lista de verificación que permite determinar la capacidad de una cadena de suministro para afrontar los retos proyectados para la cuarta revolución industrial y el nivel de madurez de su implementación.

Tabla 3.1: Lista de verificación del nivel de madurez para cadenas de suministro

Nivel I4.0	Nivel de Madurez	Características		✓
Zero	Originaria	1	El contrato de intercambio de materiales y productos a lo largo de la cadena de suministro está determinado en su mayoría por el pago de dinero físico o con compensaciones en especie.	
	Primaria	2	Existen funciones especializadas a lo largo de la cadena, fácilmente identificables mediante procesos documentables que se encargan de la producción, la logística y demás actividades que propician el suministro de los productos	
	Integrada	3	La separación funcional de los procesos en la cadena de suministro funciona bajo parámetros de coordinación que permiten la sincronización de tareas y procesos entre eslabones	
Continúa en siguiente página				

Tabla 3.1 viene de la página anterior

Nivel I4.0	Nivel de Madurez	Características		✓
Computarización	Colaborativa	4	La cadena cuenta con sistemas de información que facilitan la gestión de procesos logísticos, de suministro e inventarios.	
		5	Los sistemas de información se usan a lo largo de la cadena para administrar las relaciones con proveedores, distribuidores y clientes.	
Conectividad		6	Mediante implementaciones tecnológicas, robótica y sistemas de control, los procesos industriales están automatizados.	
		7	Es posible extraer información a lo largo de la cadena de suministro y los procesos industriales de forma automatizada mediante sistemas de información enlazados a sistemas automatizados de control	
Visibilidad	Inteligente	8	Clientes y proveedores tienen acceso regulado a información sobre el estado en tiempo real del suministro y los procesos industriales a lo largo de la cadena	
Transparencia		9	Los mecanismos para toma de decisiones sobre procedimientos, políticas y demás elementos reguladores del suministro están debidamente definidos y documentados.	
Continúa en siguiente página				

Tabla 3.1 viene de la página anterior

Nivel I4.0	Nivel de Madurez	Características		✓
Capacidad predictiva		10	Los mecanismos para toma de decisiones están soportados por implementaciones tecnológicas de información y ciencia de datos que permiten la formulación de modelos predictivos y complejos	
		11	Todas las operaciones repetitivas tanto en procesos industriales de manufactura como logísticos y administrativos están a cargo de máquinas	
		12	Los procesos de integración entre los participantes a lo largo de la cadena de suministro incluyen escenarios colaborativos con intercambio continuo de información, toma de decisiones conjunta mediante uso de herramientas tecnológicas con mecanismos avanzados de coordinación.	
Adaptabilidad		13	Existen procesos iterativos de búsqueda de soluciones y estrategias ante requerimientos previsibles y necesidades no reconocidas	

3.4. Sostenibilidad en el diseño de cadenas de suministro

Como se detalla ampliamente en la primera parte de este trabajo, el ámbito de la administración aplicada a cadenas de suministro ha encontrado especial afinidad con los esquemas de “economía circular”, pues resultan una adaptación complementaria y consistente con la visión lineal tradicional. Básicamente, consiste en agregar eslabones a lo largo de la cadena que interconectan con nodos iniciales y/o intermedios para la

reutilización de materiales residuales generados al final del ciclo de vida del producto comercializado o durante los procesos de producción, incorporando así los conceptos de “reciclaje”, “logística inversa”, “reparación”, “reutilización”, “refabricación” y todo lo que ello implica en la propia definición de las SC. La adopción de estas estrategias, implica la incorporación de asociaciones de trabajo colaborativo a lo largo de la cadena, que a su vez redefinen los flujos tradicionales de los productos y la información [48]. La Figura 3.20 diagrama comparativamente estas implicaciones.

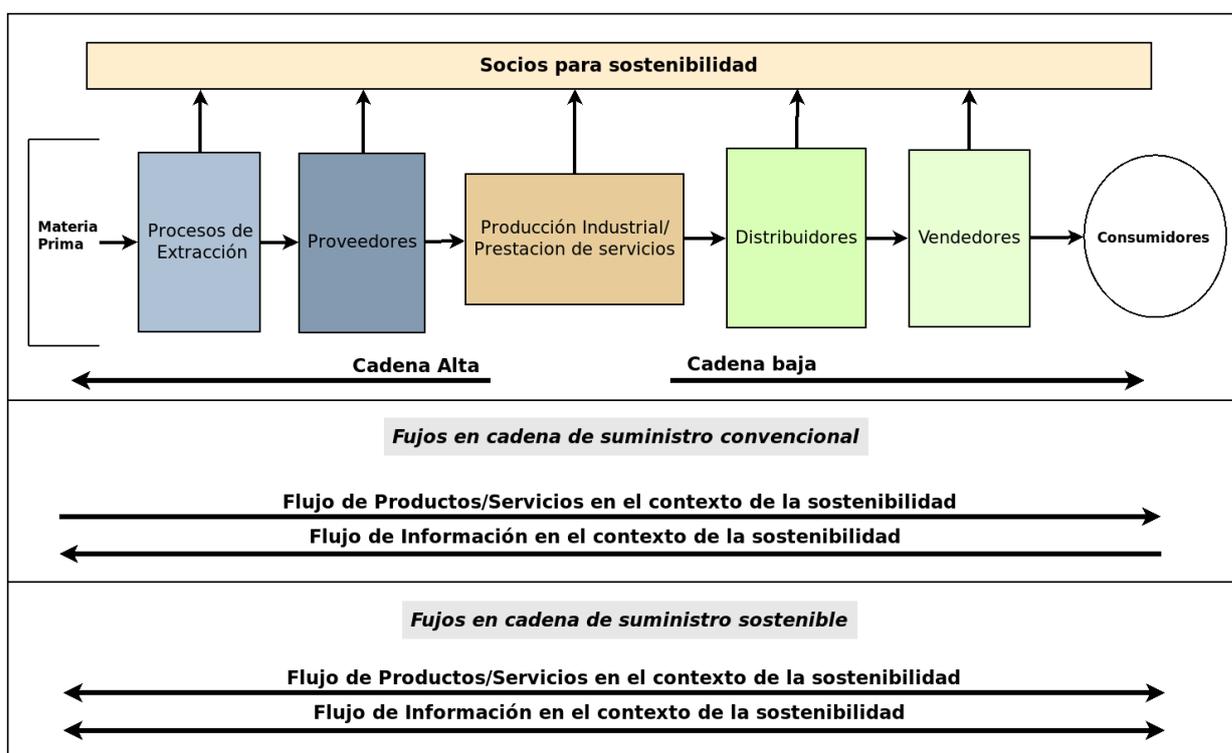


Figura 3.20: Caracterización de la cadena de suministro convencional y sostenible. (Adaptación de Figura extraída de [48])

Estos y otros paradigmas adoptados en los últimos años en el diseño de productos y cadenas suministro, según el análisis literario presentado en [64] (que concuerda con los planteamientos descritos en la sección 2.5.4), han incentivado la tendencia a promover el *diseño-eco*, la comercialización de productos remanufacturados y la incorporación de estrategias de ciclo de vida de productos de arquitectura abierta (*Open Architecture Products -OAP*) en las compañías de manufactura. Los autores del artículo encontraron un gran despliegue de propuestas enfocadas a la recuperación de materiales al final del ciclo de vida de los productos y en contraposición la necesidad de

ahondar esfuerzos en la creación de estrategias sostenibles orientadas a las etapas de fabricación, uso u operación de los productos, que podrían generar un impacto más significativo.

En [48], se identifican algunas de las barreras más comunes que obstaculizan la implementación de estas iniciativas de sostenibilidad en las SC, que involucran factores financieros, culturales y estructurales, hábitos de consumo, diseño del producto y problemas de comunicación. Cuando no se consideran los costos ambientales de una operación industrial se crea la ilusión de que las ganancias obtenidas son superiores, sin embargo, lo que en realidad se hace es delegarlos al entorno obligando a entidades externas a hacerse cargo de los gastos no asumidos en el proceso industrial. Los efectos de estas prácticas con el tiempo generarán costos adicionales por multas, demandas o el desprestigio de la marca. De ahí la importancia de mantener una visión a largo plazo, de crear planes y estrategias que moldeen las estructuras corporativas y la cultura empresarial en torno a la sostenibilidad.

El esquema de puntos de eco-sostenibilidad propuesto en la sección 2.6.1 busca aportar en este sentido, brindando una herramienta generalizable a cualquier cadena de suministro para medir el alcance de las políticas de sostenibilidad ambiental adoptadas por sus ejecutores.

3.4.1. Sistema de eco-puntos en el diseño de cadenas de suministro

El procedimiento para evaluar los puntos de eco-sostenibilidad propuesto en la sección 2.5.5, desde el punto de vista del diseño tradicional de SC, implica un esfuerzo adicional en la delimitación del entorno. Esto sin embargo, es un componente ya considerado en las metodologías de paradigma holónico y orientado a agentes.

Para la correcta implementación del procedimiento de eco-sostenibilidad es necesario delimitar, en etapa de diseño, la **red medioambiental** adyacente a la red de suministro. Los nodos de la “red medioambiental” estarán compuestos por las entidades (materiales, abstractas y conceptuales) definidas en la sección 2.4. Mediante “líneas de enlace” se debe definir la relación existente entre los nodos de la red de suministro y la red medioambiental. Los nodos de la red medioambiental se deben considerar como entidades “proveedoras de información” tan necesarias como los “proveedores de

suministro”, creando así un “flujo de información ambiental”.

Con el fin de mantener los flujos de información ambiental activos, se debe establecer una periodicidad de medición para los indicadores de sostenibilidad en cada nodo (ver Apéndice A.1). El mismo esquema de consolidación que se usa para ponderar el puntaje de los nodos establece el ponderado total de la cadena (ecuación 2.1) bajo la configuración descrita en la Sección 2.6.4.

Las “líneas de enlace” entre los nodos de la cadena de suministro y los nodos de la red medioambiental pueden representar:

- **proximidad geográfica:** La cual es posible determinar ante algunas “entidades materiales”, teniendo en cuenta aquellas que están físicamente presentes en el entorno geográfico sobre el cual operan los nodos de la red de suministro.
- **influencia:** Se debe considerar para cada nodo, de acuerdo con su rol en la SC la influencia directa sobre las entidades de la red medioambiental.
- **afectación:** Se debe considerar para cada nodo, de acuerdo con su rol en la SC los niveles de afectación (positiva o negativa) que tiene sobre las entidades de la red medioambiental.
- **incorporación:** Cuando los nodos de la red de suministro incorporan entidades de la red medioambiental en sus procesos de operación.

El procedimiento, en esencia, busca establecer un flujo de información consciente, periódico y confiable sobre los efectos (positivos o negativos) que la operación industrial tiene sobre su entorno. Esto implica la consideración de elementos que agregan complejidad a los modelos ya de por sí complejos, por lo que es fundamental el uso de tecnologías avanzadas de análisis sistémico y conceptualización que faciliten la caracterización de entornos sociales complejos.

3.5. Modelado social y organizacional

Buena parte de la complejidad de los sistemas de manufactura depende de los componentes del proceso, sin embargo, es la variabilidad del entorno lo que dicta los

niveles de adaptabilidad necesarios. Los paradigmas holónicos permiten reconocer estos patrones e idear estructuras capaces de variar su respuesta ante distintos parámetros de entrada, alcanzando niveles ideales de adaptabilidad.

Expandir el campo de implementación de Go-Green Anemona más allá del entorno de aplicación de los sistemas de manufactura y la empresa individual, implica abordar la variabilidad inmersa en las estructuras sociales y culturales de las corporaciones y demás entidades involucradas en su entorno, pues es en estos *sistemas sociales* que están contenidos los elementos que componen y definen las cadenas de suministro.

La complejidad de las estructuras sociales es un tema de amplia y constante investigación, sobre la cual existen diferentes propuestas y una discusión permanente sobre las formas más adecuadas para su estudio, que están por fuera del alcance de este trabajo. Sin embargo, es importante entender que para abordar esta complejidad es necesario involucrar aproximaciones sociológicas con sus correspondientes perspectivas filosóficas, así como metodologías de caracterización provenientes de las ciencias de la administración.

Así, buscando aprovechar los aportes de las ciencias sociales y la administración en simbiosis con los paradigmas de modelado holónico para sistemas de manufactura a continuación se presenta algunas perspectivas de caracterización organizacional con un origen común al de los SHM, en la teoría general de sistemas [29].

3.5.1. Organización social: visión sistémica

Peter Checkland en su libro *Information, Systems, and Information Systems* [32] plantea las limitaciones que surgen al considerar las organizaciones como “maquinas-busca-objetivos”. Bajo esta perspectiva, una organización es vista como un grupo de personas que, en conjunto, buscan lograr objetivos que no podrían ser alcanzados de forma individual. Estos modelos suelen denominarse sistemas de tipo “socio-tecnológico”. Estos modelos abstractos de organización son obviamente muy útiles para abordar el tema y como concepto base en la iniciación de estudiantes inexperimentados, sin embargo, es también el responsable de las abismales brechas generalmente presentes en las conceptualizaciones que soportan la construcción de sistemas de información, siendo evidentes sólo cuando se enfrentan con la complejidad real. Es común en varios

campos de aplicación tecnológicos y de administración no desarrollar este concepto más allá de la definición lúdica básica.

Aportando en este sentido P. Checkland propone una abstracción enriquecida del concepto de organización de gran utilidad en la conceptualización de cadenas de suministro, pues considera la existencia de múltiples relaciones entre los participantes.

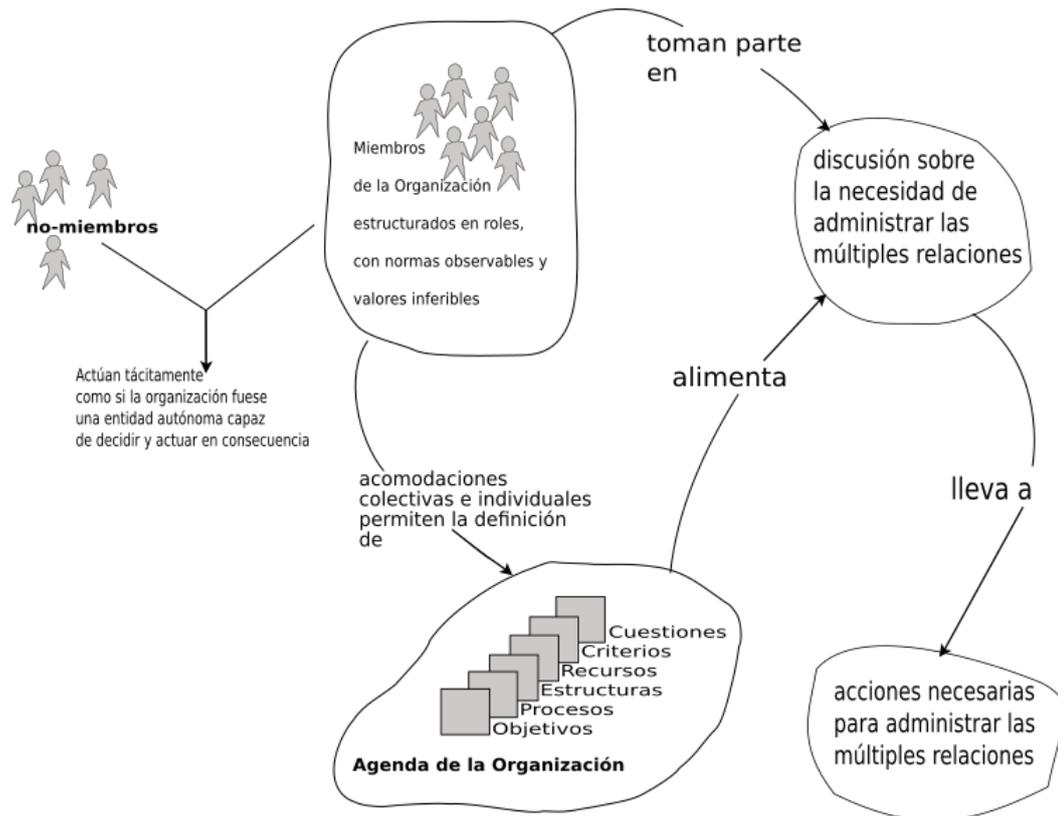


Figura 3.21: Modelo enriquecido del concepto de organización de P. Checkland (Recreado a partir de [32] Pág.83)

La Figura 3.21 presenta la definición de Checkland, dónde se reconoce claramente que una organización es en sí una idea abstracta, una *colectividad social* aglomerada alrededor de una acción colectiva y un conjunto de prácticas sociales relacionadas. Su existencia depende de la voluntad de algunas personas (generalmente un número considerable), miembros y no-miembros de la organización, para pensar y hablar de dicha *colectividad social* como si fuera un individuo autónomo capaz de tomar decisiones y actuar en consecuencia. Ser miembro de la *organización* implica la existencia de una relación contractual con la misma de tipo legal/laboral o incluso una más compleja de tipo psicológica o también ambas. Los miembros reconocidos estarán organizados en

estructuras de *rol*, que a su vez, establecen expectativas de comportamiento según el papel desempeñado, es decir *normas* y también *valores* comunes, usados generalmente para realizar juicios de valor sobre el comportamiento (bueno/malo) de los integrantes respecto al su papel al interior de la organización. Estos *roles*, *normas* y *valores* no son estáticos, sino que se redefinen continuamente con la experiencia organizacional. La *agenda organizacional* está compuesta por los *objetivos*, *procesos*, *estructuras*, *recursos*, *criterios* y *cuestiones* cuya definición es el resultado de adaptaciones individuales y colectivas por parte de los miembros de la organización y es insumo en la discusión permanente dirigida sobre la necesidad de administrar múltiples relaciones y las acciones necesarias para manejarlas. Cabe anotar, que la percepción básica de organización como “máquina-busca-objetivos” es de por sí un caso particular de la definición enriquecida propuesta por Checkland y ayuda a entender por qué la variabilidad organizacional queda siempre por fuera de este tipo de conceptualizaciones.

Con el fin de enlazar esta caracterización sistémica con formas más concretas de organización social, resulta útil considerar la desagregación organizacional planteada por Daniel Katz [54], la cual a pesar de haber sido planteada a mediados del siglo XX, contiene una serie de elementos útiles y vigentes para el análisis estructural de las relaciones sociales.

Bajo la corriente sociológica planteada por Niklas Luhman en la teoría general de los sistemas sociales, basada a su vez en el estructuralismo funcional de Talcott Parsons, el psicólogo Daniel Katz desarrolló una generalización con la cual es posible caracterizar las organizaciones como sistemas abiertos con ciclos de intercambio de energía e información con el medio. El modelo básico de sistema social, consiste en una estructura que importa energía del “mundo externo”, la transforma y exporta un producto al ambiente, que es fuente para volver a energizar el ciclo. El aporte de Katz de mayor utilidad en lo que compete a este trabajo es la definición de los cinco subsistemas organizacionales, cuya interacción, en principio, da lugar a características emergentes:

- **Subsistema de producción.** El subsistema técnico o de producción está dedicado al procesamiento y transformación energética o de información y sus ciclos de actividad comprenden las funciones principales del sistema. Los insumos de pro-

ducción constituyen las importaciones de energía que, al ser procesadas, terminan en algún resultado productivo. Desarrollan una dinámica de *eficiencia técnica* en la que los esfuerzos se dirigen al logro de las tareas productivas.

- **Subsistema de apoyo:** Constituyen una ampliación directa a las actividades de producción mediante la importación de insumos o la exportación de productos terminados. Pueden estar relacionados directamente con los procesos productivos de la organización o indirectamente creando un ambiente favorable para el funcionamiento del sistema. Su dinámica consiste en conservar un estado estable o de equilibrio, presionando hacia la formalización y la institucionalización, que son las formas más fáciles de lograr la estabilidad y la supervivencia de la organización como un todo.
- **Subsistema de mantenimiento:** Las actividades de mantenimiento están dirigidas al equipo que realiza las actividades de procesamiento. Busca mantener las interrelaciones necesarias para cumplir las tareas mediante procesos de reclutamiento de personal, capacitación, socialización, recompensa o castigo. Los insumos de mantenimiento son importaciones energéticas que mantienen el funcionamiento del sistema.
- **Subsistema de adaptación:** Son estructuras dedicadas específicamente a captar los cambios importantes ocurridos en el mundo externo y traducirlos en requerimientos internos para la organización. A diferencia del subsistema de mantenimiento, que mira para adentro, el adaptativo tiende a mirar hacia afuera, a pesar que ambas buscan preservar la constancia y la capacidad de predicción de la organización. La dinámica de esta función está dirigida a tener control sobre el “mundo externo” por lo que genera mecanismos para la obtención continua de información del exterior.
- **Subsistemas Gerenciales (Administración):** Abarcan las actividades organizadas para controlar, coordinar y dirigir los subsistemas de la estructura. Están compuestos por ciclos de actividades que manejan la coordinación de subsistemas y el ajuste del sistema total a su ambiente. Opera a través de mecanismos reguladores y estructuras de autoridad. La gerencia de las organizaciones modernas

opera en gran medida a través de *mecanismos reguladores*, buena parte a través del registro y procesamiento electrónico de la información de las empresas, sus procedimientos y su ambiente. El autoritarismo en las empresas modernas generalmente se traduce en una forma establecida para la toma de decisiones respecto a cuestiones organizativas, la *estructura de autoridad* describe la forma como se organiza este sistema gerencial y su esencia está en aceptar sus directivas como legítimas, es decir, que sus integrantes acepten y aprueben las “reglas de juego”. Además de su función de ajuste interno, la estructura gerencial tiene la importante tarea de coordinar los requerimientos venidos del exterior, con los recursos y las necesidades de la organización, es decir, ha de implantar una política de realización respecto a los problemas en estudio mediante la estructura adaptativa. En principio cualquier cambio que afecte la generalidad del sistema debe pasar por el subsistema gerencial.

Con esta delimitación es posible desagregar, sin perder de vista el panorama general, cada uno de los componentes a modelar en un sistema social complejo de acuerdo con sus roles funcionales. Considera además las estructuras organizacionales suficientes para caracterizar los arreglos sociales que dan lugar al modelo enriquecido de Checkland (Figura 3.21) evitando caer en reduccionismos poco fieles con la realidad.

Para lograr una caracterización consistente mediante los subsistemas organizacionales propuestos por Katz, es importante entender la aproximación sociológica desde la cual fueron formulados. El estructuralismo funcional de Parsons es una de las corrientes de análisis social vigentes, que se fundamenta en el concepto de los sistemas sociales de acción, en los que la interacción de los actores individuales tiene lugar en condicionales tales que es posible caracterizar dicho proceso como un “sistema”. Bajo esta perspectiva es necesario desprenderse de la materialización física de las entidades a modelar y enfocarse en la descripción funcional y la estructura relacional presente en las unidades de acción e interacción. Bajo esta corriente, los sistemas sociales están formados por la ejecución constante de actividades interactivas que pueden estar vinculadas a espacios y estructuras físicas reales, pero cuando las actividades cesan el sistema desaparece.

El modelo de conceptualización social de Katz se construye al definir los sistemas

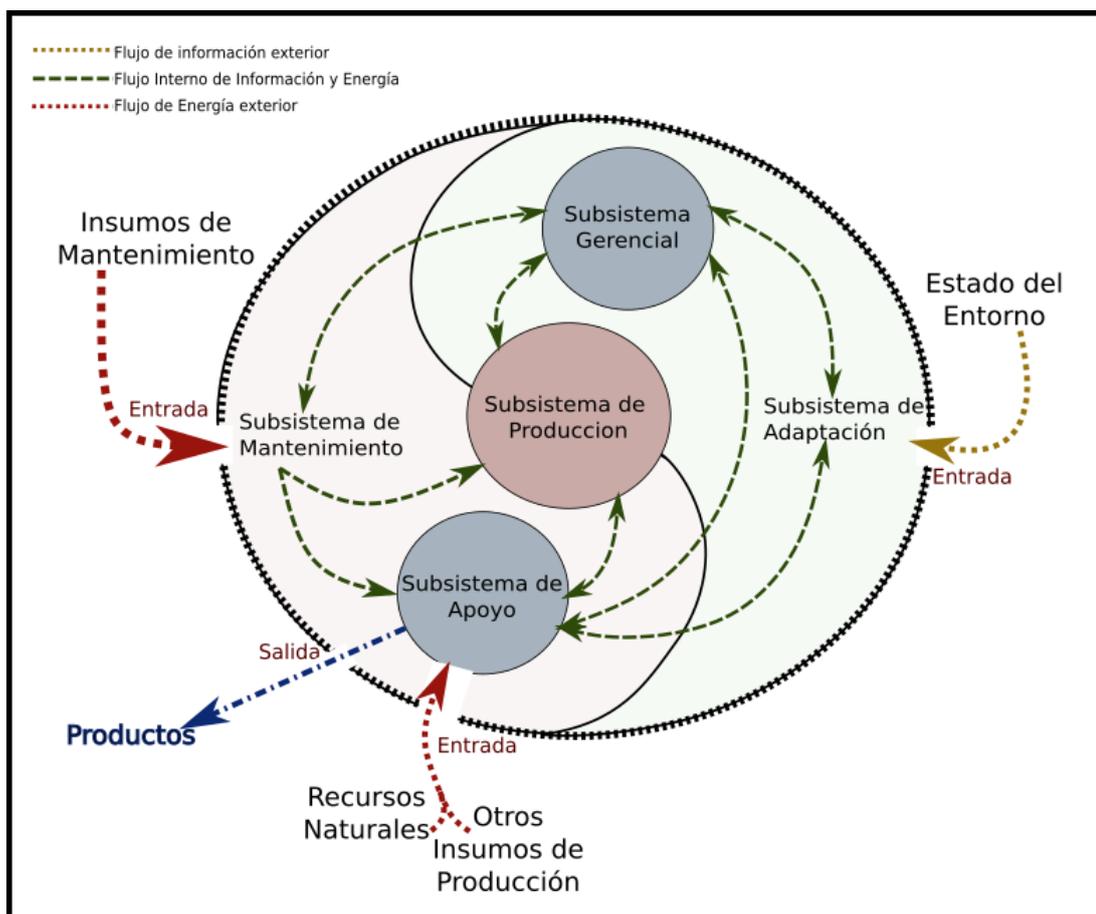


Figura 3.22: La Organización como sistema social según D. Katz (construido a partir de [54])

de actividad vinculados a los cinco ámbitos (subsistemas) descritos anteriormente. Esta aproximación se puede abordar mediante herramientas propias del paradigma holónico y basado en agentes. Haciendo uso de la perspectiva de tareas es posible caracterizar los elementos funcionales del entorno a modelar. La Figura 3.22 describe la dinámica de los subsistemas organizacionales, caracterizando los subsistemas de adaptación y mantenimiento como los principales gestores de las relaciones con el entorno, soportando y alimentando la operación de los subsistemas internos. Esta estructura modular permite abordar la complejidad organizacional de forma ordenada y generar modelos consistentes que enfatizan la importancia de las actividades de adaptabilidad. La adaptabilidad organizacional está inmersa en la definición constante de los objetivos, procesos, estructuras y demás elementos de la *agenda de la organización* descritos en la Figura 3.21.

3.5.2. Lineamientos para la caracterización de organizaciones sociales en cadenas de suministro

De acuerdo con las descripciones mencionadas en la sección anterior es posible definir un listado de lineamientos que pueden dirigir el proceso de caracterización de las organizaciones sociales vinculadas a una cadena de suministro.

Para este ejercicio es de gran ayuda la caracterización visual representada en la Figura 3.22, la cual, de manera intencional se diagrama emulando la forma de un organismo unicelular, con “vectores rojos” que representan los elementos (energía) que consume el organismo para sobrevivir, el “vector azul” representa los productos devueltos al ambiente y el “vector amarillo” que representa la información captada del entorno. Adicionalmente con los “vectores verdes”, se representan los flujos internos de información y energía entre los componentes del “organismo social”. Teniendo en cuenta estos elementos, en la conceptualización de organizaciones sociales se deben seguir los siguientes lineamientos:

1. Dado que los procesos principales de la organización son los más fáciles de identificar, el *subsistema de producción* es un buen punto de partida. Se deben listar a nivel global las actividades productivas identificadas, siendo estas aquellas que involucran la transformación de materiales y/o información, mediante el uso de

fuerza laboral humana o mecánica automatizada y cuyo resultado es un producto identificable. Tomando como punto de partida la arquitectura de una cadena de suministro, en esta conceptualización se debe prestar especial énfasis en los nodos que cumplen el rol de “fábrica”.

2. Tomando como punto de partida el resultado del punto anterior, se lista el conjunto de actividades que hace posible que los materiales y/o información usados en los procesos de transformación sean introducidos a la estructura organizacional, iniciando la caracterización del *subsistema de apoyo*. En este subsistema también se incluyen las actividades mediante las cuales los productos terminados, subproductos y desechos (energía en general) son despachados al ambiente externo de la organización. En este punto es importante vislumbrar los límites que se van a considerar para la estructura social analizada; pues ayudará a diferenciar cuándo los productos son movilizados al interior o al exterior de la organización. En los que respecta a la arquitectura de la cadena de suministro, aquí se incluyen las actividades propias de ventas (marketing), de los nodos con rol de “proveedor” y distribuidor (para las operaciones logísticas al interior de la organización, se aconseja que sean consideradas como parte del *subsistema de producción*, pues son desplazamientos que hacen parte de la transformación de materiales y suministros).
3. La caracterización obtenida hasta este punto contiene los elementos de tarea principal o “icónicos” de la organización; sin embargo, su funcionamiento normal depende generalmente del resultado de un conjunto e actividades adicionales que sustentan su *modus operandi*. Las actividades de captación y entrenamiento del personal técnico, son ejemplos típicos que forman el *subsistema de mantenimiento*. También se involucran actividades de manutención, adquisición, sustento y adecuación de maquinaria espacios físicos y demás elementos materiales en los que se desenvuelve la organización social. Este subsistema se relaciona permanentemente con el entorno, acaparando elementos (energía) y contribuyendo con el crecimiento de la organización. En las empresas y cadenas de suministro asociadas es común encontrar algunas de estas actividades tercerizadas por lo que se desmerita su importancia. El enfoque funcionalista aquí abordado ayuda

a vislumbrar su importancia y los beneficios que se pueden obtener de su optimización y automatización. Aquí estarán incluidos los procedimientos mediante los cuales se crean nuevas alianzas con proveedores y en sí mismo el análisis enfocado en la diversificación de fuentes de materiales e insumos.

4. El siguiente conjunto de actividades a considerar, son aquellas involucradas con la dirección y la toma de decisiones: *subsistema gerencial*. Su origen generalmente esta en los procedimientos directivos y estratégicos, sin embargo, aquí es importante no dejar por fuera las actividades operativas que tienen poder de dirección y re-organización. Estas actividades se sitúan a lo largo de las líneas de mando de las empresas y en lo que respecta a las cadenas de suministro se deben incluir también los procedimientos habituales de gerencia que afectan su configuración, arquitectura, niveles de servicio, capacidad de nodos y demás características de su funcionamiento.
5. Las actividades del *subsistema de adaptación* suelen presentar una complejidad adicional al momento de caracterizar las organizaciones sociales, debido a que provienen de procedimientos pobremente definidos o en algunas ocasiones inexistentes. Un indicador claro de que las actividades son ejecutadas periódicamente es la permanencia “integral” de la organización en el tiempo. Las actividades de adaptación permiten la supervivencia de la estructura social y determinan la forma como responde a los cambios del entorno. Pueden corresponder a eventos anuales en los que la junta directiva decide el rumbo de las estructuras organizacionales para periodos posteriores, pero también puede estar relacionada con hábitos mundanos de gerentes locales, que regularmente se basan en noticias de prensa para anticipar y tomar sus decisiones. En este sentido, la conceptualización bajo la perspectiva funcionalista de Katz brinda la ventaja de permitir al analista identificar o dado el caso, definir este tipo de actividades. Para las cadenas de suministro, en este subsistema se debe dirigir la atención a procedimientos mediante los cuales la organización obtiene información de entidades externas, por ejemplo referente a la sostenibilidad, a las tendencias de consumo, las regulaciones legales, comportamiento de la demanda y similares, así como la disposición de dicha información (dónde se almacena y a quién se transmite

internamente).

3.6. Ampliación del Framework Go-Green Anemona

La capacidad de abstracción de los paradigmas holónicos y basados en agentes permiten abordar bajo los mismos meta-conceptos aspectos tan complejos como el modelado organizacional y las cadenas de suministro. Haciendo uso de esta ventaja a continuación se detallan las modificaciones propuestas sobre los componentes del *Framework* con el fin de dotarlo con las herramientas necesarias para incluir dentro de su alcance la caracterización de cadenas de suministro con enfoque de sostenibilidad ambiental.

3.6.1. Alcance

Con el nuevo alcance el *Framework* contiene un conjunto de herramientas útiles para la caracterización de cadenas de suministro inteligentes (y los sistemas de manufactura inmersos) con miras a la automatización de procesos productivos, logísticos, gerenciales y administrativos mediante el desarrollo de sistemas de información y/o de control empresariales encaminados a cumplir los requisitos de la I4.0, con especial énfasis en garantizar la sostenibilidad de su funcionamiento.

Bajo este alcance el *Framework* pasa a nombrarse *Smart Supply Chain Anemona - SSC-Anemona*, para guardar la correspondencia y encapsular en el mismo los alcances precedentes.

3.6.2. Herramientas adicionales

Con el fin de soportar el alcance propuesto, adicional a los elementos y herramientas ya dispuestos en Go-Green Anemona mencionados en la sección 3.2, se incluyen también:

- **El esquema de evaluación de sostenibilidad en cadenas de suministro**, descrito en la sección 2.5.5, mediante el cual es posible generar un indicador cuantitativo desagregado sobre los procesos y productos vinculados de acuerdo con el

entorno de operación.

- Los **requerimientos necesarios para soportar y mantener el esquema de evaluación**, definidos en la Sección 2.6.2.
- Los **lineamientos para la caracterización de organizaciones sociales en cadenas de suministro**, descrito en la sección 3.5.2, el cual facilita la caracterización de las estructuras funcionales inmersas en los entornos sociales, contribuyendo la identificación de procedimientos automatizables.
- Una **lista de verificación para determinar el nivel de madurez de cadenas de suministro** frente a la iniciativa I4.0, incluida en la sección 3.3.3 de este documento.
- Una **Hoja de Formas para el Software de Diagramas de Código Abierto DIA**, que añade soporte a la creación de diagramas con los elementos de notación de ANEMONA y los de la ampliación aquí propuesta, en un ambiente más ligero que el *Case-tool de Eclipse*. Pensado para los diagramas iniciales de especificación de la cadena de suministro que no usan propiedades extensas ni necesitan generación automática de código. Los detalles de la herramienta se describen en el Apéndice B.

3.6.3. Notación

A los elementos del meta-modelo de notación de Go-Green ANEMONA se agregaron algunos objetos útiles para soportar la caracterización de las cadenas de suministro. En la Figura 3.23 se muestra un fragmento con la jerarquía de las entidades agregadas y la Figura 3.24 sus iconos para notación gráfica.

Los elementos *supply-chain* y *nodo* son especializaciones de la entidad *organización* de la cual heredan todos los atributos de composición del agente abstracto. El *transporte* se considera una especialización del agente, con sus principios de autonomía orientados a objetivos concretos, en su caso de movilidad. Adicionalmente se agregan cinco especializaciones de *recurso*: *producto*, *servicio*, *entidad-material*, *entidad-abstracta* y *entidad-conceptual*; mediante las cuales se da soporte a la caracterización de restricciones ambientales y operativas en las cadenas de suministro, bajo los esquemas descritos

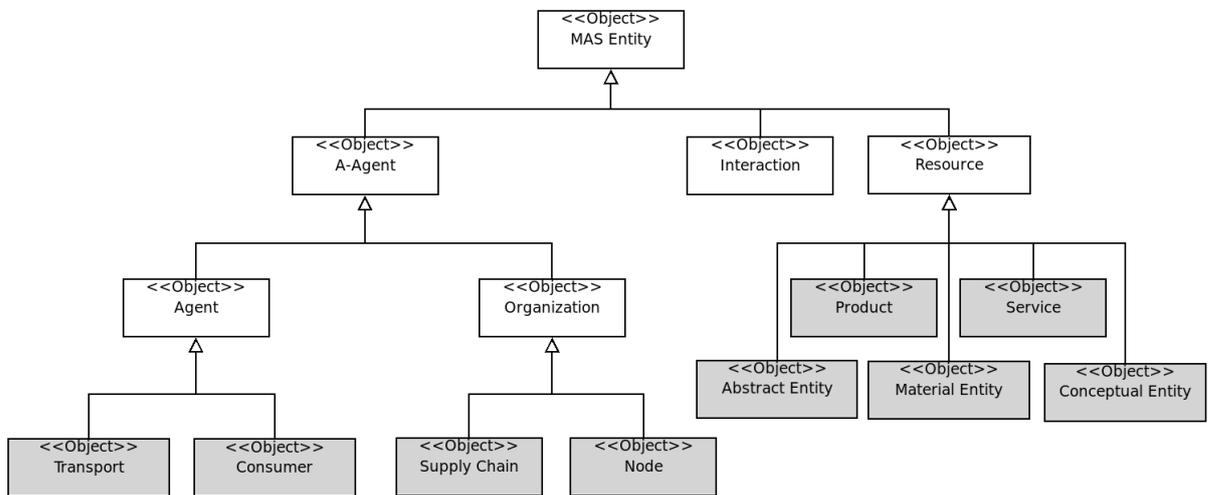


Figura 3.23: Segmento del meta-modelo con entidades de notación para cadenas de suministro

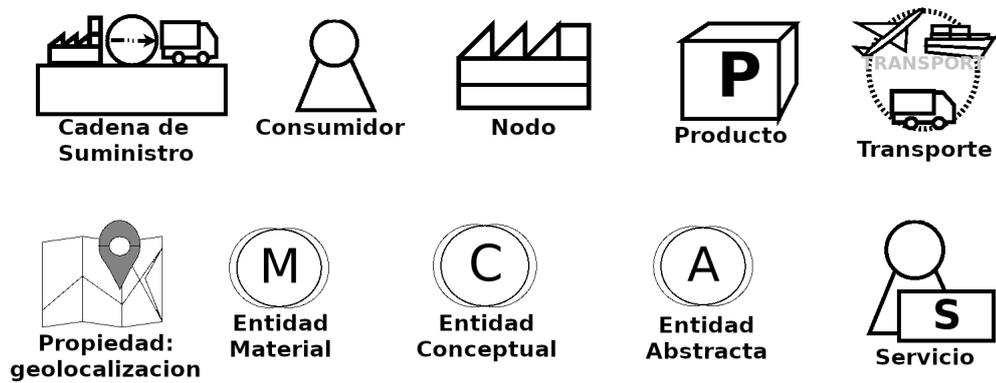


Figura 3.24: Iconos para notación gráfica de entidades para cadenas de suministro

en este trabajo (ver Sección 2.4). Se adiciona también un icono que útil para visualizar propiedades de geolocalización.

3.6.4. Proceso de desarrollo

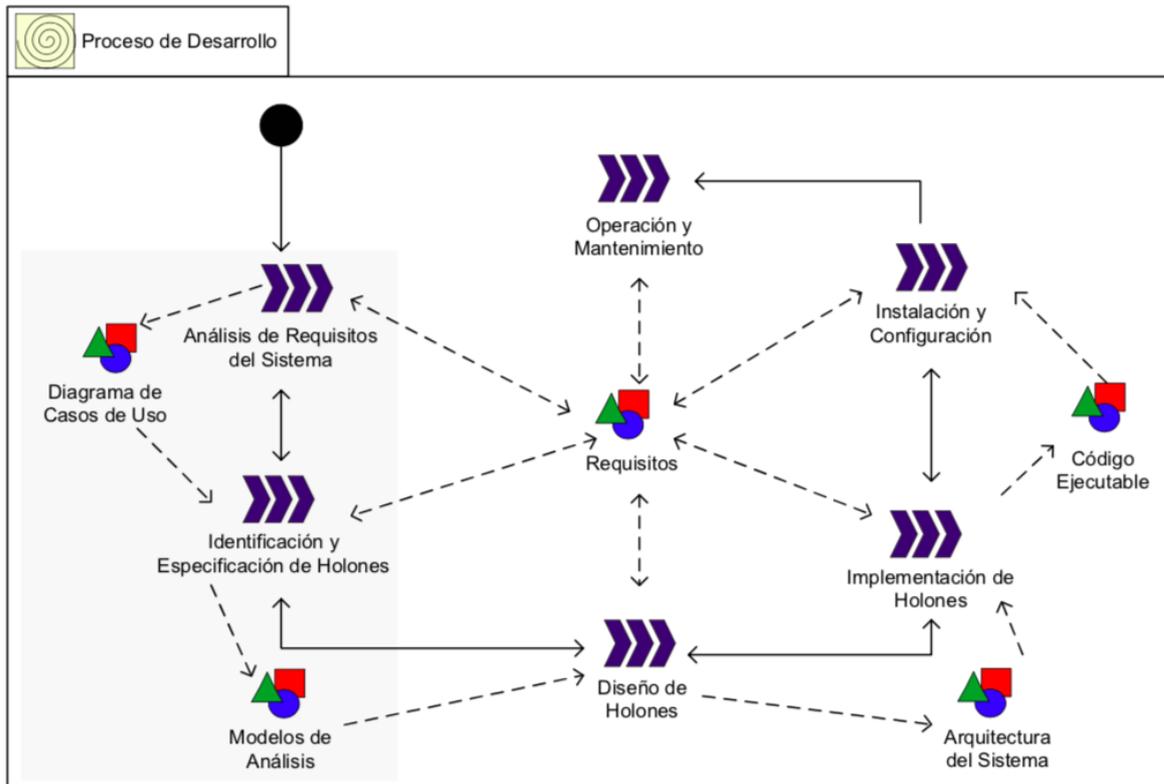


Figura 3.25: Proceso de desarrollo de Go-Green-Anemona (Tomado de [42])

Se mantienen las fases del proceso de desarrollo de Go-Green Anemona (Figura 3.25). Se incluyen, sin embargo, pasos necesarios para la caracterización de la cadena de suministro en la Fase de *Análisis de Requerimientos* y para la conceptualización del entorno social mediante los lineamientos de la sección 3.5.2 en la Fase de *Identificación y Especificación de Holones*.

Modificaciones en Etapa de Análisis de Requerimientos del Sistema

Como se menciona en la sección 3.25, en el documento de requisitos se debe describir la especificación de los requisitos del sistema a implementar. Con el fin de contar con una conceptualización de la cadena de suministro en este documento se adiciona la necesidad de su especificación siguiendo el siguiente procedimiento:

■ Paso Adicional: Especificar Arquitectura de la Cadena de Suministro

Siguiendo el procedimiento conceptual básico descrito en la Sección 3.3, se caracteriza mediante un diagrama la arquitectura de la cadena de suministro objeto de estudio. El diagrama puede estar basado sobre una cadena existente o un proyecto futuro. El procedimiento consta de lo siguiente:

1. **Identificar consumidor objetivo:** Usando iconos de *consumidor* y *geolocalización* se definen las ubicaciones donde se sitúan los clientes finales de la cadena de suministro.
2. **Ubicación de nodos:** Mediante los iconos de *nodo* y *geolocalización* se diagrama la ubicación (real o proyectada) de los nodos de la red base de la cadena de suministro.
3. **Caracterización de nodos:** Mediante etiquetas de restricción, se diagrama los niveles de servicio y capacidad de cada nodo aplicando de ser necesario algoritmos de optimización a conveniencia.
4. **Caracterización de costos:** En las mismas etiquetas de restricción del paso anterior, se especifican los costos de operación relevantes a cada nodo.
5. **Caracterización de costos por producto:** Usando el icono de *producto* y etiquetas de restricción, sobre cada nodo caracterizado en que corresponda, se especifican los costos de tránsito por producto.
6. **Especificar rol de los nodos:** Mediante el icono de rol, diagramar el rol que cumple cada nodo en la cadena de suministro. Para los nodos de fabricación se creó un icono especial que ayuda a encapsular esta relación.
7. **Agregar medios de transporte:** Usando el icono de transporte, identificar los medios y costos asociados con el traslado de productos entre los nodos de la cadena de suministro.
8. **Caracterización del entorno: Recursos Naturales:** Usando iconos de *recurso* y *geolocalización*, diagramar los recursos naturales asociados a la cadena de suministro.
9. **Caracterización del entorno: Entidades Materiales, Abstractas y Conceptuales:** Usando los iconos respectivos, se diagrama las entidades materiales,

abstractas y conceptuales que componen las dimensiones de la sostenibilidad y sobre los cuales existe algún tipo de afectación o influencia en la operación de la cadena de suministro.

El diagrama de “*arquitectura base*” resultante tras ejecutar este procedimiento es insumo en la especificación del *Modelo de Agentes*, así como el de *Interacción y Entorno*. Teniendo en cuenta también la caracterización organizacional que se adiciona en etapas posteriores y los requerimientos de la Sección 2.6.2, antes de continuar a la siguiente Fase el documento de requerimientos debe contar con los siguientes elementos:

1. Caracterización de la cadena de suministro asociada al sistema de información que se desea implementar.
2. Listado de roles, valores y normas aplicables a nivel general sobre la cadena de suministro.
3. Organigrama de los departamentos de las empresas, instituciones o sedes involucradas en la cadena de producción y suministro, incluyendo la descripción funcional de los departamentos, sus relaciones de poder e interacciones.
4. Descripción de los procesos de suministro de la cadena de suministro y de los procesos de negocio de las empresas, instituciones o sedes involucradas.
5. Especificación del alcance del sistema que se desea desarrollar, que incluye los procesos actuales que se pretende automatizar, los procesos nuevos a incorporar y su interacción con los procesos de suministro y fabricación.
6. Especificación de los procesos de suministro de la cadena que deben ser controlados incluyendo la descripción de sistemas/aplicaciones ERP (*Enterprise Relationship Management Systems*) y/o CRM (*Customer Relationship Management Systems*) disponibles.
7. Especificación de los procesos de negocio del sistema de fabricación que deben ser controlados incluyendo las interfaces de control disponibles.
8. Especificación de las condiciones de operación de la cadena de producción y suministro.

9. Especificación de los objetivos y requisitos iniciales de producción y suministro.

Modificaciones en Etapa de Identificación y Especificación de Holones

La etapa de Análisis se modifica con el fin de incluir la conceptualización del entorno social mediante los lineamientos de la sección 3.5.2. Aprovechando la naturaleza iterativa de esta Fase, establece el nivel de agregación (holigarquía) a considerar para que mediante su desagregación se llegue a los niveles atómicos suficientes para satisfacer los requerimientos de implementación del sistema holónico a implementar.

■ Paso Inicial Adicional: Caracterización social

Este paso se ejecuta en cada iteración que incluya una organización social considerablemente compleja al nivel holigárquico abordado. Teniendo como ayuda visual el diagrama de “*arquitectura base*” y usando los lineamientos de caracterización de organizaciones sociales en cadenas de suministro, se detalla la respectiva especificación funcional con diagramas de *Tarea/Objetivo*, *Interacción* y *Organización* definiendo las estructuras sociales de la cadena de suministro.

1. Mediante listados en lenguaje natural, se identifican generalizaciones que definen a sus integrantes (por ejemplo: empleado, directivo, accionista, sindicato, etc.), los roles sociales y funcionales, las normas culturales, regionales e internas y los valores inmersos en la organización social abordada y se consideren relevantes para la implementación.
2. Se caracteriza el subsistema social de producción de acuerdo con los lineamientos.
3. Se caracteriza el subsistema social de apoyo de acuerdo con los lineamientos.
4. Se caracteriza el subsistema social de mantenimiento de acuerdo con los lineamientos.
5. Se caracteriza el subsistema gerencial de acuerdo con los lineamientos.
6. Se caracteriza el subsistema social de adaptación de acuerdo con los lineamientos.

Al finalizar este paso, se cuenta con las perspectivas de Tareas, Interacción y Organización para el respectivo nivel holigárquico.

■ **Consideraciones adicionales en Paso: Identificar Holónes**

1. El diagrama de “*arquitectura base*” de la cadena de suministro es insumo en la especificación del *Modelo de Agentes* para los niveles de abstracción más generales.
2. Se debe definir un *Go-Green Holon* al nivel holigárquico más general que pondere periódicamente la puntuación de sostenibilidad de la cadena de suministro de acuerdo con el esquema descrito en la Sección 2.6.
3. Todos los Holónes provenientes de los subsistemas sociales de *Apoyo, Mantenimiento y Adaptación*, deben ser configurados como *Go-Green Holons* pues su funcionalidad esta relacionada con el entorno e inexorablemente involucrado con las dimensiones de la sostenibilidad.
4. Siguiendo los *lineamientos de sostenibilidad* de Go-green Anemona [43], se debe definir un escenario de cooperación para que los *Go-Green Holons* puedan evaluar periódicamente los indicadores relacionados al puntaje de sostenibilidad.

- **Consideraciones adicionales en Paso: Especificar Relaciones con el Entorno** En la especificación del *Modelo de entorno* se debe tener especial consideración con los recursos y entidades definidas sobre la “*arquitectura base*” de la cadena de suministro, pues definen los elementos sobre los cuales se debe recolectar información del medio.

Modificaciones en Etapa de Diseño

- **Paso Adicional: Evaluar madurez de la cadena** Usando la “*lista de verificación para determinar el nivel de madurez de cadenas de suministro*”, evaluar que los elementos definidos para los sistemas tecnológicos y de información la sitúen en el nivel de madurez deseado. En caso que no se cumpla con las expectativas de automatización deseadas, se debe considerar volver a la etapa anterior o agregar las funcionalidades necesarias durante el *Refinamiento de Holones*.

El resto de la metodología de desarrollo de Go-Green Anemona se adopta sin alteraciones, pues los procesos iterativos y sistemáticos permiten abordar los diferentes niveles de abstracción resultantes de la ampliación aquí propuesta. Con estas modificaciones y los elementos definidos en el Framework ANEMONA y Go-Green Anemona, se establece la ampliación “SSC-Anemona”.

3.7. Ejemplo de Implementación de SSC-ANEMONA

Debido a limitaciones de tiempo y recursos en la ejecución de este proyecto, se dificulta la inclusión de un caso de estudio completo que de pie a la verificación de todos los elementos del *Framework* resultante. Sin embargo, mediante un ejemplo hipotético creado a partir de datos reales extraídos de trabajos publicados por el departamento de Organización de Empresas de la UPV, en la presente sección se describen dos elementos clave de la metodología de desarrollo propuestos en la ampliación: “Especificar arquitectura de la cadena de suministro” y el “Esquema de evaluación de sostenibilidad en cadenas de suministro”.

Se toma como punto de partida el segmento de cadena de suministro caracterizado en [73], de una compañía productora y comercializadora de componentes electrónicos. El segmento analizado comprende el flujo de suministros entre dos sedes: Una ubicada en Meliana, Valencia, España y un subcontratista ubicado en Túnez. Se escoge como ejemplo por contener elementos significativos para la evaluación de los procedimientos y herramientas propuestas en la ampliación, además de información de origen académico con libre acceso en los repositorios de la UPV.

3.7.1. Especificar Arquitectura de la Cadena de Suministro

Siguiendo el procedimiento conceptual básico (Sección 3.6.4) y usando notación SSC-Anemona, se obtiene la caracterización de la cadena de suministro que se muestra en la Figura 3.26.

El caso de estudio abordado consiste en un segmento de la cadena de suministro de una empresa que se dedica a la fabricación y suministro de diferenciales eléctricos. Una fábrica ubicada en Meliana, Valencia, España, fabrica los elementos componen-

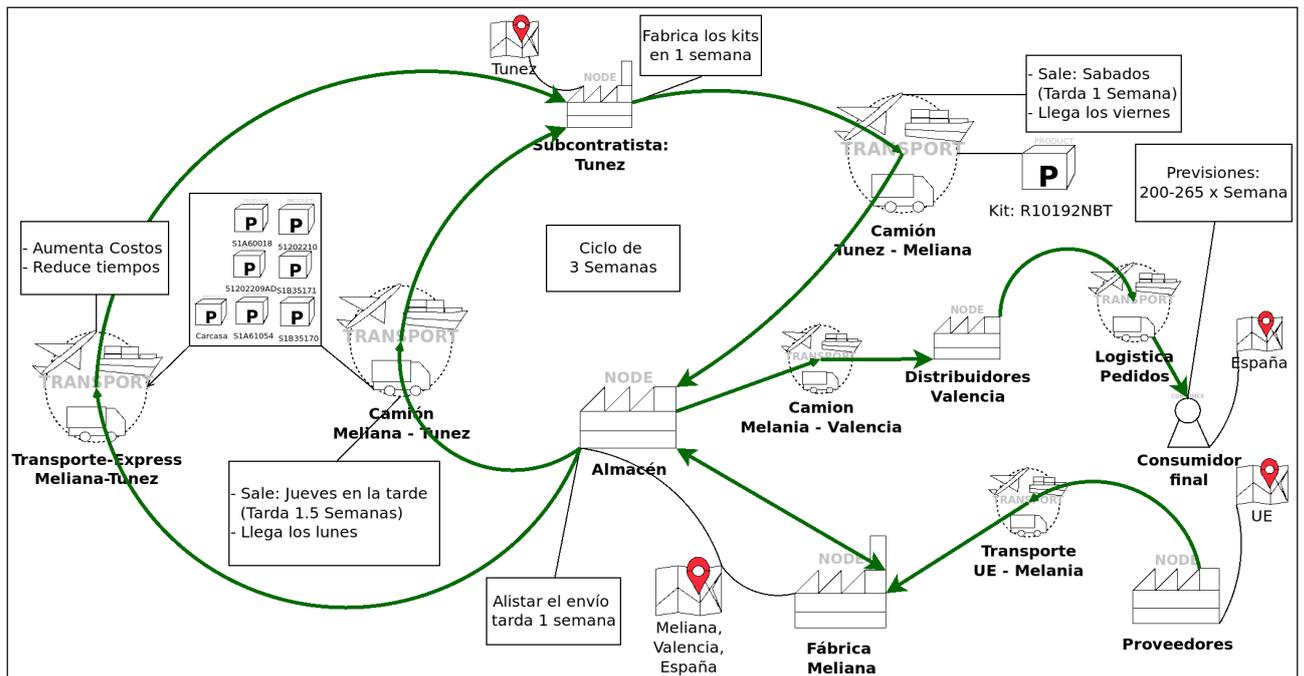


Figura 3.26: Caracterización de la cadena de suministro con notación SSC-Anemona

tes que luego son enviados a un subcontratista en la ciudad de Túnez, Túnez para ser ensamblados y devueltos a Meliana. El producto ensamblado se denomina “Kit” y las partes que lo componen “elementos”, cada uno cuenta con un número de referencia. En la Figura 3.26 se incluyeron los elementos del “Kit” R10192NBT como ejemplo de caracterización. En la vía Meliana-Túnez viajan los componentes y de regreso el kit correspondiente. La fábrica de Meliana se caracteriza con dos nodos, para destacar sus roles de “fábrica” y “almacén”, mientras que el contratista de Túnez se describe como un solo nodo industrial. En el diagrama se plasman las restricciones del documento fuente [73] y los medios de transporte allí identificados como “Camiones” y “Transporte-Express”. A pesar que no se cuenta con información referente a las actividades de distribución precedentes ni posteriores, para efectos de ejemplificación se supondrá que los productos resultantes son comercializados en el territorio Español y que los proveedores de suministros de fabricación provienen de la Unión Europea.

Las Figuras 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32 muestran la caracterización de los elementos de sostenibilidad identificados en el entorno de la cadena.

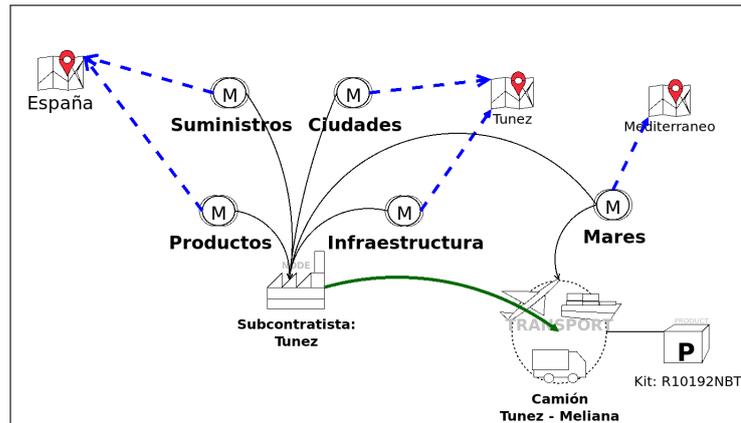


Figura 3.27: Entidades Materiales de Sostenibilidad: Nodo Subcontratista Túnez

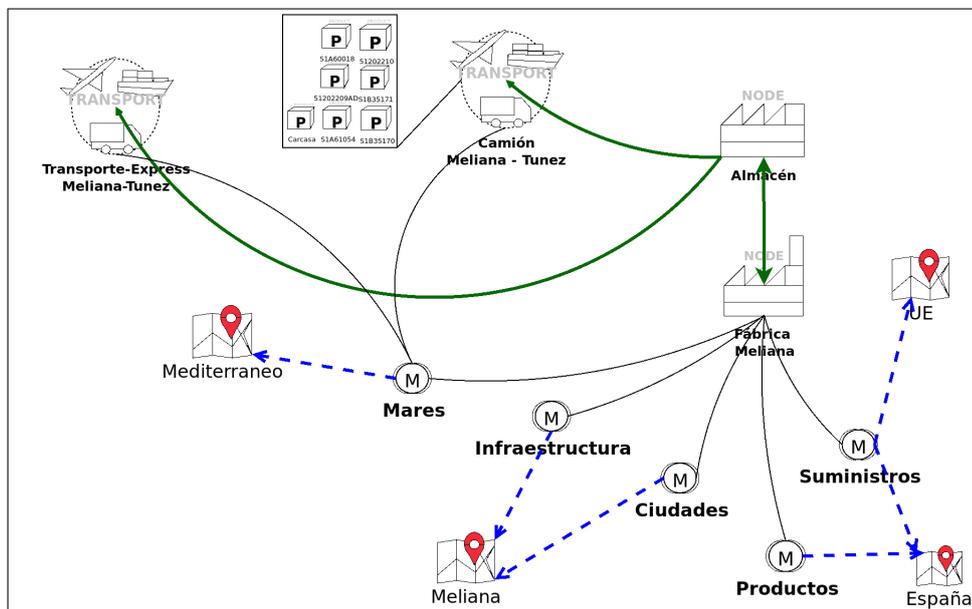


Figura 3.28: Entidades Materiales de Sostenibilidad: Nodo Fabrica Meliana

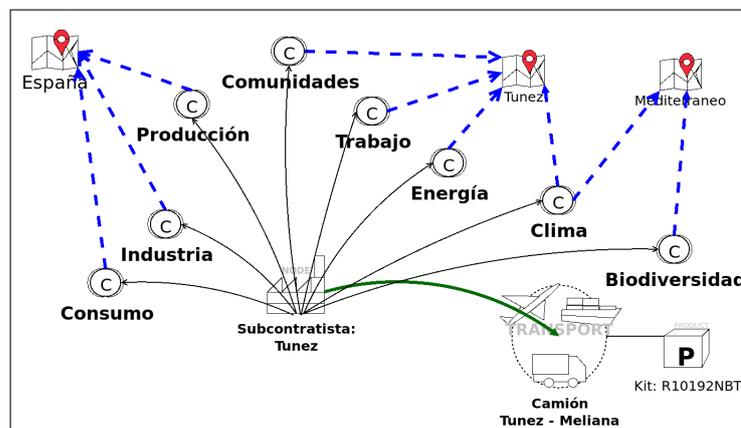


Figura 3.29: Entidades Conceptuales de Sostenibilidad: Nodo Subcontratista Túnez

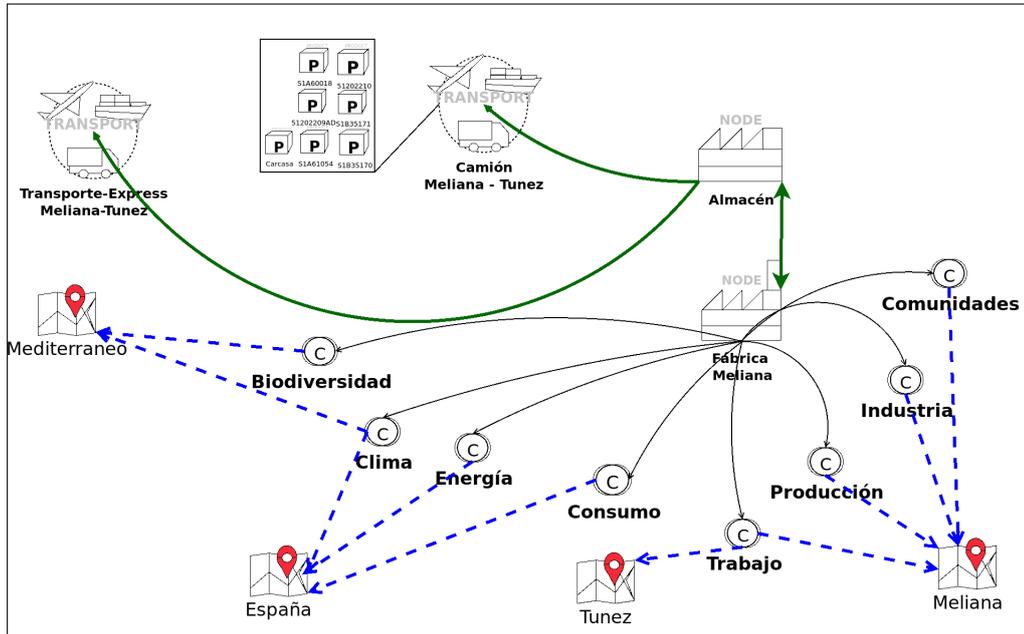


Figura 3.30: Entidades Conceptuales de Sostenibilidad: Nodo Fabrica Meliana

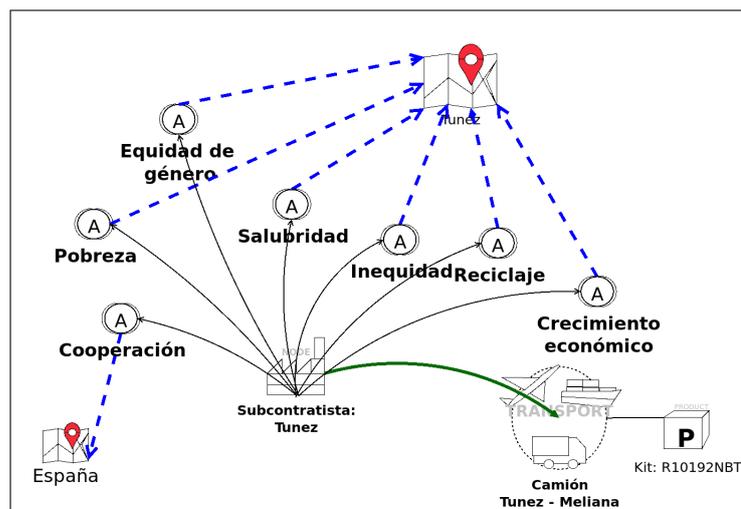


Figura 3.31: Entidades Abstractas de Sostenibilidad: Nodo Subcontratista Túnez

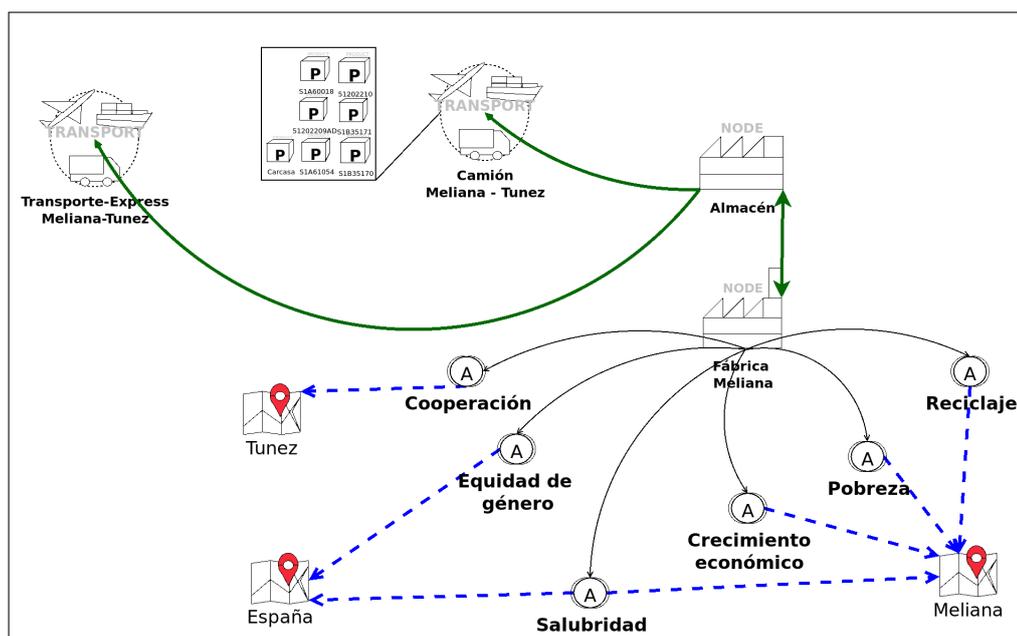


Figura 3.32: Entidades Abstractas de Sostenibilidad: Nodo Fabrica Meliana

3.7.2. Esquema de evaluación de sostenibilidad en cadenas de Suministro

El mapa de entorno generado con notación SSC-Anemona en la sección anterior, facilita la identificación de los elementos de la sostenibilidad involucrados en las actividades de suministro y su relación con las regiones de operación. El entorno de afectación de la cadena de suministro se ubica específicamente en Europa, España, el Mediterráneo y Túnez, en África del norte. En este punto es importante destacar la importancia de los requisitos que aseguran la veracidad de la información que respalda el cálculo de los indicadores. El ejemplo aquí abordado permite sentar una base con la cual demostrar la utilidad del esquema de evaluación propuesto, pero tener en cuenta que la información y supuestos usados no son 100 % verificables.

Cálculo de Ponderaciones

Como se menciona en la sección 2.6.3, los indicadores se deben calcular tomando en cuenta la influencia sobre la región de comercialización. Una estrategia válida para evitar tener que recalcular 194 veces (número de países actualmente reconocidos del mundo), es fijar regiones macro que compartan legislaciones hegemónicas o cuya re-

lación con la cadena de suministro analizada sea equivalente. Para el caso de ejemplo, dado el entorno de afectación identificado, se establecen tres macro-regiones: (1) Unión Europea (UE) (2) Túnez (TUN) y (3) resto del mundo (WRLD). En la Tabla 3.2 se detalla el cálculo específico para la región (1) Unión Europea y en la Tabla 3.3, se presentan los ponderados calculados para las 3 regiones.

Tabla 3.2: Cálculo de puntajes consolidados por dimensión de sostenibilidad sobre macro-región: Unión Europea

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Concept.	✓	✗	Pg_n
#1				Pobreza	-	-				0
$\sum SGD_1$	\hat{E}_{gn}^+			+			+	0		
	\hat{E}_{gn}^-			+		0	+			
#2	Alimentos	-	-	Hambre	-	-				0
$\sum SGD_2$	\hat{E}_{gn}^+	0		+	0		+			
	\hat{E}_{gn}^-		0	+	0		+			
#3				Bienestar	✓					+2
				Salubridad	✓					
$\sum SGD_3$	\hat{E}_{gn}^+			+	2		+			
	\hat{E}_{gn}^-			+	0		+			
#4	Instituciones Educativas	-	-				Educación	-	-	0
$\sum SGD_4$	\hat{E}_{gn}^+	0		+			+	0		
	\hat{E}_{gn}^-		0	+			+		0	
#5				Equidad de género	-	-				0
$\sum SGD_5$	\hat{E}_{gn}^+			+	0		+			
	\hat{E}_{gn}^-			+	0		+			
#6	Agua	-	-							0
$\sum SGD_6$	\hat{E}_{gn}^+	0		+			+			
Continúa en siguiente página										

Tabla 3.2 viene de página anterior

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Concept.	✓	✗	Pg_n
	\hat{E}_{gn}^-		0	+			+			
#7							Energía	-	-	0
$\sum SGD_7$	\hat{E}_{gn}^+			+			+	0		
	\hat{E}_{gn}^-			+			+		0	
#8				Crecimiento económico	✓		Trabajo	✓		+2
$\sum SGD_8$	\hat{E}_{gn}^+			+	1		+	1		
	\hat{E}_{gn}^-			+	0		+		0	
#9	Infraestructura	✓		Innovación	-	-	Industria		✗	-1
$\sum SGD_9$	\hat{E}_{gn}^+	1		+	0		+	0		
	\hat{E}_{gn}^-		0	+	0		+		1	
#10				Inequidad		✗				-2
$\sum SGD_{10}$	\hat{E}_{gn}^+			+	0		+			
	\hat{E}_{gn}^-			+	1		+			
#11	Ciudades	-	-				Comunidades	✓		+1
$\sum SGD_{11}$	\hat{E}_{gn}^+	0		+			+	1		
	\hat{E}_{gn}^-		0	+			+		0	
#12	Productos y Suministros		✗	Reciclaje		✗	Producción	-	-	-4
$\sum SGD_{12}$	\hat{E}_{gn}^+	0		+	0		+	0		
	\hat{E}_{gn}^-		1	+	1		+		0	
#13							Clima	✓		+1
$\sum SGD_{13}$	\hat{E}_{gn}^+			+			+	1		
	\hat{E}_{gn}^-			+			+		0	
#14	Océanos y Mares		✗							-2

Continua en siguiente página

Tabla 3.2 viene de página anterior

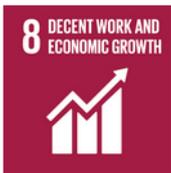
SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Concept.	✓	✗	Pg_n
	Ríos y Fuentes Hídricas	–	–							
$\sum SGD_{14}$	\hat{E}_{gn}^+	0		+			+			
	\hat{E}_{gn}^-		1	+			+			
#15	Animales	–	–				Biodiversidad	–	–	0
	Bósques y Ecosistemas biológicos	–	–							
$\sum SGD_{15}$	\hat{E}_{gn}^+	0		+			+	0		
	\hat{E}_{gn}^-		0	+			+		0	
#16				Justicia	–	–	Instituciones	✓		+1
				Paz	–	–				
$\sum SGD_{16}$	\hat{E}_{gn}^+			+	0		+	1		
	\hat{E}_{gn}^-			+	0		+		0	
#17				Cooperación	–	–				0
$\sum SGD_{17}$	\hat{E}_{gn}^+			+	0		+			
	\hat{E}_{gn}^-			+	0		+			

Tabla 3.3: Puntaje ponderado de las dimensiones de sostenibilidad por macro-región

SGD*	UE		TUN		WRLD	
	Wn	Pgn	Wn	Pgn	Wn	Pgn
	10	0	10	0	10	0
Continúa en siguiente página						

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 3.3 viene de página anterior

SGD*	UE		TUN		WRLD	
	Wn	Pgn	Wn	Pgn	Wn	Pgn
	10	0	10	0	10	0
	10	+2	10	+2	10	0
	10	0	10	0	10	0
	10	0	10	0	10	0
	10	0	10	0	10	0
	10	0	10	0	10	0
	10	+2	10	+1	10	0
Continúa en siguiente página						

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 3.3 viene de página anterior

SGD*	UE		TUN		WRLD	
	Wn	Pgn	Wn	Pgn	Wn	Pgn
	10	-1	10	-2	10	0
	10	-2	10	-2	10	0
	10	+1	10	+1	10	0
	10	-4	10	-2	10	-3
	10	+1	10	+1	10	+1
	10	-2	10	-2	10	-2
	10	0	10	0	10	0
Continua en siguiente página						

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 3.3 viene de página anterior

SGD*	UE		TUN		WRLD	
	Wn	Pgn	Wn	Pgn	Wn	Pgn
	10	+1	10	0	10	+1
	10	0	10	0	10	0
PT	-20		-30		-30	

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

A partir de las ponderaciones obtenidas, se calcula el puntaje total (P_T) sobre la respectiva región. Se asignó un peso (W_n) de “10” arbitrariamente, cuya utilidad se describe en la siguiente desagregación.

Cálculo de Totales Ponderados por Región

Los totales ponderados sobre macro-regiones, ofrecen una perspectiva útil; al consumidor le permite identificar en qué se focalizan los esfuerzos de sostenibilidad en la cadena de suministro del producto que adquiere desde una perspectiva general; al empresario le deja ver las dimensiones sobre las cuales debe enfocar su atención para impulsar la sostenibilidad integralmente en su compañía y las cadenas de suministro en las que participa.

La ponderación sobre regiones más específicas puede generarse a partir de una “general” (o al revés), variando los pesos de acuerdo con características específicas. En la Tabla 3.4 se detalla una posible variación en este sentido, calculando “Puntajes-Totales” para tres países de la Unión Europea: Francia, Italia y España. Para el caso de Francia (FRA), se considera que la empresa que fabrica los componentes eléctricos tiene su casa matriz en dicho país, por lo cual guarda una relación comercial más cercana con la cadena de suministro. Para Italia (ITA) se considera que la cadena de suministro

opera sobre el Mar Mediterráneo, por lo que las afectaciones de este entorno tienen una mayor incidencia sobre la región que las de índole comercial. Para España (ESP) se tiene en cuenta que gran parte de la operación de la cadena tiene lugar en su territorio. Con esto en mente, la modificación de los pesos se realiza siguiendo la siguiente lógica:

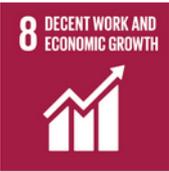
“Se modifican los pesos fijando el nivel de afectación que tiene la cadena de suministro en la región, para la dimensión de sostenibilidad correspondiente, siendo cero (0) ninguna afectación y diez (10) el mayor nivel de afectación.”

Tabla 3.4: Puntaje ponderado de las dimensiones de sostenibilidad para regiones específicas

SGD*	UE		FRA		ITA		ESP	
	W_n	Pg_n	W_n	W_nPg_n	W_n	W_nPg_n	W_n	W_nPg_n
	10	0	6	0	7	0	10	0
	10	0	7	0	8	0	10	0
	10	+2	8	+16	5	+10	10	+20
	10	0	6	0	6	0	10	0
	10	0	5	0	5	0	10	0
Continúa en siguiente página								

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 3.4 viene de página anterior

SGD*	UE		FRA		ITA		ESP	
	W_n	Pg_n	W_n	W_nPg_n	W_n	W_nPg_n	W_n	W_nPg_n
	10	0	7	0	9	0	10	0
	10	0	8	0	9	0	10	0
	10	+2	9	+18	5	+10	10	+20
	10	-1	5	-5	5	-5	10	-10
	10	-2	8	-16	8	-16	10	-20
	10	+1	5	+5	5	+5	10	+10
	10	-4	7	-28	7	-28	10	-40
Continúa en siguiente página								

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla 3.4 viene de página anterior

SGD*	UE		FRA		ITA		ESP	
	W_n	Pg_n	W_n	W_nPg_n	W_n	W_nPg_n	W_n	W_nPg_n
	10	+1	9	+9	9	+9	10	+10
	10	-2	8	-16	10	-20	10	-20
	10	0	8	0	8	0	10	0
	10	+1	8	+8	8	+8	10	+10
	10	0	9	0	5	0	10	0
PT	-20		-9		-27		-20	

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Análisis de los resultados obtenidos

Tras calcular los puntajes totales de sostenibilidad para cada una de las regiones hipotéticas de comercialización (FRA, ITL, ESP), teniendo en cuenta la información contenida en el trabajo original [73] y otras fuentes públicas no oficiales, de prensa e Internet, se obtienen los puntajes totales de la Tabla 3.4 y presentados con el esquema de *slots* en la Tabla 3.5.

Los puntajes muestran que la cadena de suministro incurre en faltas a la soste-

UE-20	FRA-9	ITA-27	ESP-20
-------	-------	--------	--------

Tabla 3.5: Presentación de puntajes con esquema de *slots*

nibilidad, a pesar que las empresas participantes tienen varias iniciativas positivas en este sentido. Los principales objetivos que se ven afectados están relacionados con las políticas de subcontratación. Existe una generación importante de emisiones generadas por el tránsito de componentes entre Valencia, España y Túnez. El tránsito regular además incluye transporte marítimo sobre el mediterráneo, lo cual contribuye a poner en peligro la vida bajo el Agua (Objetivo 14). Los productos fabricados contienen materiales plásticos, los cuales no son 100 % reciclados (a pesar que la empresa anuncia estar incorporando plásticos reciclados en su cadena de producción), adicionalmente estos componentes plásticos son enviados a Túnez, una ciudad que no cuenta con programas fuertes de reciclaje, por lo que los residuos generados en el proceso de ensamble seguramente terminan en rellenos sanitarios; esto afecta el Objetivo 12 (Garantizar patrones de consumo y producción responsable), pues no es una práctica de producción responsable. Aunque no se cuenta con información verificable sobre la nómina de los empleados del sub-contratista, dada la diferencia entre el salario mínimo legal en Túnez con el de España o Francia, es lógico suponer que sus sueldos están muy por debajo de los trabajadores de Valencia, siendo esta la razón por la cual los “Kits” no son ensamblados en España. Esto afecta el Objetivo 10 “Reducción de la inequidad” y al mismo tiempo el Objetivo 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), pues no se puede considerar “industria sostenible” aprovechar la situación social desfavorable de otros países para abaratar costos de producción y menos aún, cuando al hacerlo se generan afectaciones ambientales.

Los puntajes obtenidos siguiendo la lógica de ajuste de pesos proporcional al nivel de afectación, muestran como la negatividad aumenta en regiones que no obtienen beneficios económicos ni sociales (como Italia) pero que si deben lidiar con las afecta-

ciones ambientales. En España y Francia las retribuciones sociales y económicas compensan en cierto modo las afectaciones, sin embargo, sobre ninguna región es posible considerar la configuración actual de la cadena de suministro como sostenible.

Capítulo 4

Conclusiones y Trabajo Futuro

4.0.1. Conclusiones

Mediante las herramientas y componentes adicionales presentados en la Sección 3.6 y respaldados por el análisis presentado a lo largo del documento, se definieron los elementos considerados necesarios para extender el alcance del *Framework Go-Green Anemona* a cadenas de suministro y asegurar sus niveles de sostenibilidad, cumpliendo el objetivo general del proyecto.

A pesar de no haber podido corroborar las capacidades del *framework* resultante (SSC-Anemona) mediante un caso de estudio completo, a partir de un ejemplo hipotético fundado en datos reales se demostró el potencial de las herramientas incorporadas para el análisis y caracterización de cadenas de suministro.

Respecto a los objetivos específicos:

1. Se propuso una definición del concepto de sostenibilidad generalizable al contexto de las implementaciones tecnológicas y la usabilidad de productos comerciales (Sección 2.1) y a partir de la misma se planteó un esquema de evaluación que permite determinar de forma concisa el nivel de sostenibilidad de una cadena de suministro (Sección 2.6).
2. Respecto a los paradigmas holónicos y multiagentes se encontró que su potencial analítico permite abordar con las mismas herramientas metodológicas, la complejidad en diferentes niveles de abstracción. En el caso concreto de estudio de este trabajo, esto permitió que el esquema iterativo de la metodología de desa-

rrollo de Go-Green Anemona permaneciera inalterado, siendo necesario tan sólo incorporar precisiones y lineamientos referentes al nuevo alcance. La ampliación aquí planteada, puede dar lugar al desarrollo de sistemas holónicos de gestión inteligentes que involucren la gerencia de cadenas de suministro y la automatización de procedimientos ahora sistematizados mediante plataformas ERP y CRM.

3. Los elementos descritos en la Sección 3.6 y agrupados en el Apéndice C soportan la ampliación propuesta para extender la aplicabilidad de Go-Green Anemona a cadenas de suministro.

4.0.2. Trabajo Futuro

El carácter interdisciplinar de la propuesta de ampliación contenida en este documento da lugar a posibles desarrollos, no sólo en el ámbito de las ciencias de la computación.

La definición de sostenibilidad y el esquema de evaluación consideran tres perspectivas de afectación: ejecución, uso y ciclo de vida (ver Capítulo 2). Para efectos del problema abordado en este documento se desarrolló exclusivamente lo referente a “*ejecución*” y sería interesante involucrar expertos en ingeniería ambiental e industrial en la validación y desarrollo de las perspectivas restantes para crear una metodología que sirva de referencia de sostenibilidad en ámbitos tanto comerciales como académicos, con capacidad para propiciar una regulación descentralizada sin necesidad de imposiciones legislativas complicadas.

También, con el fin de corroborar la pertinencia de las herramientas y lineamientos propuestos en la realización de este proyecto, es necesario plantear un caso de estudio sobre ambientes empresariales reales y cadenas de suministro que involucren varios nodos de fabricación.

Adicionalmente, las herramientas propuestas en este trabajo, pueden ser de utilidad en la formulación de metodologías orientadas a la creación de sistemas de sombra digital, capaces de cumplir con los requerimientos estipulados por las iniciativas que darán paso a la nueva industrialización.

Bibliografía

- [1] Apps/Dia - GNOME Wiki!
- [2] Cerco a la propaganda 'verde' — Edición impresa — EL PAÍS.
- [3] Full Report — National Climate Assessment.
- [4] Global Issues Overview — United Nations.
- [5] GTI-IA. Grupo de Tecnología Informática-Inteligencia Artificial.
- [6] ISO - ISO 14000 family — Environmental management.
- [7] Plattform Industrie 4.0 - Downloads & News.
- [8] SDGs .. Sustainable Development Knowledge Platform.
- [9] Teratogenic birth defects – Knowledge for medical students and physicians.
- [10] Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development .. Sustainable Development Knowledge Platform.
- [11] Welcome — Environmental Performance Index.
- [12] "hci and un's sustainable development goals: responsibilities, barriers and opportunities". In *NordiCHI '16 Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction* (oct "2016"), ACM.
- [13] ABID, A., HAMMADI, M., CHOLEY, J. Y., RIVIERE, A., BARKALLAH, M., LOUATI, J., AND HADDAR, M. A holonic-based method for design process of cyber-physical reconfigurable systems. In *ISSE 2016 - 2016 International Symposium on Systems Engineering - Proceedings Papers* (11 2016), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

- [14] ABID, A., HAMMADI, M., CHOLEY, J. Y., RIVIERE, A., BARKALLAH, M., LOUATI, J., AND HADDAR, M. A SysML based-methodology for modelling disturbances in manufacturing systems using ADACOR holonic control architecture. In *2016 11th France-Japan and 9th Europe-Asia Congress on Mechatronics, MECATRONICS 2016 / 17th International Conference on Research and Education in Mechatronics, REM 2016* (8 2016), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 97–102.
- [15] ACATECH, F. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group - acatech. Tech. rep., 2013.
- [16] AIVAZIDOU, E., TSOLAKIS, N., VLACHOS, D., AND IAKOVOU, E. A water footprint management framework for supply chains under green market behaviour. *Journal of Cleaner Production* 197 (10 2018), 592–606.
- [17] AL-NORY, M. T. Optimal Decision Guidance for the Electricity Supply Chain Integration with Renewable Energy: Aligning Smart Cities Research with Sustainable Development Goals. *IEEE Access* 7 (2019), 74996–75006.
- [18] ALDAKHIL, A. M., NASSANI, A. A., AWAN, U., ABRO, M. M. Q., AND ZAMAN, K. Determinants of green logistics in BRICS countries: An integrated supply chain model for green business. *Journal of Cleaner Production* 195 (9 2018), 861–868.
- [19] ALIZAMIR, S., ALPTEKINOGLU, A., AND SAPRA, A. Demand management using responsive pricing and product variety in the presence of supply chain disruptions. *Working paper, SMU Cox School of Business* (1981).
- [20] ALVES FILHO, S. E., MEDEIROS FILGUEIRA BURLAMAQUI, A., VIDAL AROCA, R., GARCIA GONCALVES, L. M., AND LIMA SA, S. T. D. Green Robotics: Concepts, challenges, and strategies. *IEEE Latin America Transactions* 16, 4 (4 2018), 1042–1050.
- [21] ANDREWS, R. G. Bizarre life-forms found thriving in ancient rocks beneath the seafloor. *National geographic* (apr 2020).
- [22] AUGUSTINE, A. A., RINDITA, A. S., AND MUNIANDY, S. L. Factors influencing the purchase behaviour of sustainable fashion among millennial consumers in

- Kuala Lumpur. In *ACM International Conference Proceeding Series* (New York, New York, USA, 8 2019), Association for Computing Machinery, pp. 330–334.
- [23] AZEVEDO, S. G., CARVALHO, H., DUARTE, S., AND CRUZ-MACHADO, V. Influence of green and lean upstream supply chain management practices on business sustainability. *IEEE Transactions on Engineering Management* 59, 4 (2012), 753–765.
- [24] BAILEY, R. Earth day, then and now: The planet’s future has never looked better. here’s why. *Reason* (May 2000), 19–28.
- [25] BALLOUKI, I., DOUIMI, M., AND OUZIZI, L. Decision support tool for supply chain configuration considering new product re-design: An agent-based approach. *Journal of Advanced Manufacturing Systems* 16, 04 (2017), 291–315.
- [26] BALLOUKI, I., DOUIMI, M., AND OUZIZI, L. Ecodesign integration in the joint design of product and its supply chain: Agent-based model. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Optimization and Applications, ICOA 2018* (5 2018), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 1–7.
- [27] BARBOSA, J., LEITÃO, P., ADAM, E., AND TRENTESAUX, D. Self-organized holo- nomic multi-agent manufacturing system: The Behavioural Perspective. In *Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2013* (2013), pp. 3829–3834.
- [28] BEMTHUIS, R. Business logic for resilient supply chain logistics. In *Proceedings - IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Workshop, EDOCW* (10 2019), vol. 2019-October, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 190–195.
- [29] BERTALANFFY, L. V. *Teoría general de los sistemas : Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*, 1993.
- [30] BONCI, A., PIRANI, M., CARBONARI, A., NATICCHIA, B., CUCCHIARELLI, A., AND LONGHI, S. Holonic Overlays in Cyber-Physical System of Systems. In *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA* (10

- 2018), vol. 2018-September, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 1240–1243.
- [31] BOTTI, V., AND BOGGINO, A. *ANEMONA: A multi-agent methodology for Holonic Manufacturing Systems*. Springer-Verlag London Limited, 2008.
- [32] CHECKLAND, P. *Information, systems and information systems : making sense of the field*, 1998.
- [33] CHEN, D., IGNATIUS, J., SUN, D., ZHAN, S., ZHOU, C., MARRA, M., AND DEMIRBAG, M. Reverse logistics pricing strategy for a green supply chain: A view of customers' environmental awareness. *International Journal of Production Economics* (9 2018).
- [34] CRUZ, L. A., CARVAJAL, J. H., ROJAS, O. A., AND CHACÓN, E. Cyber-Physical System for Industrial Control Automation Based on the Holonic Approach and the IEC 61499 Standard. In *Forum on Specification and Design Languages* (11 2018), vol. 2018-September, IEEE Computer Society.
- [35] CRUZ SALAZAR, L. A., AND ROJAS ALVARADO, O. A. The future of industrial automation and IEC 614993 standard. In *2014 3rd International Congress of Engineering Mechatronics and Automation, CIIMA 2014 - Conference Proceedings* (12 2014), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- [36] DE ALBUQUERQUE, G. A., MACIEL, P., LIMA, R. M. F., AND MAGNANI, F. Strategic and tactical evaluation of conflicting environment and business goals in green supply chains. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans* 43, 5 (2013), 1013–1027.
- [37] DHARMAPRIYA, S., KIRIDENA, S., AND SHUKLA, N. Multiagent Optimization Approach to Supply Network Configuration Problems With Varied Product-Market Profiles. *IEEE Transactions on Engineering Management* (2019).
- [38] D'ANIELLO, G., DE FALCO, M., AND MASTRANDREA, N. Designing a multi-agent system architecture for managing distributed operations within cloud manufacturing. *Evolutionary Intelligence* (4 2020), 1–8.

- [39] EUROBAROMETER, F. Europeans' attitudes towards the issue of sustainable consumption and production Analytical report Europeans' attitudes towards the issue of sustainable consumption and production THE GALLUP ORGANISATION Analytical report Flash EB N o 256-Sustainable consumption and production page 3. Tech. rep., 2009.
- [40] FENG, S. C., AND JOUNG, C. B. An Overview of a Proposed Measurement Infrastructure for Sustainable Manufacturing. Tech. rep.
- [41] GILBERT-BARNES, E. Teratogenic causes of malformations, 3 2010.
- [42] GIRET, A. *ANEMONA: Una Metodología Multiagente para Sistemas Holónicos de Fabricación*. PhD thesis, Departament de Sistemes Informàtics i Computació, Universitat Politècnica de València, 2005.
- [43] GIRET, A., AND TRENTESAUX, D. Go-green anemona: an intelligent manufacturing system's engineering method that fosters sustainability.
- [44] GIRET, A., TRENTESAUX, D., SALIDO, M. A., GARCIA, E., AND ADAM, E. A holonic multi-agent methodology to design sustainable intelligent manufacturing control systems. *Journal of Cleaner Production* 167 (11 2017), 1370–1386.
- [45] GÓMEZ MUÑOZ, L. F., VÉLEZ GUTIÉRREZ, J. D., LUISAGM85@GMAIL.COM, AND JDVELEZG@GMAIL.COM. Simulación del Modelo de Interacción de Actores del Sistema de Abastecimiento Alimentario de Bogotá: Implementación De Tecnologías De Modelado Basado En Agentes Y Metodología De Sistemas Suaves, 11 2015.
- [46] GOODLAND, R. chapter sustainability: Human, social, economic and environmental. *Encyclopedia of global environmental change* (2002).
- [47] HANKS, K., ODOM, W., ROEDL, D., AND BLEVIS, E. Sustainable millennials: Attitudes towards sustainability and the material effects of interactive technologies. In *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* (New York, New York, USA, 2008), ACM Press, pp. 333–342.

- [48] HILL, A. V., SCHNIEDERJANS, M. J., LEGRAND, S. B., WATSON, M., LEWIS, S., CACIOPPI, P., AND JAYARAMAN, J. *Supply Chain Design (Collection)*. FT Press.
- [49] HSIEH, F. S. Dynamic configuration and collaborative scheduling in supply chains based on scalable multi-agent architecture. *Journal of Industrial Engineering International* 15, 2 (6 2019), 249–269.
- [50] IEC. IEC 61499 Standard — IEC Webstore, 2013.
- [51] IZIDORO, V. N., AND QUINÁIA, M. A. Design patterns application in holonic control notification mechanism. *IEEE Latin America Transactions* 12, 2 (3 2014), 262–268.
- [52] JULES, G. D., SAADAT, M., AND SAEIDLOU, S. Holonic ontology and interaction protocol for manufacturing network organization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 45, 5 (5 2015), 819–830.
- [53] JULIAN, V., JULIAN, V., AND BOTTI, V. Developing Real-Time Multi-Agent Systems. IN *PROCEEDINGS OF THE SECOND IBEROAMERICAN WORKSHOP ON DAI AND MAS 11* (2002), 137–148.
- [54] KATZ, D. *Psicología social de las organizaciones*, 1985.
- [55] KAZANCOGLU, Y., KAZANCOGLU, I., AND SAGNAK, M. A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy. *Journal of Cleaner Production* 195 (9 2018), 1282–1299.
- [56] KNOWLES, B., CLEAR, A. K., MANN, S., BLEVIS, E., AND HÅKANSSON, M. Design patterns, principles, and strategies for Sustainable HCI. In *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* (New York, New York, USA, 5 2016), vol. 07-12-May-2016, Association for Computing Machinery, pp. 3581–3588.
- [57] LI, J., MORRISON, J. R., ZHANG, M. T., NAKANO, M., BILLER, S., AND LENNARTSON, B. Editorial: Automation in green manufacturing, 2013.
- [58] LINGHONG, L. Agent-based holonic dynamic and optimal manufacturing system for distributed manufacturing. In *Proceedings - 2009 International Conference*

on *Environmental Science and Information Application Technology, ESIAT 2009* (2009), vol. 3, pp. 485–488.

- [59] MAHAPATRA, S. N., SINGH, B. K., AND KUMAR, V. A Survey on Secure Transmission in Internet of Things: Taxonomy, Recent Techniques, Research Requirements, and Challenges, 4 2020.
- [60] MAROTTA, A., STUDER, L., MARCHIONNI, G., PONTI, M., GANDINI, P., AGRIESTI, S., AND ARENA, M. Possible Impacts of C-ITS on Supply-Chain Logistics System. *Transportation Research Procedia* 30 (1 2018), 332–341.
- [61] MARTÍN-GÓMEZ, A., AGUAYO-GONZÁLEZ, F., AND LUQUE, A. A holonic framework for managing the sustainable supply chain in emerging economies with smart connected metabolism. *Resources, Conservation and Recycling* 141 (2 2019), 219–232.
- [62] MASSON-DELMOTTE, V., P. Z. H.-O. P. D. R. J. S. P. S. A. P. W. M.-O. C. P. R. P. S. C. J. M. Y. C. X. Z. M. G. E. L. T. M. M. T., AND WATERFIELD, T. Global warming of 1.5c. an ipcc special report on the impacts of global warming of 1.5c above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Tech. rep., 2018.
- [63] MELNYK, S. A., NARASIMHAN, R., AND DECAMPOS, H. A. Supply chain design: issues, challenges, frameworks and solutions. *International Journal of Production Research* 52, 7 (4 2014), 1887–1896.
- [64] MESA, J. A., ESPARRAGOZA, I., AND MAURY, H. Trends and Perspectives of Sustainable Product Design for Open Architecture Products: Facing the Circular Economy Model, 4 2019.
- [65] NACIONES UNIDAS, A. G. DESARROLLO Y COOPERACION ECONOMICA INTERNACIONAL: MEDIO AMBIENTE Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo “Nuestro futuro común”, August 1987.

- [66] NI, D., XIAO, Z., AND LIM, M. K. A systematic review of the research trends of machine learning in supply chain management. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics* (12 2019), 1–20.
- [67] PAJU, HEILALA, H. H. J. L.-L. Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* (2010).
- [68] PAQUETTE, J. R. The supply chain response to environmental pressures.
- [69] PATÓN-ROMERO, J. D., RODRÍGUEZ, M., BALDASSARRE, M. T., AND PIATTINI, M. Assessing the greenability of ensembles. In *EnSEmble 2019 - Proceedings of the 2nd ACM SIGSOFT International Workshop on Ensemble-Based Software Engineering for Modern Computing Platforms, co-located with ESEC/FSE 2019* (New York, New York, USA, 8 2019), Association for Computing Machinery, Inc, pp. 9–15.
- [70] PAVÓN, J., AND GÓMEZ-SANZ, J. Agent oriented software engineering with INGENIAS. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)* (2003), vol. 2691, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 394–403.
- [71] PENZENSTADLER, B., AND FEMMER, H. A generic model for sustainability with process- and product-specific instances. In *GIBSE 2013 - Proceedings of the 2013 Workshop on Green in Software Engineering, Green by Software Engineering* (New York, New York, USA, 2013), ACM Press, pp. 3–7.
- [72] PEREIRA PESSÔA, M. V., AND JAUREGUI BECKER, J. M. Smart design engineering: a literature review of the impact of the 4th industrial revolution on product design and development. *Research in Engineering Design* 31, 2 (4 2020), 175–195.
- [73] QUETGLAS SANMARTÍN, E. ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CADENA DE SUMINISTRO EMPRESA-SUBCONTRATISTA EN LA EMPRESA SCHNEIDER ELECTRIC, 7 2017.
- [74] RATHEE, G., BALASARASWATHI, M., CHANDRAN, K. P., GUPTA, S. D., AND BOOPATHI, C. S. A secure IoT sensors communication in industry 4.0 using blockchain technology. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* (4 2020), 1–13.

- [75] ROJAS, R. A., AND RAUCH, E. From a literature review to a conceptual framework of enablers for smart manufacturing control. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 104, 1-4 (9 2019), 517–533.
- [76] SADIK, A. R., AND URBAN, B. A Holonic Control System Design for a Human & Industrial Robot Cooperative Workcell. In *Proceedings - 2016 International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, ICARSC 2016* (12 2016), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 118–123.
- [77] SAVELSBERG, R. Green Logistics – Marketing Needs influencing Supply Chains. *IFAC Proceedings Volumes* 46, 8 (1 2013), 185–190.
- [78] SCOVILLE, H. The 5 major mass extinctions.
- [79] SEURING, S., AND MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production* 16, 15 (10 2008), 1699–1710.
- [80] SITNIKOV, C. S. Triple Bottom Line. In *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 2558–2564.
- [81] SMITH, F. A., SMITH, R. E., LYONS, S. K., AND PAYNE, J. L. Body size downgrading of mammals over the late Quaternary. *Science* 360, 6386 (4 2018), 310–313.
- [82] SRIVASTAVA, S. K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews* 9, 1 (3 2007), 53–80.
- [83] TANZER, J. *Living blue planet report : species, habitats and human well-being*. WWF International, Gland, Switz, 2015.
- [84] TRENTESAUX, D., AND GIRET, A. Go-green manufacturing holons: A step towards sustainable manufacturing operations control. *Manufacturing Letters* 5 (8 2015), 29–33.
- [85] UNIVERSITY, Y. Environmental Performance Index - 2018 EPI Framework, 2018. [Online; accessed April 14, 2020].
- [86] WOOLDRIDGE, M. J. An introduction to multiagent systems, 2002.

- [87] ZHANG, M., TSE, Y. K., DAI, J., AND CHAN, H. K. Examining Green Supply Chain Management and Financial Performance: Roles of Social Control and Environmental Dynamism. *IEEE Transactions on Engineering Management* 66, 1 (2 2019), 20–34.
- [88] ZHAO, J., JI, M., AND FENG, B. Smarter supply chain: a literature review and practices. *Journal of Data, Information and Management* (3 2020), 1–16.
- [89] ZHOU, Y., GONG, D. C., HUANG, B., AND PETERS, B. A. The Impacts of Carbon Tariff on Green Supply Chain Design. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 14, 3 (7 2017), 1542–1555.

Apéndice A

Indicadores de sostenibilidad y criterios de evaluación

A.1. Indicadores de sostenibilidad y evaluación bajo perspectiva de fabricación para entidades materiales

A.1.1. Alimentos

1. Todas las personas vinculadas a la cadena de producción y suministro tienen garantizado el suministro continuo de alimentos para suplir las necesidades calóricas de su vida diaria.
2. Todos los familiares cercanos de las personas vinculadas a la cadena de producción y suministro tienen garantizado el suministro continuo de alimentos para suplir las necesidades calóricas de su vida diaria.
3. Todas las comunidades de la región vinculadas a la cadena de producción y suministro tienen garantizado el suministro continuo de alimentos para suplir sus necesidades calóricas.
4. Los procesos de la cadena de producción y suministro hacen parte del abastecimiento alimentario de la región.
5. El bienestar alimentario de la región está garantizado para el 100 % de la población.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 3 y “NO” al 5.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” a todos los criterios de evaluación.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a los criterios 1 o 2.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.2. Instituciones Educativas

1. Al menos una de las personas vinculadas a la cadena de producción y suministro han pertenecido (o pertenecen) a una institución educativa de la región.
2. Al menos una de las instituciones educativas de la región hace parte de los nodos de la red de suministro de la cadena.
3. Las instituciones educativas vinculadas a la cadena de abastecimiento y suministro gozan de financiación suficiente para garantizar su calidad.
4. El 100 % de las instituciones educativas de la región gozan de financiación suficiente para garantizar su calidad.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 2, 3 y “NO” al 4.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1; “SI” o “NO-APLICA” al 3 y “NO” a 2, 4.
- **Negativo (-2):** Responde “SI” al criterio 2 y “NO” al 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.3. Agua

1. Los procesos de fabricación y manufactura de la cadena productiva incluyen el uso de agua como suministro indispensable.

2. Total o parcialmente, el agua usada en los procesos de fabricación es devuelta al medio, mediante sistemas de desagüe.
3. Las aguas residuales vinculadas a la cadena productiva y de suministro tienen el mismo grado de potabilidad que antes de ser usada.
4. Las aguas residuales vinculadas a la cadena productiva y de suministro tienen mayor potabilidad que antes de ser usada (según los rangos de potabilidad definidos por la legislación aplicable en la región).
5. Todas las personas vinculadas a la cadena de producción y suministro tienen garantizado el suministro continuo de agua potable para sus necesidades cotidianas.
6. Todos los familiares cercanos de las personas vinculadas a la cadena de producción y suministro tienen garantizado el suministro continuo de agua potable para sus necesidades cotidianas.
7. Todas las comunidades de la región, vinculadas a la cadena de producción y suministro, tienen garantizado el suministro continuo de agua potable para sus necesidades cotidianas.
8. La región cuenta con un suministro continuo de agua potable accesible para el 100 % de la población.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 4, 5.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 2, 3, 5, 6, 7; “NO” al 8.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterios 1, 2 y “NO” al 3.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a criterios 5, 6, 7.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.4. Infraestructura

1. La infraestructura propia de la red de suministro brinda las garantías suficientes para garantizar la seguridad de las personas vinculadas a la cadena de producción y suministro.
2. La infraestructura propia de la red de suministro brinda las garantías suficientes para garantizar la seguridad de las personas y comunidades vinculadas a la cadena de producción y suministro exigidas por la legislación regional.
3. Las infraestructuras propias son compartidas con comunidades vinculadas con la cadena de producción y suministro.
4. Las infraestructuras públicas son mantenidas constantemente con recursos propios en cooperación con las comunidades vinculadas con la cadena de producción y suministro.
5. Las infraestructuras (viales, energéticas, industriales) públicas y privadas de la región brindan las garantías suficientes para la seguridad del 100% de la población.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" a criterios 1, 2, 3 y 5.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" a criterios 1, 2, 4.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterios 1 o 2.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.5. Ciudades

1. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de "Trabajo" (A.3.3).
2. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de "Energía" (A.3.2).

3. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Infraestructura” (A.1.4).
4. Las ciudades y asentamientos humanos de la región, vinculados con la cadena de producción y suministro son considerados 100 % sustentables.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” al criterio 1, 2, 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.6. Productos y Suministros

1. Los procesos de la cadena productiva generan bienes físicos (productos) y consumibles.
2. Los suministros usados en la cadena productiva poseen puntajes de fabricación positivos.
3. Los suministros usados en la cadena productiva poseen puntajes de ciclo de vida positivos.
4. La evaluación del indicador de Reciclaje (sección A.2.9) arroja un puntaje positivo mayor que cero.
5. El diseño del producto adquirido por los consumidores finales de la región, incluyen componentes plásticos.
6. El plástico usado en los procesos productivos son extraídos exclusivamente de procesos de reciclaje.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 3, 5, 6.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 3 y “NO” al 5.

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 4, 5, 6 y “NO” al 3.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 4, 6 y “NO” a 3, 5.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” al criterio 2.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” al criterio 5 y “NO” al 6.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.7. Océanos y Mares

1. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la remoción de plásticos y materiales contaminantes de los mares y océanos.
2. las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la mejora de los ecosistemas marítimos.
3. La evaluación del indicador de Ríos y Fuentes hídricas (sección A.1.8) arroja un puntaje positivo.
4. Las actividades de la cadena de suministro ponen en peligro la estabilidad de los ecosistemas marítimos.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterio 1, 2, 3 y “NO” a 4.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” al criterio 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.8. Ríos y Fuentes hídricas

1. Los procesos productivos usan agua extraída directamente de fuentes hídricas naturales de la región sin intermediación de redes de servicios públicos.
2. Los procesos productivos involucran el uso o procesamiento de animales acuáticos.

3. La evaluación del indicador de Agua (sección A.1.3) arroja un puntaje positivo mayor que cero.
4. La evaluación del indicador de Animales (sección A.1.9) arroja un puntaje positivo mayor que cero.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 2, 3, 4.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” a criterios 1, 3.
- **Positivo (+1):** Responde “NO” al criterio 1, y “SI” al 3.
- **Negativo (-2):** Responde “NO” al criterio 3.
- **Negativo (-2):** Responde “SI” al criterio 2 y “NO” al 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.9. Animales

1. Los procesos de producción y suministro usan o procesan animales silvestres de la región o sus ecosistemas circundantes.
2. Los procesos de producción y suministro usan o procesan animales domésticos de la región.
3. Los animales involucrados en los procesos de producción y suministro son especies protegidas o en peligro de extinción.
4. Los animales involucrados en los procesos de producción y suministro son especies consideradas “invasoras” en la región.
5. Los procesos de producción involucran el sacrificio de animales o el uso de suministros provenientes del sacrificio de animales.
6. Los procesos de producción y suministro que involucran animales suelen infligirles daños y/o malformaciones físicas y/o psicológicas.

7. Los procesos de producción y suministro que involucran el sacrificio de animales minimizan al máximo su sufrimiento y estrés antes y durante el procedimiento.
8. Los animales domésticos involucrados en los procesos de fabricación son criados en ambientes controlados que simulan la vida silvestre de su especie.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" a criterios 1, 4, 5, 7 "NO" al 6.
- **Positivo (+1):** Responde "NO" a criterios 1, 2 y "NO" o "NO APLICA" a 6, 7, 8.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" 2, 8 y "NO" a 1, 3, 5 y "NO APLICA" a 4, 6, 7.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" a criterio 3.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" a criterio 5 y "NO" al 7.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" al criterio 6.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.1.10. Bósques y Ecosistemas biológicos

1. Las actividades de la cadena contribuyen a preservar la flora y fauna de los ecosistemas de la región.
2. Las actividades de la cadena contribuyen a la remoción de materiales plásticos y otros contaminantes de los ecosistemas de la región.
3. Los procesos de suministro y producción propician la deforestación de bosques.
4. Los procesos de suministro y producción propician la muerte de animales y el desequilibrio de los ecosistemas.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2 y "NO" a 3, 4.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" al criterio 3, 4.

- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2. Indicadores por entidades abstractas

A.2.1. Pobreza

1. Obtiene puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de Hambre sección A.2.2.
2. Obtiene puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de Educación.
3. Obtiene puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de Trabajo.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” al criterio 1, 2, 3.
- **Neutro (0):** Responde “NO-APLICA” al criterio 1, 2, 3.

A.2.2. Hambre

1. Obtiene puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de Alimentos.
2. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la seguridad alimentaria de la región.
3. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen al abaratamiento de productos alimenticios en la región.
4. Las actividades corporativas e industriales involucradas en la cadena de producción y suministro acaparan territorios cultivables de forma excluyente con las comunidades aledañas.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3 y “NO” a 4.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.3. Bienestar

1. Las actividades de la cadena de producción y suministro se consideran seguras y protegen el bienestar de los trabajadores involucrados.
2. Las emisiones y productos de la cadena de producción y suministro implica cierto riesgo al bienestar de las comunidades aledañas.
3. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Animales” (A.1.9).
4. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Salubridad” (A.2.4).
5. Los productos comercializados al final de la cadena de suministro contribuyen al bienestar de los consumidores sin afectar su salud.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 3, 4, 5 y “NO” a 2.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 2.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a criterio 1, 3, 4, 5.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.4. Salubridad

1. Todas las personas vinculadas laboralmente con la cadena productiva y de suministro tienen garantizado el acceso a servicios sanitarios descritos por las leyes de la región.

2. Todas las personas de la región vinculadas comercialmente con la cadena productiva y suministro (eximiendo el consumidor final) tienen garantizado el acceso a servicios sanitarios descritos por las leyes de la región.
3. Las emisiones resultantes de las actividades de la cadena de suministro ponen en riesgo la salubridad de las comunidades relacionadas.
4. La región posee un sistema público de salud universal que cubre acceso al 100 % de la población.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2 y "NO" a 3, 4.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" a criterio 3.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 1, 2.
- **Neutro (0):** Responde "SI" a criterio 4.

A.2.5. Equidad de género

1. Las actividades de la cadena de producción y suministro contribuyen con la concientización sobre la equidad de género.
2. El promedio de salarios de los trabajadores involucrados en la cadena cambia cuando se diferencia el género.
3. Las leyes locales obligan a las empresas a garantizar la equidad de género con regulaciones explícitas sobre salarios y cuotas de contratación.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1 y "NO" a 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" a criterio 2.
- **Neutro (0):** Responde "SI" a criterio 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.6. Crecimiento económico

1. Las empresas y corporaciones involucradas con las actividades de la cadena de suministro se encuentran registradas en la región de comercialización de los productos.
2. Las empresas y corporaciones involucradas con las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la región mediante el pago transparente de impuestos.
3. Las actividades de la cadena de suministro incluyen productos locales de la región.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 1, 2, 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.7. Innovación

1. Las empresas y corporaciones vinculadas a la cadena de suministro contribuyen con la adopción de nuevas tecnologías en la región.
2. Los productos comercializados contribuyen con la adopción de nuevas tecnologías en la región.
3. Las empresas y corporaciones vinculadas a la cadena de suministro trabajan con las comunidades de la región en la creación de tecnologías con capacidad de beneficio mutuo.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 3.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 2, 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.8. Inequidad

1. El promedio de los salarios de las personas involucradas laboralmente a la cadena de suministro y pertenecientes a la región es similar al promedio evaluado en toda la cadena.
2. Las condiciones laborales de horarios y prestaciones sociales de las personas involucradas laboralmente a la cadena de suministro y pertenecientes a la región es similar al de todos los trabajadores involucrados en la cadena.
3. Obtiene un puntaje positivo en el indicador de sostenibilidad para “crecimiento económico” (A.2.6).

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a criterio 1, 2.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a criterio 1, 2, 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.9. Reciclaje

1. La cadena de suministro incluye procedimientos de logística inversa para la reutilización de productos desechados.
2. Los productos fabricados y comercializados en la cadena de suministro son elaborados a partir de materiales reciclados.
3. Los desechos sólidos generados por las actividades de la cadena de suministro, las empresas y corporaciones vinculadas siguen procedimientos de reciclaje y separación.
4. La cadena de suministro opera únicamente sobre regiones que tienen implementados programas de reciclaje como parte de los servicios locales de recolección de basura.

5. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la recolección y aprovechamiento de materiales reciclados.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2, 4.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 3, 4.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 3, 4, 5.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 3, 4.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.10. Justicia

1. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro respetan la propiedad intelectual en la fabricación y comercialización de sus productos.
2. Las actividades de la cadena de suministro se pueden interpretar como competencia desleal para las empresas de la región.
3. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro trabajan con las comunidades de la región para garantizar la comercialización de los productos en acuerdos de cooperación.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 3 y "NO" al 2.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 1, 3.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" a criterio 2.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.11. Paz

1. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Inequidad” (A.2.8)
2. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Justicia” (A.2.10).
3. Las actividades de fabricación o extracción de recursos de la cadena de suministro se generan en regiones de conflicto armado constante.
4. Las actividades de la cadena de suministro operan bajo la colaboración de grupos armados de la región.
5. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro suelen pagar dádivas a grupos armados para garantizar su funcionamiento en zonas de conflicto.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2 y “NO” al 3, 4, 5.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 3.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 4.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 5.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.2.12. Cooperación

1. Las actividades de la cadena de suministro involucran empresas, comerciantes y corporaciones de diferentes regiones.
2. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Paz” (A.2.11).
3. Obtiene un puntaje mayor que cero de sostenibilidad para el indicador de “Paz” (A.2.11).

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 1 y “NO” a 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3. Indicadores por entidades conceptuales

A.3.1. Educación

1. Las actividades de la cadena de producción y suministro contribuyen al acceso a la educación en la región.
2. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro fomentan la capacitación constante de sus empleados.
3. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro contribuyen activamente con las comunidades de la región para garantizar el acceso a la educación y/o mejorar su calidad.
4. La región cuenta con acceso universal gratuito a educación.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3 y “NO” al 4.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a criterio 2.
- **Neutro (0):** Responde “SI” al criterio 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.2. Energía

1. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la adopción de energías limpias en la región.

2. Los procesos de fabricación son renovados constantemente con el fin de reducir el costo energético de la producción industrial.
3. Todas las fuentes energéticas relacionadas con la cadena de suministro se consideran limpias.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 2, 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.3. Trabajo

1. Todas las personas vinculadas laboralmente con la cadena productiva y de suministro cuentan con un contrato legal acorde con las leyes laborales de la región.
2. Todas las personas de la región vinculadas laboralmente con la cadena productiva y de suministro cuentan con un contrato legal acorde con las leyes laborales de su respectiva región.
3. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de "Salubridad" (A.2.4).
4. Obtiene un puntaje mayor que cero de sostenibilidad para el indicador de "Salubridad" (A.2.4).

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2, 3.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 2, 4.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 2.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" a criterio 3.

- **Neutro (0):** Responde “SI” a criterio 2, 3 y “NO” a 1, 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.4. Industria

1. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen con la creación de industria sostenible en la región.
2. Las actividades de la cadena de suministro hacen parte de la industria de la región.
3. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Inequidad” (A.2.8).

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 3.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 2 y “NO” a 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.5. Comunidades

1. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la transformación positiva de las comunidades de la región.
2. Las actividades de la cadena de suministro involucran población de la región.
3. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Trabajo” (A.3.3).
4. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro contribuyen activamente con programas de inclusión y responsabilidad social en las comunidades de la región.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3, 4.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 4.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 2 y “NO” a 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.6. Producción

1. Los productos fabricados y comercializados en la cadena de suministro cubren una necesidad real a los consumidores objetivo.
2. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Energía” (A.3.2).
3. Obtiene un puntaje positivo de sostenibilidad para el indicador de “Reciclaje” (A.2.9).

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” a criterio 1.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.7. Consumo

1. Los productos de la cadena de suministro utilizan suministros sostenibles.
2. Las actividades de comercialización de los productos involucrados en la cadena de suministro involucra la información permanente sobre sus puntajes de sostenibilidad.
3. Las actividades de comercialización de los productos involucrados en la cadena de suministro fomentan la compra de líneas de productos complementarios con funcionalidades limitadas.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2 y “NO” al 3.
- **Negativo (-1):** Responde “SI” a criterio 3.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.8. Clima

1. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro llevan control estricto de las emisiones generadas por los procesos productivos y de comercialización.
2. Es posible estimar el nivel de emisiones nocivas que se liberan al ambiente por cuenta de las actividades industriales y de comercialización.
3. El nivel de emisiones nocivas que se liberan al ambiente por cuenta de las actividades industriales y de comercialización se reduce periódicamente.
4. Algunas fuentes de energía utilizadas en las actividades de producción y suministro emiten gases que contribuyen al efecto invernadero.
5. El nivel de emisiones nocivas que se liberan al ambiente por cuenta de las actividades industriales y de comercialización es cero.
6. En el cálculo de emisiones nocivas totales se resta lo correspondiente a bonos de carbono adquiridos regularmente.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 5 y “NO” al 6.
- **Positivo (+1):** Responde “SI” al criterio 1, 2, 3 y “NO” al 6.
- **Negativo (-1):** Responde “NO” al criterio 2 y “SI” al 4.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.9. Biodiversidad

1. Las actividades de la cadena de suministro contribuyen a la preservación de la biodiversidad de la región.
2. Las actividades de la cadena de suministro afectan la biodiversidad por desechos contaminantes y/o efectos secundarios.
3. Las actividades de la cadena de suministro usa la biodiversidad de la región como suministro para los productos comercializados.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1 y "NO" al 2.
- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 3 y "NO" al 2.
- **Negativo (-1):** Responde "SI" al criterio 2.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

A.3.10. Instituciones

1. Las empresas y corporaciones involucradas en la cadena de suministro garantizan el acceso de los consumidores a reclamaciones e información sobre sus productos.
2. Todas las actividades de producción y suministro de la cadena, locales y foráneas, operan bajo criterios de legalidad de la región.

Cálculo del puntaje

- **Positivo (+1):** Responde "SI" al criterio 1, 2.
- **Negativo (-1):** Responde "NO" al criterio 2.
- **Neutro (0):** Cualquier otra combinación.

Apéndice B

Hoja de Formas para Diagramas en Software Dia

DIA es un programa para creación de diagramas, inspirado en *MicroSoft-Visio*, basado en GTK+, disponible para plataformas GNU/Linux, MacOS X, Unix y Windows bajo licencia GPL de código abierto. Puede ser usado para crear diferentes tipos de diagramas. Por defecto, actualmente cuenta con *Hojas de Formas* que facilitan la creación de diagramas UML, entidad relación, diagramas de flujo, diagramas de red entre otros. La lista completa se puede consultar en su sitio Web <https://wiki.gnome.org/Apps/Dia/>. Adicionalmente, es posible agregar soporte para nuevos *Objetos* y *Hojas de Formas*, mediante la creación de especificación XML y usando etiquetas SVG para dibujar las *Formas*.

En la realización de este trabajo se creó una hoja de formas que añade soporte para el diseño de arquitecturas de cadenas de suministro y demás diagramas de especificación del Framework SSC-Anemona. La Figura B.2 muestra la vista de usuario de la *Hoja de Formas*.

Los diagramas generados en el programa *DIA*, pueden ser exportados en diferentes tipos de formatos, que incluyen entre otros EPS, SVG, XFIG, WMF y PNG.

B.0.1. Instalación de la *Hoja de Formas SSC-Anemona*

Para usar el Software *DIA* con la *Hoja de Formas SSC-Anemona* es tan simple como descomprimir los archivos *.shape en la carpeta "Shapes" y el archivo *.sheet en la

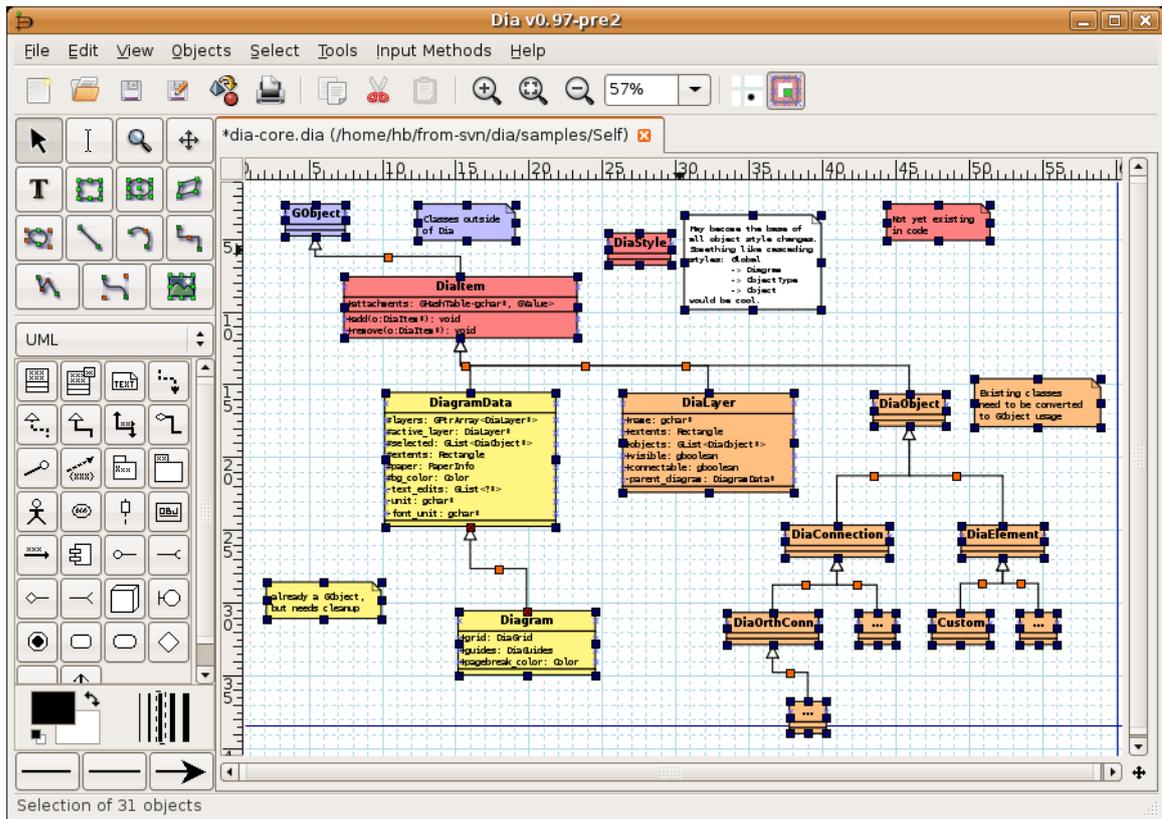


Figura B.1: Ventana principal del Programa DIA (Recuperado de [1])

carpeta "Sheets" del directorio de instalación. A continuación se describen los pasos detallados:

- Si No tiene DIA instalado en su sistema:
 1. Descargar el Instalador correspondiente a su Sistema Operativo de la página Oficial DIA-Installer: <http://dia-installer.de/download/>
 2. Seguir los pasos de instalación.
- Una vez Día esta instalado en su sistema:
 1. Descargar los elementos de la *Hoja de Formas SSC-Anemona* del sitio: researchgate.net/publication/342752546.SSCAnemona.diaShapeszip (Aquí-enlace).
 2. Descomprimir los archivos en la carpeta de instalación o en la carpeta de configuración de usuario:
 - En Linux: `~/./dia/`

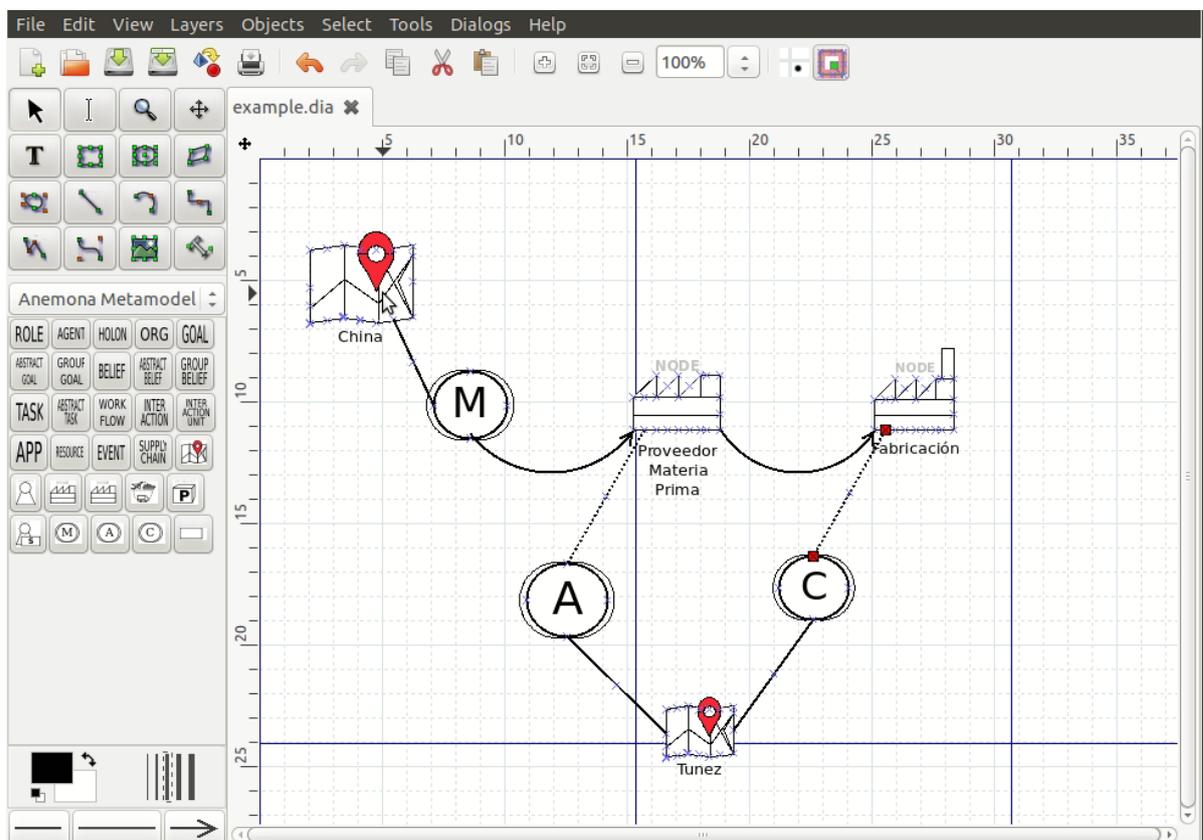


Figura B.2: Vista de usuario de la Hoja de Formas SSC-Anemona

- Windows (En usuario): %USER_PROFILE %\.dia\
- Windows (En equipo): %COMMONPROGRAMFILES %\.dia\

Apéndice C

Elementos adicionales del Framework SSC-Anemona

Los elementos adicionales descritos a lo largo del trabajo se sintetizan en esta sección.

C.1. Requerimientos para evaluación de sostenibilidad

Tabla C.1: Requerimientos para evaluación de la sostenibilidad

-
- | | |
|---|--|
| 1 | Tener acceso a información actualizada y real referente a la ubicación geográfica de los nodos de distribución de la red. |
| 2 | Mantener información actualizada sobre las regiones (con la delimitación política y agrupación más conveniente: comunidades autónomas, provincias, estados, federaciones, naciones, países, etc.) donde se ubican los consumidores finales. |
| 3 | Construir y mantener actualizada una estructura jerárquica basada en la hegemonía legislativa, social, económica y ambiental de las regiones en que se va a computar el puntaje de eco-sostenibilidad, para facilitar el proceso de evaluación de indicadores. |

- 4 Crear líneas de comunicación directas con fuentes de información oficiales y confiables para cada región vinculada a la red de distribución sobre leyes, estándares y regulaciones asociadas a las entidades que constituyen las dimensiones de la sostenibilidad.
 - 5 Crear y mantener un mapa con las relaciones existentes entre las entidades (materiales, abstractas y conceptuales) de cada región y los eslabones de la cadena de producción y suministro.
 - 6 Crear y mantener procesos de recopilación de información periódica sobre aspectos de la sostenibilidad asociados a cada una de sus dimensiones.
 - 7 Crear un proceso de evaluación continua de los indicadores de sostenibilidad (incluidos en Apéndice A).
-

C.2. Etapa: Análisis de requerimientos: Guía para especificación de arquitecturas de cadenas de suministro

Tabla C.2: Procedimiento conceptual básico para caracterización de cadenas de suministro

ID	Guía	Descripción
1	Identificar consumidor objetivo	Usando iconos de <i>consumidor</i> y <i>geolocalización</i> se definen las ubicaciones donde se sitúan los clientes finales de la cadena de suministro.
2	Ubicación de nodos	Mediante los iconos de <i>nodo</i> y <i>geolocalización</i> se diagrama la ubicación (real o proyectada) de los nodos de la red base de la cadena de suministro.

3	Caracterización de nodos	Mediante etiquetas de restricción, se diagrama los niveles de servicio y capacidad de cada nodo aplicando de ser necesario algoritmos de optimización a conveniencia.
4	Caracterización de costos	En las mismas etiquetas de restricción del paso anterior, se especifican los costos de operación relevantes a cada nodo.
5	Caracterización de costos por producto	Usando el icono de <i>producto</i> y etiquetas de restricción, sobre cada nodo caracterizado en que corresponda, se especifican los costos de tránsito por producto.
6	Especificar rol de los nodos	Mediante el icono de rol, diagramar el rol que cumple cada nodo en la cadena de suministro. Para los nodos de fabricación se creó un icono especial que ayuda a encapsular esta relación.
7	Agregar medios de transporte	Usando el icono de transporte, identificar los medios y costos asociados con el traslado de productos entre los nodos de la cadena de suministro.
8	Caracterización del entorno: Recursos Naturales	Usando iconos de <i>recurso</i> y <i>geolocalización</i> , diagramar los recursos naturales asociados a la cadena de suministro.
9	Caracterización del entorno: Entidades Materiales, Abstractas y Conceptuales	Usando los iconos respectivos, se diagrama las entidades materiales, abstractas y conceptuales que componen las dimensiones de la sostenibilidad y sobre los cuales existe algún tipo de afectación o influencia en la operación de la cadena de suministro.

C.3. Etapa: Análisis de requerimientos: Requisitos del documento de requerimientos

Tabla C.3: Requisitos del documento de requerimientos

1	Caracterización de la cadena de suministro asociada al sistema de información que se desea implementar.
2	Listado de roles, valores y normas aplicables a nivel general sobre la cadena de suministro.
3	Organigrama de los departamentos de las empresas, instituciones o sedes involucradas en la cadena de producción y suministro, incluyendo la descripción funcional de los departamentos, sus relaciones de poder e interacciones.
4	Descripción de los procesos de suministro de la cadena de suministro y de los procesos de negocio de las empresas, instituciones o sedes involucradas.
5	Especificación del alcance del sistema que se desea desarrollar, que incluye los procesos actuales que se pretende automatizar, los procesos nuevos a incorporar y su interacción con los procesos de suministro y fabricación.
6	Especificación de los procesos de suministro de la cadena que deben ser controlados incluyendo la descripción de sistemas/aplicaciones ERP (<i>Enterprise Relationship Management Systems</i>) y/o CRM (<i>Customer Relationship Management Systems</i>) disponibles.
7	Especificación de los procesos de negocio del sistema de fabricación que deben ser controlados incluyendo las interfaces de control disponibles.
8	Especificación de las condiciones de operación de la cadena de producción y suministro.
9	Especificación de los objetivos y requisitos iniciales de producción y suministro.

C.4. Etapa: Identificación y Especificación de Holónes: Caracterización Social

Tabla C.4: Lineamientos para caracterización de entornos sociales según D. Katz

-
- 1 Dado que los procesos principales de la organización son los más fáciles de identificar, el *subsistema de producción* es un buen punto de partida. Se deben listar a nivel global las actividades productivas identificadas, siendo estas aquellas que involucran la transformación de materiales y/o información, mediante el uso de fuerza laboral humana o mecánica automatizada y cuyo resultado es un producto identificable. Tomando como punto de partida la arquitectura de una cadena de suministro, en esta conceptualización se debe prestar especial énfasis en los nodos que cumplen el rol de “fábrica”.
 - 2 Tomando como punto de partida el resultado del punto anterior, se lista el conjunto de actividades que hace posible que los materiales y/o información usados en los procesos de transformación sean introducidos a la estructura organizacional, iniciando la caracterización del *subsistema de apoyo*. En este subsistema también se incluyen las actividades mediante las cuales los productos terminados, subproductos y desechos (energía en general) son despachados al ambiente externo de la organización. En este punto es importante vislumbrar los límites que se van a considerar para la estructura social analizada; pues ayudará a diferenciar cuándo los productos son movilizados al interior o al exterior de la organización. En los que respecta a la arquitectura de la cadena de suministro, aquí se incluyen las actividades propias de ventas (marketing), de los nodos con rol de “proveedor” y distribuidor (para las operaciones logísticas al interior de la organización, se aconseja que sean consideradas como parte del *subsistema de producción*, pues son desplazamientos que hacen parte de la transformación de materiales y suministros).

- 3 La caracterización obtenida hasta este punto contiene los elementos de tarea principal o “icónicos” de la organización; sin embargo, su funcionamiento normal depende generalmente del resultado de un conjunto e actividades adicionales que sustentan su *modus operandi*. Las actividades de captación y entrenamiento del personal técnico, son ejemplos típicos que forman el *subsistema de mantenimiento*. También se involucran actividades de manutención, adquisición, sustento y adecuación de maquinaria espacios físicos y demás elementos materiales en los que se desenvuelve la organización social. Este subsistema se relaciona permanentemente con el entorno, acaparando elementos (energía) y contribuyendo con el crecimiento de la organización. En las empresas y cadenas de suministro asociadas es común encontrar algunas de estas actividades tercerizadas por lo que se desmerita su importancia. El enfoque funcionalista aquí abordado ayuda a vislumbrar su importancia y los beneficios que se pueden obtener de su optimización y automatización. Aquí estarán incluidos los procedimientos mediante los cuales se crean nuevas alianzas con proveedores y en sí mismo el análisis enfocado en la diversificación de fuentes de materiales e insumos.
- 4 El siguiente conjunto de actividades a considerar, son aquellas involucradas con la dirección y la toma de decisiones: *subsistema gerencial*. Su origen generalmente esta en los procedimientos directivos y estratégicos, sin embargo, aquí es importante no dejar por fuera las actividades operativas que tienen poder de dirección y re-organización. Estas actividades se sitúan a lo largo de las líneas de mando de las empresas y en lo que respecta a las cadenas de suministro se deben incluir también los procedimientos habituales de gerencia que afectan su configuración, arquitectura, niveles de servicio, capacidad de nodos y demás características de su funcionamiento.

- 5 Las actividades del *subsistema de adaptación* suelen presentar una complejidad adicional al momento de caracterizar las organizaciones sociales, debido a que provienen de procedimientos pobremente definidos o en algunas ocasiones inexistentes. Un indicador claro de que las actividades son ejecutadas periódicamente es la permanencia “integral” de la organización en el tiempo. Las actividades de adaptación permiten la supervivencia de la estructura social y determinan la forma como responde a los cambios del entorno. Pueden corresponder a eventos anuales en los que la junta directiva decide el rumbo de las estructuras organizacionales para periodos posteriores, pero también puede estar relacionada con hábitos mundanos de gerentes locales, que regularmente se basan en noticias de prensa para anticipar y tomar sus decisiones. En este sentido, la conceptualización bajo la perspectiva funcionalista de Katz brinda la ventaja de permitir al analista identificar o dado el caso, definir este tipo de actividades. Para las cadenas de suministro, en este subsistema se debe dirigir la atención a procedimientos mediante los cuales la organización obtiene información de entidades externas, por ejemplo referente a la sostenibilidad, a las tendencias de consumo, las regulaciones legales, comportamiento de la demanda y similares, así como la disposición de dicha información (dónde se almacena y a quién se transmite internamente).
-

C.5. Fase: Diseño: Lista de verificación de nivel de madurez de cadenas de suministro

Tabla C.5: Lista de verificación del nivel de madurez para cadenas de suministro

Nivel I4.0	Nivel de Madurez	Características		✓
Zero	Originaria	1	El contrato de intercambio de materiales y productos a lo largo de la cadena de suministro está determinado en su mayoría por el pago de dinero físico o con compensaciones en especie.	
	Primaria	2	Existen funciones especializadas a lo largo de la cadena, fácilmente identificables mediante procesos documentables que se encargan de la producción, la logística y demás actividades que propician el suministro de los productos	
	Integrada	3	La separación funcional de los procesos en la cadena de suministro funciona bajo parámetros de coordinación que permiten la sincronización de tareas y procesos entre eslabones	
Computarización	Colaborativa	4	La cadena cuenta con sistemas de información que facilitan la gestión de procesos logísticos, de suministro e inventarios.	
		5	Los sistemas de información se usan a lo largo de la cadena para administrar las relaciones con proveedores, distribuidores y clientes.	
Continúa en siguiente página				

Tabla C.5 viene de la página anterior

Nivel I4.0	Nivel de Madurez	Características		✓
Conectividad		6	Mediante implementaciones tecnológicas, robótica y sistemas de control, los procesos industriales están automatizados.	
		7	Es posible extraer información a lo largo de la cadena de suministro y los procesos industriales de forma automatizada mediante sistemas de información enlazados a sistemas automatizados de control	
Visibilidad	Inteligente	8	Clientes y proveedores tienen acceso regulado a información sobre el estado en tiempo real del suministro y los procesos industriales a lo largo de la cadena	
Transparencia		9	Los mecanismos para toma de decisiones sobre procedimientos, políticas y demás elementos reguladores del suministro están debidamente definidos y documentados.	
	10	Los mecanismos para toma de decisiones están soportados por implementaciones tecnológicas de información y ciencia de datos que permiten la formulación de modelos predictivos y complejos		
Continúa en siguiente página				

Tabla C.5 viene de la página anterior

Nivel I4.0	Nivel de Madurez	Características		✓
Capacidad predictiva		11	Todas las operaciones repetitivas tanto en procesos industriales de manufactura como logísticos y administrativos están a cargo de máquinas	
		12	Los procesos de integración entre los participantes a lo largo de la cadena de suministro incluyen escenarios colaborativos con intercambio continuo de información, toma de decisiones conjunta mediante uso de herramientas tecnológicas con mecanismos avanzados de coordinación.	
Adaptabilidad		13	Existen procesos iterativos de búsqueda de soluciones y estrategias ante requerimientos previsibles y necesidades no reconocidas	

Apéndice D

Matrices para cálculo de puntajes de eco-sostenibilidad

D.1. Matriz de puntajes consolidados por dimensión de sostenibilidad

Tabla D.1: Matriz de puntajes consolidados por dimensión de sostenibilidad

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Conceptuales	✓	✗	\hat{E}_{gn}^+	$2\hat{E}_{gn}^-$	Puntaje Consolidado P_{gn}
				Pobreza								
Total SGD 1	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
	Alimentos			Hambre								
Total SGD 2	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
Continúa en siguiente página												

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla D.1 viene de página anterior

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Conceptuales	✓	✗	\hat{E}_{gn}^+	$2\hat{E}_{gn}^-$	Puntaje Consolidado P_{gn}
 3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING				Bienestar								
				Salubridad								
Total SGD 3	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
 4 QUALITY EDUCATION	Instituciones Educativas						Educación					
	Total SGD 4	\hat{E}_{gn}^+			+		+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
 5 GENDER EQUALITY				Equidad de género								
	Total SGD 5	\hat{E}_{gn}^+			+		+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					

Continúa en siguiente página

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla D.1 viene de página anterior

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Conceptuales	✓	✗	\hat{E}_{gn}^+	$2\hat{E}_{gn}^-$	Puntaje Consolidado P_{gn}
	Agua											
Total SGD 6	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
							Energía					
Total SGD 7	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
				Crecimiento-económico			Trabajo					
Total SGD 8	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					

Continúa en siguiente página

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla D.1 viene de página anterior

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Conceptuales	✓	✗	\hat{E}_{gn}^+	$2\hat{E}_{gn}^-$	Puntaje Consolidado P_{gn}
	Infraestructura			Innovación			Industria					
Total SGD 9	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
				Inequidad								
Total SGD10	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
	Ciudades						Comunidades					
Total SGD11	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
Continúa en siguiente página												

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla D.1 viene de página anterior

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Conceptuales	✓	✗	\hat{E}_{gn}^+	$2\hat{E}_{gn}^-$	Puntaje Conso- lido P_{gn}
 12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION	Productos y Suministros			Reciclaje			Producción					
						Consumo						
Total SGD12	\hat{E}_{gn}^+		+			+						
	\hat{E}_{gn}^-			+		+						
 13 CLIMATE ACTION							Clima					
Total SGD13	\hat{E}_{gn}^+		+			+						
	\hat{E}_{gn}^-			+		+						
 14 LIFE BELOW WATER	Océanos y Mares											
	Ríos y Fuentes Hídricas											
Total SGD14	\hat{E}_{gn}^+		+			+						
	\hat{E}_{gn}^-			+		+						

Continúa en siguiente página

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]

Tabla D.1 viene de página anterior

SGD*	Entidades Materiales	✓	✗	Entidades Abstractas	✓	✗	Entidades Conceptuales	✓	✗	\hat{E}_{gn}^+	$2\hat{E}_{gn}^-$	Puntaje Consolidado P_{gn}
 15 LIFE ON LAND	Animales						Biodiversidad					
	Bósques y Ecosistemas biológicos											
Total SGD15	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
 16 PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS				Justicia			Instituciones					
				Paz								
Total SGD16	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					
 17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS				Cooperación								
Total SGD17	\hat{E}_{gn}^+			+			+					
	\hat{E}_{gn}^-			+			+					

*Íconos extraídos de sitio WEB: Sustainable Development Knowledge Platform [8]