

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

TESIS DOCTORAL

Modelo de ciclos socio-tecnológicos para productos social
y ambientalmente responsables.
Caso: Corte intensivo de rosas con energía humana

Gabriel García-Acosta

Universitat Politècnica de Catalunya

Director: Dr. Carles Riba i Romeva

Programa de Doctorado:

Proyectos de innovación tecnológica en la ingeniería de
productos y procesos

Departament de Projectes a l'Enginyeria

Barcelona, Noviembre de 2015

Documento presentado para obtener el título de Doctor por la
Universitat Politècnica de Catalunya

Dedicat a totes les formes i
expressions d'amor i paciència
representats en la meva dona i la
meva família

Por ti papá, por ti mamá

AGRADECIMIENTOS

A Déu, com significat i expressió de creure, confiar i estimar vitalment l'existència.

Al meu director de Tesi Dr. Carles Riba i Romeva per la seva saviesa, coneixement, tenacitat, visió i vitalitat amb què em va guiar al llarg d'aquest viatge. A més per l'espai i ambient de treball proporcionat al CDEI – UPC.

A Felip-Juli per la seva incondicional amistat manifestada amb l'acollida a casa i la seva permanent estima per escoltar i omplir el meu esperit de tranquil·litat i fe en moments de tensió i solitud.

A tota la comunitat del Masnou, que em van integrar durant la meva estada a Catalunya.

A mis colegas, académicos e investigadores Karen Lange, David Puentes, Manuel Ricardo Ruiz y Paulo Andrés Romero de la Universidad Nacional de Colombia, Martha Saravia y Carolina Daza de la Pontificia Universidad Javeriana quienes me han acompañado de una u otra forma en esta aventura.

To Andrew Thatcher at University of Witwatersrand, South Africa, with whom I found great empathy for dealing with ergonomics and sustainability.

Al Dr. Joaquim Lloveras, per la seva obertura i acompanyament acadèmic i per brindar l'oportunitat de fer els meus estudis doctorals en el programa Projectes d'innovació tecnològica en l'enginyeria de productes i processos.

Für Dr. Ralph Bruder für die Gelegenheit zu teilen und zu arbeiten für Equid Initiative am Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) an der Technischen Universität Darmstadt, Deutschland.

A mis compañeros del grupo de Investigación MIMAPRO Micro y Macroergonomía de Productos y Procesos de la Universidad Nacional de Colombia.

A Vanessa Segura, por la transformación de estudiante, a colega y amiga, con quien ahora puedo compartir mis inquietudes intelectuales alrededor de la ergonomía y la sostenibilidad.

Für meine Frau und Kinder, Karen, Ayari, Mathias und Lukas, mit denen ich viele Kapitel unseres Lebensprojekte geschrieben habe, immer mit bedingungsloser Liebe.

A mi querida y admirada madre Carlota Acosta de García por toda su vida dedicada a sus hijos.

A la memoria de mi padre Gabriel García Vargas, porque su ejemplo de perseverancia hasta el final de su vida entregando su tesis, me ha recordado en no desfallecer, aún sin salud.

A la Universidad Nacional de Colombia, por otorgarme el tiempo de estudios, a partir de una licencia de estudios en el exterior, pero en especial a todas las directivas y profesores tanto de la Escuela de Diseño Industrial como de la Facultad de Artes, porque me brindaron los tiempos, medios, espacios y apoyo en la medida de sus posibilidades.

A mis alumnos y alumnas de la carrera de Diseño Industrial, en especial a Lissa María Muriel y Salomé Calderón, por integrarse y trabajar incondicionalmente en nuestro grupo de investigación MIMAPRO.

A todos mis alumnos de pregrado y posgrado, porque son el motor y el sentido de mi vida como académico e investigador.

A todos vosotros, mis lectores, mil gracias.

Tesis doctoral presentada como compendio de publicaciones

1. García-Acosta, G., Saravia-Pinilla, M.H., Romero Larrahondo, P.A., Lange Morales, K. (2014). Ergoecology: fundamentals of a new interdisciplinary field. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 15 (2) 111-133.
2. García-Acosta, G., Saravia-Pinilla, M.H., Riba i Romeva, C. (2012). Ergoecology: evolution and challenges. *Work* 41 (12) 2133-2140.
3. García-Acosta, G., Lange Morales, K., Puentes Lagos, D.E., Ruiz Ortiz, M.R. (2011). Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle, and innovation: trends in consumer product design. In: Karwowski, W., Soares, M., Stanton, N. (Eds). *Handbook of Human factors and ergonomics in consumer product design: methods and techniques*. Boca Raton: Taylor & Francis Group CRC Press.134-154.
4. Saravia-Pinilla, M.H., Daza-Beltrán, C., García-Acosta, G. (Accepted). A comprehensive approach to environmental and human factors into product and service design and development. A review from an ergoecological perspective. *Applied Ergonomics* (in press).
5. Lange-Morales, K., Thatcher, A., García-Acosta, G. (2014). Towards a sustainable world through human factors and ergonomics: it is all about values. *Ergonomics* 57 (11) 1603-1615.

Los índices de calidad de las publicaciones se resumen a continuación:

Publicación	Revista	Índice de impacto	Fuente
1	Theoretical Issues in Ergonomics Science	1.045	2013 SCImago Journal Ranking - (2y cites per doc)
2	Work	0.577	2012 SCImago Journal Ranking – (2y cites per doc)
3	Handbook of HFE	No aplica	Libro de referencia
4	Applied Ergonomics	1.332	©2013 Thomson Reuters, 2014 Journal Citation Reports®
5	Ergonomics	1.608	©2014 Thomson Reuters, 2014 Journal Citation Reports®

RESUMEN

Esta tesis doctoral desarrolla un modelo de ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP), con el cual se aborda el diseño y desarrollo de productos (DDP) desde una perspectiva simétrica, esto es, socio-tecnológica y socio-ambientalmente responsable. El modelo se compone de cuatro partes: una estructura conceptual que establece el abordaje simétrico, una estructura metodológica que analiza y organiza las tendencias y métodos desde el factor humano y desde el factor ambiental, una caracterización de los ciclos socio-tecnológicos de producto incluyendo etapas, fases, procesos y cualidades socio-técnicas de los productos, y las bases axiológicas que sirven de fundamento para la guía de acción y la toma de decisiones en el proceso de DDP. La aplicación del modelo es ejemplificada en el diseño y desarrollo de una herramienta para corte intensivo de rosas con energía humana, con el cual se resuelve una problemática de alto impacto social y ambiental en la floricultura colombiana.

Palabras clave:

Diseño y desarrollo de producto, ciclo de vida de producto, ergonomía, ergoecología, sociología simétrica, sostenibilidad, corte intensivo de rosas, energía humana

ABSTRACT

This doctoral thesis develops a socio-technological product cycle model (s-tPC), which is then employed to approach product design and development (PDD) from a symmetrical - that is, socio-technological and socio-environmentally responsible - perspective. The model consists of four parts: a conceptual structure, which establishes the symmetrical approach, a methodological structure, which analyses and organises trends and methods based on the human factor and on the environmental factor, a categorisation of socio-technological product cycles that includes stages, phases, processes, and social-technical qualities of products, and axiological foundations that serve as a basis for guiding action and decision-making in the PDD process. Application of the model is exemplified in the design and development of an intensive rose-cutting tool using human energy, which solves a problem that has a significant social and environmental impact in Colombia's flower industry.

Keywords:

Product design and development, product life cycle, ergonomics, ergoecology, symmetrical sociology, sustainability, intensive rose-cutting, human energy

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Capítulo en libro de referencia	4
1.2.	Artículos en revistas indexadas	4
1.3.	Motivaciones	5
1.4.	Objetivo General	5
1.5.	Objetivos Específicos	5
1.6.	Mapa mental	6
1.7.	Referencias	7
2.	METODOLOGÍA.....	9
2.1	Cuadro del proceso metodológico	9
2.2	Fases	11
2.2.1	Fase I. Tendencias (conceptos / principios) y métodos centrados en el factor humano.	11
2.2.2	Fase II. Tendencias (conceptos / principios) y métodos centrados en el factor ambiental.	11
2.2.3	Fase III. Planteamiento teórico - conceptual / metodológico de un abordaje disciplinar que integre la ergonomía y la ecología	12
2.2.4	Fase IV. Desarrollo de un modelo (CVP) para el diseño y desarrollo de productos, desde una perspectiva socio-tecnológica.....	12
2.2.5	Fase V. Análisis del corte intensivo de rosas desde el modelo (CVP) socio-tecnológico.....	13
2.2.6	Fase VI. Exploración conceptual para solucionar la problemática de corte intensivo de rosas desde una perspectiva simétrica.....	14
2.2.7	Fase VII. Conclusiones. Aportes al CV en la ingeniería concurrente orientada al entorno.	14
2.3	Cronograma	14
3.	REVISIÓN SISTEMÁTICA DE MODELOS DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO.....	17
3.1	Ciclo y ciclo de vida.....	17
3.2	Ciclo de Vida de Producto (CVP)	17
3.3	Revisión teórico – conceptual: evolución de los modelos de ciclo de vida de producto en el ámbito de los negocios y el marketing (CVP–M)	18
3.4	Revisión teórico – conceptual: evolución de los modelos de ciclo de vida de producto en el ámbito de la ingeniería y el diseño (CVP–I)	22
3.5	Valoración del ciclo de vida [Life-cycle analysis o Life-cycle assessment (LCA)].....	29

3.6	Controversias, limitaciones y retos de los modelos de CVP	32
3.6.1	Controversias sobre el CVP-M.....	32
3.6.2	Limitaciones del CVP-M.....	34
3.6.3	Retos del CVP-M.....	34
3.6.4	Controversias sobre el CVP-I.....	35
3.6.5	Limitaciones del CVP-I.....	37
3.6.6	Retos del CVP-I.....	38
3.7	Consideraciones finales	42
3.8	Referencias	45
4.	ABORDAJE SIMÉTRICO	51
4.1	Introducción.....	51
4.2	Perspectiva epistemológica aportada por los estudios de la sociología simétrica	53
4.3	Lo social y lo tecnológico en los sistemas socio-técnicos desde la ergonomía.....	56
4.4	La perspectiva de lo humano y lo ambiental	57
4.5	Publicación. Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field	59
4.6	Publicación. Ergoecology: evolution and challenges.....	84
4.7	Referencias	93
5.	TENDENCIAS Y MÉTODOS	95
5.1	Introducción.....	95
5.2	Tendencias y métodos en el DDP con énfasis en los factores humanos y ergonomía.....	97
5.3	Tendencias y métodos de DDP con énfasis en factores ambientales y relaciones simétricas desde la ergoecología	98
5.4	Publicación. Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle, and innovation: trends in consumer product design.....	103
5.5	Publicación. A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective.....	129
5.6	Referencias	145
6.	CARACTERIZACIÓN DE LOS CICLOS SOCIO-TECNOLÓGICOS DE PRODUCTO	147
6.1	Introducción.....	147
6.2	Características generales de los Cs-tP	149
6.3	Dinámicas de intercambio en los Cs-tP.....	160
6.3.1	La energía.....	161

6.3.2	La materia (recursos, materias primas e insumos).....	164
6.3.3	La información.....	166
6.4	Partes constitutivas de los Cs-tP.....	168
6.5	Fundamentos y cualidades en los Cs-tP.....	190
6.5.1	Funcionalidad.....	194
6.5.2	Utilidad.....	195
6.5.3	Usabilidad.....	196
6.5.4	Relaciones entre funcionalidad, utilidad y usabilidad.....	198
6.5.5	Aplicabilidad.....	200
6.5.6	Fiabilidad.....	202
6.5.7	Mantenibilidad.....	204
6.5.8	Obtenibilidad.....	206
6.5.9	Relaciones entre fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad.....	208
6.5.10	Disponibilidad.....	210
6.5.11	Adaptabilidad.....	212
6.6	Consideraciones finales.....	215
6.7	Referencias.....	217
7.	BASES AXIOLÓGICAS.....	227
7.1	Introducción.....	227
7.2	Los principios de la Ergoecología y la Ergonomía Verde como base para la deducción de los valores.....	228
7.3	Los valores y su relación con el Cs-tP.....	229
7.4	Los valores y las partes interesadas.....	233
7.5	Publicación. Towards a sustainable future through human factors and ergonomics: it is all about values.	235
7.5	Referencias.....	250
8.	CASO DE ESTUDIO – CORTE DE ROSAS.....	251
8.1.	Introducción.....	251
8.2.	Fase de Visión.....	253
8.2.1	Aspiraciones de los interesados.....	254
8.2.2.	Valores de los interesados.....	255
8.2.3	Propósito estratégico.....	257
8.3.	Fase de Concepto.....	259

8.3.1	Problema	259
8.3.2	Selección y ensamble de métodos	265
8.3.3	Diagnóstico	266
8.3.4	Determinantes y requerimientos de diseño	291
8.3.5	Preconceptos / ideas / alternativas	295
8.4.	Fase de diseño y desarrollo.....	301
8.4.1	Desarrollo del producto - Configuración de diseño.....	302
8.4.2	Diseño a detalle.....	307
8.4.3	Modelos virtuales y reales	312
8.4.4	Prototipos y validaciones.....	316
8.5	Consideraciones finales	318
8.6	Referencias	320
9.	CONCLUSIONES	323
9.1	Sobre el enfoque metodológico del proyecto de investigación	323
9.2	Sobre la revisión sistemática de modelos de ciclo de vida	325
9.3	Sobre el abordaje simétrico como estructura básica para asumir el DDP	326
9.4	Sobre las tendencias y métodos en el DDP desde lo humano y lo ambiental.....	327
9.5	Sobre la caracterización de los Cs-tP	328
9.6	Sobre las bases axiológicas del modelo.....	329
9.7	Sobre el caso de estudio – corte de rosas.....	330
9.8	Hacia futuros desarrollos.....	331
10.	REFERENCIAS.....	335

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1	Partes del modelo de ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP).....	3
Figura 1.2	Capítulo en libro de referencia.....	4
Figura 1.3	Artículos en revistas indexadas.....	4
Figura 1.4	Mapa mental del desarrollo de la tesis.....	6

CAPÍTULO 2

Figura 2.1	Cronograma de trabajo.....	16
------------	----------------------------	----

CAPÍTULO 4

Figura 4.1	Partes del modelo, resaltando la primera parte i.e. la estructura para el abordaje simétrico.....	52
------------	---	----

CAPÍTULO 5

Figura 5.1	‘Diseño para X’ agrupados en cuatro aspectos deducidos.....	95
Figura 5.2	Partes del modelo, resaltando la segunda parte i.e. las tendencias y los métodos.....	96
Figura 5.3	‘Diseño para X’ con la inclusión de tendencias /métodos en los aspectos ambiental y humano.....	102

CAPÍTULO 6

Figura 6.1	Partes del modelo, resaltando la cuarta parte i.e. la los ciclos socio-tecnológicos de producto.....	148
Figura 6.2	Representación de algunos sistemas / ciclos que se pueden modelar.....	150
Figura 6.3	Diversas tipologías de ciclos interactuando con un Cs-tP.....	152
Figura 6.4	Representación de los ciclos de existencia (de provecho o sin provecho).....	153
Figura 6.5	Ciclos con etapas orientadas al provecho y ciclos con etapas orientadas al sin provecho.....	155
Figura 6.6	Relación de un ciclo de provecho con otros ciclos sin contemplar ecoeficiencia o ecoefectividad....	158
Figura 6.7	Relación de un ciclo de provecho con un de pos-provecho, como ciclo de existencia extendido.....	159
Figura 6.8	Relación de un ciclo de provecho con otros con ciclos biotrópicos o antrópicos.....	160
Figura 6.9	Ciclos eslabonados con entradas, flujos y salidas de energía, materia e información.....	161
Figura 6.10	Categorías que conforman los Cs-tP. Ciclos, estados, fases/etapas, procesos.....	168
Figura 6.11	Los estados traslapados asociados a las partes interesadas y las fases/etapas.....	171
Figura 6.12	Los estados consecutivos asociados a la cadena de valor agregado y las fases/etapas.....	175
Figura 6.13	Relación entre dos ciclos antrópicos, un Cs-tP y un ciclo de materiales.....	178
Figura 6.14	Grupo de procesos/pasos que hacen parte del estado de originación.....	179
Figura 6.15	Grupo de procesos/pasos que hacen parte del estado de transferencia.....	180
Figura 6.16	Grupo de procesos/pasos que hacen parte del estado de destinación.....	182

Figura 6.17	Grupo de procesos/pasos que hacen parte de la opción de la obsolescencia a la tumba	184
Figura 6.18	Jeep Willys (YIPAOS) reacondicionado como vehículo de carga en la zona cafetera Colombia	186
Figura 6.19	Grupo de procesos/pasos que hacen parte del desensamble a ciclo extendido o nuevos ciclos.....	187
Figura 6.20	Grupo de procesos/pasos que hacen parte del metabolismo orientado a la regeneración y a la cuna	190
Figura 6.21	Enfoques del DDP sin ecoeficiencia y con ecoeficiencia orientada al desarrollo sostenible.....	191
Figura 6.22	Enfoques del DDP con ecoeficiencia sistémica y la ecoefectividad orientada a la sostenibilidad	192
Figura 6.23	Enfoque de DDP con ecoproductividad y axiomas de energía, materia e información hacia sostenibilidad	194
Figura 6.24	Las cualidades básicas de funcionalidad, utilidad y usabilidad de los Cs-tP.....	200
Figura 6.25	La cualidad emergente de aplicabilidad donde convergen la funcionalidad, utilidad y usabilidad	202
Figura 6.26	Las cualidades básicas de fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad de los Cs-tP.....	211
Figura 6.27	La cualidad emergente de disponibilidad donde convergen la fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad	212
Figura 6.28	La cualidad emergente de adaptabilidad alimentada por la revaloración de la funcionalidad y utilidad	215

CAPÍTULO 7

Figura 7.1.	Partes del modelo, resaltando la cuarta parte i.e. las bases axiológicas.....	227
Figura 7.2.	Relación de la aplicación de los valores fundamentales y el resultado del Cs-tP.....	230
Figura 7.3	Aplicación de los valores a lo largo de todo el Cs-tP.....	232

CAPÍTULO 8

Figura 8.1	Etapas de visión, concepto, diseño y desarrollo de productos, cubiertas en el caso de estudio	253
Figura 8.2	Grupos de aspiraciones, partes interesadas y valores compartidos	257
Figura 8.3	Ciclo socio-tecnológico de producto orientado hacia la sostenibilidad social y ambiental	259
Figura 8.4	Porcentajes del subsector floricultor con relación al general, desde cuatro variables	262
Figura 8.5	Las tres semillas en las que se fundamenta la biomímesis (tomado del taller de biomímesis en el patio trasero, Bogotá 2013)	266
Figura 8.6	Segunda y tercera parte del diagnóstico.....	267
Figura 8.7	Variantes funcionales de tijeras–podaderas: manual, neumática y eléctrica	269
Figura 8.8	Variantes de marcas de tijeras–podaderas: manual, neumática y eléctrica.....	272
Figura 8.9	Cualidades funcionales del raspador, la amortiguación / retroceso y regulación de cuchilla	272
Figura 8.10	Variantes de empuñadura en tijera – podadera manual	272
Figura 8.11	Variantes de cuchilla en tijera – podadera manual	273
Figura 8.12	Variantes de seguro o bloqueo en tijera – podadera manual	273
Figura 8.13	Partes y despiece de componentes en tijera – podadera manual	273
Figura 8.14	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera manual Felco 12	274
Figura 8.15	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera manual Barnel 300	274
Figura 8.16	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera manual Chikamasa P28-Y	274

Figura 8.17	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera neumática Felco 70	275
Figura 8.18	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera neumática Bahco 9210.....	275
Figura 8.19	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera eléctrica Felco 820	275
Figura 8.20	Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera eléctrica Infaco F3010	276
Figura 8.21	Cuadro comparativo de cualidades en tijeras – podaderas manual, neumática y eléctrica	276
Figura 8.22	Métodos y actividades realizadas en trabajo de campo de los cuatro cultivos	277
Figura 8.23	Actividades realizadas en trabajo de campo de los cuatro cultivos	278
Figura 8.24	Ubicación sistémica de la tarea, cosecha de rosas	279
Figura 8.25	Variables antropométricas relacionadas con la cosecha de rosas.....	280
Figura 8.26	Datos referentes al espacio físico.....	281
Figura 8.27	Objetos / máquinas que se utilizan en la cosecha de rosas.....	282
Figura 8.28	Actores-red en sus principios de acción.....	283
Figura 8.29	Montaje para registrar las libras fuerza aplicadas en la tijera, según variedad de tallos	287
Figura 8.30	Gráfica del comportamiento de las medidas del diámetro de los tallos de rosa	288
Figura 8.31	Gráfica del comportamiento de la fuerza requerida para el corte del tallo de rosa	289
Figura 8.32	Gráfica de relación entre fuerza de corte (Lb-f) y diámetro del tallo (mm)	289
Figura 8.33	Diagrama jerárquico de Ward, de las variedades de rosa, en función de la fuerza de corte.....	290
Figura 8.34	Plano factorial. Conglomerado variedades de rosa que demandan más fuerza de corte	291
Figura 8.35	Plano factorial. Conglomerado variedades de rosa que demandan menos fuerza de corte	291
Figura 8.36	Corte y ‘desnuque’ de la rama que protege la yema, para estimular su germinación.....	294
Figura 8.37	Agrupación de los componentes de la herramienta	296
Figura 8.38	Esquema que representa el primer paso en la biomímesis, la definición del contexto.....	296
Figura 8.39	Cuadro de clasificación de verbos asociados a componentes funcionales.....	297
Figura 8.40	Representación de los verbos de acuerdo con los componentes funcionales.....	298
Figura 8.41	Taxonomía de organismos referentes para bioinspiración	299
Figura 8.42	Organismos y sus estrategias que se pueden emular	300
Figura 8.43	Algunos bocetos tomados del proceso creativo de generación de alternativas.....	301
Figura 8.44	Ejemplos de las primeras configuraciones del producto	302
Figura 8.45	Conceptos de recolector – almacenaje de aire comprimido	303
Figura 8.46	Carro de recolección con mecanismo para acumular aire en un tanque	304
Figura 8.47	Herramienta neumática con su tanque de compresión que puede cargarse a la espalda	305
Figura 8.48	Desplazamiento de cuchilla hacia contra-cuchilla retenedora de tallo	305
Figura 8.49	Representación de detalle de zona de corte y contenedor de fungicida	306
Figura 8.50	Representación del volumen general y del modelado del asa envolvente	307
Figura 8.51	Formato técnico normalizado.....	308
Figura 8.52	Tabla de variedades destacadas en fuerza p y esfuerzo de corte.....	309
Figura 8.53	Manipulación de tijera – podadera y eficiencia mecánica de palanca	313
Figura 8.54	Esquema de tijera para representar dimensiones de brazos y descomposición de fuerzas.....	313
Figura 8.55	Modelo funcional de herramienta mecánica escala 1:1	315
Figura 8.56	Colección fotográfica de algunos modelos.....	315
Figura 8.57	Ubicación de protocolos para validación de prototipos y producto	316

1. INTRODUCCIÓN

Basado en la revisión sistemática de las publicaciones sobre el Ciclo de Vida del Producto¹ (CVP) tanto desde el mercadeo y los negocios (CVP-M), como desde la ingeniería y el diseño (CVP-I), se concluye que prácticamente todo su desarrollo ha estado orientado desde el determinismo tecnológico (Bijker, 2006). Para el determinismo tecnológico son los cambios, avances y dinámicas tecnológicas las que determinan las transformaciones sociales y culturales. En el otro extremo está el determinismo social, en donde los cambios tecnológicos pueden ser explicados como consecuencia de las dinámicas sociales y culturales. Los dos determinismos asumen tanto la existencia causa – efecto, como la dicotomía entre sujeto – objeto.

A diferencia de lo observado en la revisión sistemática, el presente trabajo parte desde una posición simétrica entre lo tecnológico y lo social, esto es, de acuerdo con los postulados de la sociología simétrica de la tecnología, que busca eliminar el dualismo entre actores humanos y actores tecnológicos (Domènech & Tirado, 1998). La anterior postura simétrica pretende superar tanto el determinismo tecnológico como el determinismo sociológico y ofrecer una nueva aproximación al diseño y desarrollo de producto (DDP), a partir de la comprensión de humanos y tecnologías, como un entramado o red de actores, que den cuenta simultáneamente tanto del carácter social del cambio tecnológico, como del carácter tecnológico del cambio social. Esta perspectiva simétrica socio-tecnológica puede aportar significativamente a las tendencias y aproximaciones de los actuales modelos de CVP que han estado dominados por la visión del determinismo tecnológico.

Dado que actualmente aún no existe un marco conceptual desde la ingeniería de DDP y la ingeniería concurrente, que conecte integralmente y desde sus fundamentos, los aspectos humanos y sociales con los tradicionales aspectos técnicos, este trabajo se fundamenta inicialmente en una disciplina científica que ha establecido esta conexión de simetría socio-técnica: la ergonomía, la cual tiene fuertes conexiones con la ingeniería, pero también con las ciencias humanas y sociales como la psicología y la sociología. La ergonomía se define como “la disciplina científica preocupada por la comprensión de las interacciones entre humanos y otros elementos de un sistema, y la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos al diseño con el fin de optimizar el bienestar humano y el desempeño general del sistema” (IEA, 2000). Por lo anterior, la ergonomía desde su perspectiva socio-técnica puede contribuir a llevar la dimensión social a la ingeniería concurrente y a la ingeniería de DDP.

Ahora bien, la ergonomía en su corriente hegemónica y pese a los planteamientos visionarios de Jastrzebowski quien acuñó su nombre en 1857 (Jastrzębowski, 1857) no ofrece un marco conceptual que

¹ Cabe aclarar desde un principio, que la noción de producto a lo largo de este documento será comprendida de la manera más amplia e incluyente, esto es, no sólo como el artefacto físico, sino como servicio, producto extendido e incluso como conocimiento técnico, digital o virtual.

contemple explícita y sistemáticamente la sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, para plantear un “modelo de ciclos socio-tecnológicos para el diseño y desarrollo de productos social y ambientalmente responsables”, se requiere primero del planteamiento de un marco conceptual que contemple tanto lo socio-tecnológico como lo ambiental. Es por esto que se plantea la Ergoecología, una multidisciplina que conecta la ergonomía y los factores humanos (EFH) con la ecología, como aporte conceptual de este trabajo investigativo.

Acorde con lo anterior, esta tesis doctoral en la modalidad de compendio de artículos se estructura de la siguiente manera:

- a) Planteamiento general de la necesidad de un nuevo modelo de ciclos para el diseño y desarrollo de productos social y ambientalmente responsables, a partir de una revisión sistemática de la evolución teórico – conceptual de los modelos de CVP. Dicha revisión permitió reconocer por un lado las limitaciones y retos de los modelos y por otro lado, la necesidad de incluir la perspectiva de los sistemas socio-técnicos en el nuevo modelo (CAPÍTULO 3).
- b) Estructuración de la primera parte del modelo, el abordaje simétrico, a partir de tres perspectivas: la perspectiva epistemológica, aportada por los estudios de la sociología simétrica; la perspectiva de lo social y lo tecnológico de los sistemas socio-técnicos, contribuida por la ergonomía; y la perspectiva de lo humano y lo ambiental desde las cinco formas de sostenibilidad que plantea la ergoecología. Dos publicaciones constituyen la parte central de este capítulo (CAPÍTULO 4)
- c) Estructuración de la segunda parte del modelo, un marco de tendencias y sus métodos que permita establecer lineamientos y herramientas que posibiliten el abordaje simétrico de los aspectos humanos y los aspectos ambientales, a partir de tres acciones: La ubicación de las tendencias y métodos en el DDP con énfasis en la EFH; la deducción de tendencias con énfasis en los factores ambientales y; las relaciones simétricas encontradas en la literatura, de métodos que contemplan tanto el aspecto humano como el ambiental. Dos publicaciones son la parte medular de este capítulo (CAPÍTULO 5).
- d) Caracterización de los ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP), tercera parte del modelo, incluyendo sus partes constitutivas (estados, fases/etapas y procesos/pasos), así como las cualidades socio-tecnológicas básicas: funcionalidad, utilidad, usabilidad, fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad, y las cualidades emergentes de los productos: aplicabilidad, disponibilidad y adaptabilidad (CAPÍTULO 6).
- e) Las bases axiológicas, cuarta parte del modelo, las cuales orientan la toma de decisiones en el DDP. Es esta parte del modelo la que define si el Cs-tP se orienta hacia la insostenibilidad, hacia el desarrollo sostenible o hacia la sostenibilidad, dependiendo tanto de los valores que se establezcan desde la primera fase/etapa del DDP, como del proceso y aseguramiento de la toma de decisiones a lo largo de todo el Cs-tP. Una publicación constituye la parte central de este capítulo (CAPÍTULO 7).

- f) Presentación sucinta del diseño y desarrollo de una herramienta para corte intensivo de rosas en invernadero, que responde al marco conceptual desarrollado y siguiendo el modelo de ciclos socio-tecnológicos planteado (CAPÍTULO 8).
- g) Unas conclusiones generales, relacionadas tanto con el modelo de ciclos socio-tecnológicos, como con las publicaciones que han ido conformando el marco conceptual de dicho modelo (CAPÍTULO 9).

La figura 1.1 esquematiza las cuatro partes del modelo: 1) Abordaje simétrico (estructura conceptual), 2) Tendencia y métodos (estructura metodológica), 3) Caracterización de los ciclos y 4) Bases axiológicas.



Figura 1.1 Partes del modelo de ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP).

De acuerdo con la estructura expuesta, el compendio de publicaciones se concentra en los numerales b), c) y e), donde se plantean las bases conceptuales, metodológicas y axiológicas del modelo, como requisito básico y aporte al estado del conocimiento científico, que sustenta la caracterización de los ciclos socio-tecnológicos de producto y de DDP. Todas las publicaciones dan cuenta del tiempo de estudios doctorales, reconociendo la vinculación como estudiante del doctorado en Proyectos de innovación en la ingeniería de productos y procesos, desde el inicio ligado al CDEI (Centre de Disseny d'Equips Industrials) de la Universitat Politècnica de Catalunya, así como la vinculación como docente e investigador de la Escuela de Diseño Industrial, dentro del grupo de investigación MIMAPRO (Micro y Macro ergonomía de Productos y Procesos) de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia.

El numeral a) contiene la revisión sistemática de los modelos de CVP y se está trabajando como artículo de revisión para ser publicado. Igualmente, el numeral d) constituirá otro artículo más adelante, aunque

ya se han realizado publicaciones en memorias de congresos internacionales, específicamente la parte relacionada con la iniciativa EQUID para el manejo de la calidad de la ergonomía en el DDP.

A continuación se resume las publicaciones que constituyen el compendio de esta tesis (figuras 1.2 y 1.3)

1.1. Capítulo en libro de referencia

A = aceptado P = publicado

Título del capítulo	Año	Publicado en	Estado		Factor de impacto	Tomado de
			A	P		
Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle, and innovation: trends in consumer product design	2011	Handbook of Human factors and ergonomics in consumer product design: methods and techniques		x	NA	Publicación de Taylor & Francis – CRC Press

Figura 1.2 Capítulo en libro de referencia

1.2. Artículos en revistas indexadas

A = aceptado P = publicado

Título del artículo	Año	Publicado en	Estado		Factor de impacto	Factor de impacto tomado de
			A	P		
Ergoecology: evolution and challenges	2012	Work		x	0.577	2012 SCImago Journal Ranking – (2y cites per doc)
Towards a sustainable world through human factors and ergonomics: it is all about values	2014	Ergonomics		x	1.608	©2014 Thomson Reuters, 2014 Journal Citation Reports®
Ergoecology: fundamentals of a new interdisciplinary field	2014	Theoretical Issues in Ergonomics Science		x	1.045	2013 SCImago Journal Ranking - (2y cites per doc)
A comprehensive approach to environmental and human factors into product and service design and development. A review from an ergoecological perspective	2015	Applied Ergonomics	x		1.332	©2013 Thomson Reuters, 2014 Journal Citation Reports®

Figura 1.3 Artículos en revistas indexadas

El desarrollo del numeral d) (caracterización del Cs-tP) ha involucrado varias presentaciones en congresos internacionales [Gesellschaft für Arbeitswissenschaft – GfA2011; Organisational Design and Management (ODAM- 2011); International Ergonomics Association Congress (IEA - 2012); y [Organisational Design and Management (ODAM -2014)] y un artículo en desarrollo como resultado de la estancia en Alemania, colaborando en el IAD (Institute of Ergonomics) de la Technische Universität Darmstadt. Por otra parte, el numeral f) describe el trabajo de aplicación que ha derivado en una línea de

investigación dentro de la Universidad Nacional de Colombia, utilizando como marco conceptual la Ergoecología, con tres proyectos asociados: H 16964. “Optimización del corte intensivo de tallos de rosa en invernadero desde una perspectiva ergoecológica”; H 17188 “La ergoecología orientada al DDP innovadores” y H 28184 “Modelo ergoecológico de integración de métodos aplicables al DDP”. Esta última investigación es apoyada estatalmente en Colombia con una beca de “joven investigador” por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e innovación (COLCIENCIAS). Adicionalmente, como uno de los productos de esta línea de investigación, se ha desarrollado una patente de invención de una herramienta titulada “Herramienta agrícola de poda y corte, con accionamiento neumático”, con extensión y cobertura de sus reivindicaciones en sectores agroindustriales como las flores y los frutos y apoyada por la DIEB-UNC (Dirección de Investigación y Extensión de la sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia).

1.3. Motivaciones

Se plantearon tres propósitos generales en esta tesis:

- Aportar elementos teórico - conceptuales en los estados de (originación, transferencia y destinación) y en las etapas (visión, concepto, diseño y desarrollo, producción, mercadeo y logística, uso y servicios, desuso y soporte) por las que atraviesan los productos, a lo largo de un CVP-I, para robustecer su proceso de DDP a lo largo de un ciclo de vida, social y ambientalmente responsable.
- Ofrecer nuevas estructuras de análisis que contribuyan a mejorar la comprensión de las relaciones entre tecnología y sociedad, para plantear nuevas formas de co-construcción dinámicas y con retroalimentación en las etapas del CVP-I.
- Establecer un modelo que contemple aspectos socio-tecnológicos en función del tiempo (ciclos), como marco de referencia en el diseño y desarrollo de productos (caso de estudio) que no impacten negativamente ni al humano ni al ambiente.

1.4. Objetivo General

Proponer un modelo para la ingeniería y el diseño de productos orientado al entorno, que contemple simétricamente los desarrollos tecnológicos con relación a lo social y ambiental, para concebir productos, procesos y servicios integralmente sostenibles.

1.5. Objetivos Específicos

- Estructurar una propuesta que integre las perspectivas de factor humano y de factor ambiental.
- Estructurar un modelo de CVP que contemple simétricamente lo tecnológico y lo social.
- Proponer una solución socio-tecnológica al corte intensivo de rosas con energía humana, bajo la perspectiva simétrica humano-ambiental y acorde con el modelo de CVP propuesto.

1.6. Mapa mental

A continuación hay un mapa mental que sintetiza la forma en que se desarrolló la tesis (figura 1.4).

Las preguntas de investigación están con cuatro numerales en color y orientadas al logro de los objetivos. Dichos numerales en color están directamente relacionados con los objetivos general y específico así: las cuatro preguntas se relacionan con el objetivo general y las tres primeras preguntas se relacionan respectivamente con los tres objetivos específicos.

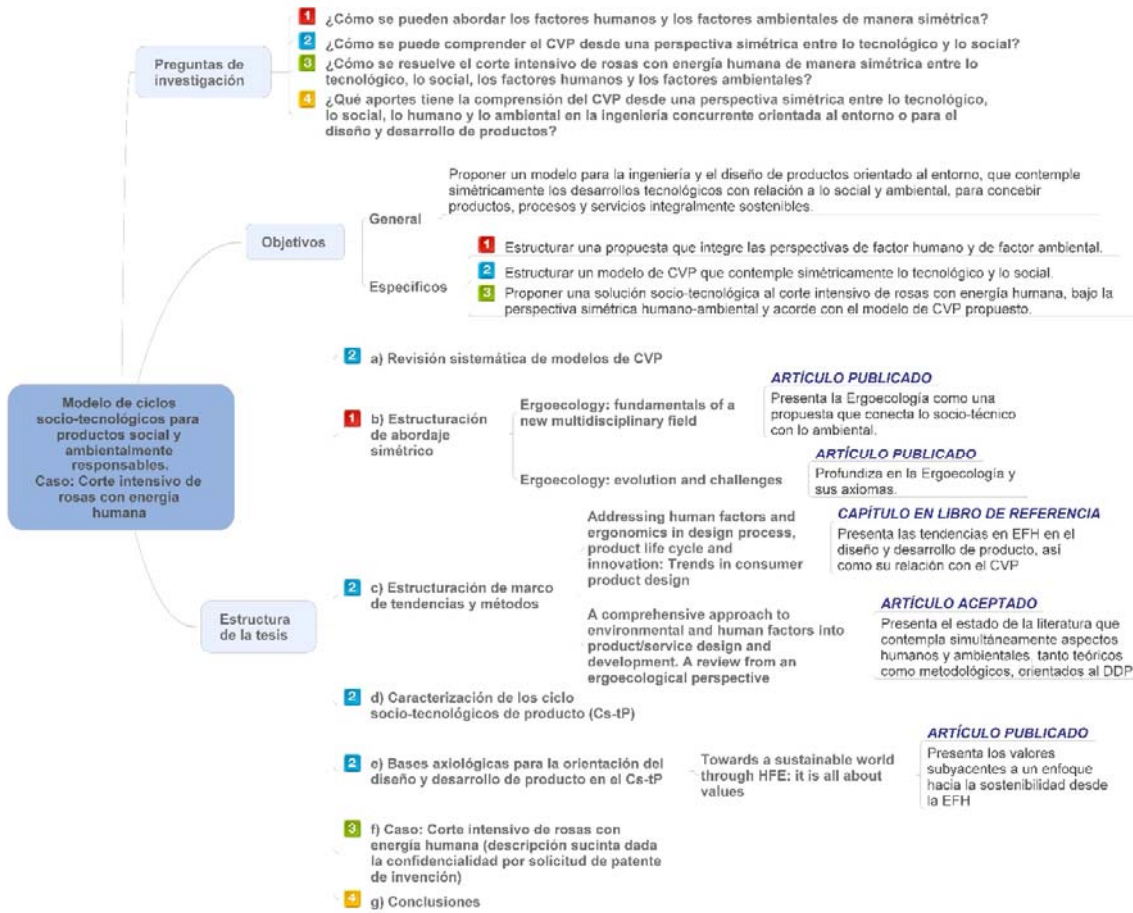


Figura 1.4 Mapa mental del desarrollo de la tesis

Por último, es pertinente mencionar que, a la fecha, se están elaborando tres artículos más, relacionados con los numerales a), d) y f). Dado que el caso de estudio derivó en una solicitud de patente de invención, dichos artículos se someterán a revistas hasta después de solicitada la patente, con el fin de proteger la confidencialidad de la invención.

1.7. Referencias

- Bijker, W. E. (2006). Why and how technology matters. *Oxford handbook of contextual political analysis*, 681-706.
- Domènech, M., & Tirado, F. J. (1998). *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad. Claves para la lectura de textos simétricos*. Barcelona: Gedisa.
- IEA, I. E. A. (2000). What is Ergonomics—Definition and Domains of Ergonomics.
- Jastrzębowski, W. (1857). An outline of ergonomics, or the science of work. *Central Institute of Labour Protection, Warsaw*.

2. METODOLOGÍA

Para este caso, los estudios doctorales se iniciaron en el año 2009, siendo prácticamente la última cohorte de ingreso al programa de doctorado “Proyectos de innovación tecnológica en la ingeniería de productos y procesos”. A continuación se presentan tres apartados:

1. Cuadro del proceso metodológico, donde se asocian para cada objetivo de la tesis, las preguntas relacionadas, el diseño metodológico, las fuentes empíricas o escenarios trabajados y por último, los medios de recolección y registro de la información.
2. Descripción de cada una de las fases en las que se desarrolló la investigación para esta tesis doctoral.
3. Cronograma con las etapas realizadas durante el desarrollo de la tesis.

En el cuadro, se agruparon las fases en función de cada objetivo y pregunta de investigación, pero las siete fases del proceso metodológico se fueron desarrollando en la mayoría de forma consecutiva, pero como todo proceso de investigación, muchas actividades específicas se realizaron en paralelo o traslapadas en algunos momentos del desarrollo.

2.1 Cuadro del proceso metodológico

Objetivo	Estructurar una propuesta que integre las perspectivas de factor humano y de factor ambiental.		
Preguntas relacionadas	Diseño Metodológico	Fuentes empíricas o escenarios	Medios para la recolección de información
¿Cómo se pueden abordar los factores humanos y los factores ambientales de manera simétrica?	FASE I: Tendencias (conceptos / principios) y métodos centrados en el factor humano.	Bases de datos. Información teórica y metodológica.	Fichas bibliográficas. Investigación documental.
	FASE II: Tendencias (conceptos / principios) y métodos centrados en el factor ambiental.	Bases de datos. Información teórica y metodológica.	Fichas bibliográficas. Investigación documental.
	FASE III: Planteamiento teórico - conceptual / metodológico de un abordaje disciplinar que integre la ergonomía y la ecología.	Escenario: Comprensión de los propósitos y alcances (frontera) disciplinares de la ergonomía y la ecología. Análisis de bases de datos e información teórica y metodológica de las tres fases anteriores.	Investigación documental.

Objetivo	Estructurar un modelo de CVP que contemple simétricamente lo tecnológico y lo social.		
Preguntas relacionadas	Diseño Metodológico	Fuentes empíricas o escenarios	Medios para la recolección de información
¿Cómo se puede comprender el CVP considerando lo tecnológico y lo social simétricamente?	FASE IV: Desarrollo de un modelo (CVP) para el diseño y desarrollo de productos, desde una perspectiva socio-tecnológica.	Fuentes documentales (conceptuales y metodológicos).	Investigación documental.

Objetivo	Proponer una solución socio-tecnológica al corte intensivo de rosas con energía humana, bajo la perspectiva simétrica humano-ambiental y acorde con el modelo de CVP propuesto.		
¿Cómo se resuelve el corte intensivo de rosas con energía humana de manera simétrica entre lo tecnológico, lo social, los factores humanos y los factores ambientales?	Fase V: Análisis del corte intensivo de rosas desde la Ergoecología (perspectiva simétrica)	Argumentos para hacer parte del “programa de acción” (actor-red) a partir de trabajo de campo y registro de experiencias. Información aportada y deducida por los diversos actores del sector floricultor. Análisis de estudios ergonómicos precedentes (antropométricos y biomecánicos).	Estudio cualitativo, descriptivo-interpretativo con perspectiva etnográfica. Diario de campo, entrevistas semi-estructuradas, grabaciones relacionadas con las actividades de corte. Estudios de campo sobre condiciones de la actividad de corte. i.e. biomecánicas.
	Fase VI: Exploración conceptual de solución a la problemática de corte intensivo de rosas desde una perspectiva simétrica.	Aplicación de principios simétricos y conceptos desarrollados en el modelo de ciclos de la fase IV. Vinculación de perspectivas sociales y técnicas desde procesos participativos. Análisis e interpretación del trabajo de campo.	Estudios de campo y talleres participativos, para establecer la visión de la alternativa tecnológica y la definición de requerimientos.

Objetivo	Proponer un modelo para la ingeniería y el diseño de productos orientado al entorno, que contemple simétricamente los desarrollos tecnológicos con relación a lo social y ambiental, para concebir productos, procesos y servicios integralmente sostenibles.		
¿Qué aportes tiene la comprensión del CVP-I desde una perspectiva simétrica entre lo tecnológico, lo social, lo humano y lo ambiental en la ingeniería concurrente orientada al entorno o para el diseño y desarrollo de productos?	Fase VII: Conclusiones. Aportes al CVP-I en la ingeniería concurrente orientada al entorno.	La información de todas las fases anteriores y su proyección para la ingeniería, el diseño y desarrollo de productos.	Investigación documental e información resultado del trabajo de campo.

2.2 Fases

Se desarrollaron siete fases como parte del proceso metodológico. Dos fases para ubicar tendencias y establecer si en el estado del arte hay simetría en los métodos que se aplican para abordar procesos de DDP. Una fase que implicó establecer un marco teórico – conceptual simétrico, desarrollando la relación entre ergonomía y ecología desde el enfoque de sistemas. Una fase de desarrollo del modelo socio-tecnológico. Una fase para analizar la actividad de corte de rosas desde lo socio-tecnológico. Una fase de exploración conceptual (alternativas) para solucionar la problemática de corte de rosas. Finalmente, una fase de elaboración de conclusiones.

2.2.1 Fase I. Tendencias (conceptos / principios) y métodos centrados en el factor humano.

Esta fase buscó estructurar las tendencias del diseño y desarrollo de productos (DDP) centrados en el factor humano, en relación con el CVP-I. Los criterios de organización y taxonomía se hicieron en función del estado del arte y de acuerdo con las diferencias y similitudes encontradas en: los métodos y modelos, los principios y conceptos, los enfoques o propósitos y por último las aplicaciones. La investigación documental de este apartado es producto de la revisión de información obtenida en las bases de datos físicas y electrónicas de revistas indexadas, libros y documentos de trabajo, obteniendo tanto un documento de referencia en la aplicación del “diseño para X” con énfasis en EFH en la ingeniería concurrente orientada al entorno, como una información que se articuló con los resultados de la fase II y como referente conceptual y metodológico para la fase III.

Como resultado final de la fase I se realizaron dos publicaciones, una de ellas hace parte del compendio de documentos indizados de esta tesis (compendium index) titulada: Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle and innovation: Trends in consumer product design. La otra titulada: Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano: una aproximación a la responsabilidad social.

2.2.2 Fase II. Tendencias (conceptos / principios) y métodos centrados en el factor ambiental.

La segunda fase es complementaria con la primera, pues buscó estructurar las tendencias del diseño y desarrollo de productos centrados en el factor ambiental, en relación con el CVP. Los criterios de organización y taxonomía también se hicieron en función de diferencias y similitudes encontradas en: los métodos y modelos, principios y conceptos, enfoques o propósitos y por último las aplicaciones. La investigación documental de este apartado se basó en un estudio Delphi, aplicado a expertos y académicos y profesionales del DDP alrededor del mundo y producto de la revisión de información obtenida en las bases de datos físicas y electrónicas de revistas indexadas, libros y documentos de trabajo, obteniendo tres documentos de referencia en la aplicación del “diseño para X” con énfasis en Factores

ambientales en la ingeniería concurrente orientada al entorno, como una información articulada con la fase I y referente conceptual y metodológico para la fase III.

Como resultado final de la fase II se lograron una publicación y dos trabajos de grado de cierre de carrera. La publicación hace parte del compendio de documentos indizados de esta tesis (compendium index) titulada: A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective. Los otros dos documentos titulados: 1. Guía para diseñadores y desarrolladores de producto sobre métodos y tendencias en factores ambientales. 2. Tendencias en DDP desde el factor humano y ambiental.

2.2.3 Fase III. Planteamiento teórico - conceptual / metodológico de un abordaje disciplinar que integre la ergonomía y la ecología

Un enfoque simétrico entre los aspectos humanos y ambientales requería del planteamiento de un campo de estudio interdisciplinar de frontera entre la ergonomía y la ecología, de manera que se pudieran plantear objetivos, propósitos, principios y postulados que no sólo se complementen, sino que estén formulados bajo un nuevo paradigma. Se buscó comprender la sostenibilidad ya no con énfasis en lo económico, sino con énfasis en lo social, ambiental, tecnológico y político. El análisis de los pilares teóricos y conceptuales de la ergonomía y la ecología, junto con los resultados de la investigación documental de las fases I y II, fueron analizados para el planteamiento de un nuevo campo de estudio, la ergoecología. Las fases I, II y III son la estructura de apoyo en cuanto a conceptos, técnicas y métodos simétricos para el modelo de ciclos socio-tecnológicos. El nuevo campo disciplinar denominado ergoecología, busca ser un marco para aplicar métodos integrales o ensamblados bajo los criterios resultantes de la investigación, para que puedan ser aplicados en el DDP. El común denominador de esta fase II es desarrollar una perspectiva simétrica -ergonómica y ecológica-, escalable para cumplir con los objetivos.

Como resultado final de la fase III se realizaron cuatro publicaciones, dos de ellas son parte del compendio de documentos indizados de esta tesis (compendium index) la primera titulada: Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field. La otra titulada: Ergoecology: evolution and Challenges. Las otras dos publicaciones son: Design principles for green ergonomics y Synergies between ergoecology and green ergonomics: a contribution towards a sustainability agenda for HFE.

2.2.4 Fase IV. Desarrollo de un modelo (CVP) para el diseño y desarrollo de productos, desde una perspectiva socio-tecnológica.

Una pregunta complementaria para esta fase, a la ya formulada en el cuadro de arriba es: ¿Qué nuevos conceptos se requieren como marco explicativo de un CVP para la ingeniería y el diseño de producto actual?

La configuración y el funcionamiento de los productos (sistemas socio-técnicos) no es sólo un aspecto técnico previsible, sino que por el contrario, se debe estar atento a las prácticas sociales de la utilidad y al

uso que las personas le dan a los objetos, para comprender los procesos de transformación y adaptación, para finalmente hacer los ajustes técnicos necesarios a los componentes. Es en este sentido que se establecieron los lineamientos para el DDP a lo largo del CVP-I.

El CVP tiene diversas vertientes dependiendo del campo de estudio y su aplicación. Se buscó reconocer brevemente las raíces históricas y los puentes o denominadores comunes en las disciplinas que utilizan los modelos existentes de CVP, posteriormente se dedujeron los fundamentos conceptuales en los que se apoya. A partir de lo anterior se comprendieron los alcances conceptuales de las definiciones y conceptos tradicionales del CVP en la ingeniería, el diseño y desarrollo de productos. Finalmente, articulando lo anterior, se propone un modelo de ciclos a partir de un nuevo conjunto de conceptos que operan desde una perspectiva socio-tecnológica, pero al mismo tiempo integran por supuesto, conceptos vigentes y pertinentes a dicha perspectiva.

Como resultado de esta etapa por un lado, está la revisión sistemática de los modelos de CVP tanto en mercadeo y negocios, como en ingeniería y diseño (CVP-M y CVP-I). Por otro lado, está la propuesta conceptual del modelo de ciclos socio-tecnológico. Ambos se pretenden utilizar como base para realizar dos publicaciones, sustentados a su vez en las publicaciones de las fases anteriores.

2.2.5 Fase V. Análisis del corte intensivo de rosas desde el modelo (CVP) socio-tecnológico.

El estudio de caso fue la condición para hacer converger tres aspectos. En primer lugar, enmarcarlo dentro de la propuesta conceptual del abordaje integrador de la ergonomía y la ecología (la ergoecología y la ergonomía verde), planteado en la fase III. En segundo lugar, utilizar el modelo de ciclos socio-tecnológicos como base conceptual para el diseño y desarrollo de productos, planteado en la fase IV. El Análisis de corte de intensivo de rosas se realizó dentro de un proyecto de investigación apoyado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, buscando una perspectiva simétrica socio-tecnológica. Como parte de la investigación se realizó un trabajo de campo donde se pudieron involucrar los diferentes actores interesados y afectados por el desarrollo tecnológico, manteniendo como principio que tanto la tecnología como la sociedad se configuran mutuamente. Se hizo énfasis metodológico bajo dos enfoques, la etnográfica y la participativa, de manera que se pudo comprender la actividad y las prácticas alrededor del corte, con información aportada tanto de los actores involucrados, como la deducida en el propio trabajo de campo.

Complementario a lo anterior, se hizo una revisión documental sobre los estudios ergonómicos (biomecánicos y antropométricos) precedentes y que convergen en la necesidad del cambio tecnológico. El trabajo de campo se desarrolló en la sabana de Bogotá, donde se encuentran varias fincas con cultivos de rosas para exportación. Las fincas visitadas hacen parte de la agremiación agroindustrial “ASOCOLFLORES” que es la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores.

Como resultado final del estudio de campo de esta fase V se entregaron tres documentos de trabajo a las fincas participantes. El primero sobre las condiciones de mantenimiento de las tijeras, el segundo sobre los rangos de fuerza ejercida para el corte según las variedades de las rosas y los diámetros de sus tallos y el tercero sobre el estado y oferta tecnológica de herramientas de corte manual, neumática y eléctrica.

2.2.6 Fase VI. Exploración conceptual para solucionar la problemática de corte intensivo de rosas desde una perspectiva simétrica.

La exploración conceptual se fundamentó sobre dos grandes estrategias: procesos participativos (talleres y sesiones de toma de decisiones con los trabajadores de los cultivos) para la construcción de parámetros de decisión y definición de la solución; y la aplicación de los principios de la ergoecología, modelo como estrategias para asegurar la perspectiva simétrica en el DDP. La propuesta conceptual de la herramienta de corte buscó por un lado, cumplir con los principios simétricos socio-tecnológicos, apoyados en procesos participativos y por otro lado, seguir los principios integrales de la ergonomía y la ecología (ergoecología).

Como resultado final de la fase VI se logró el ensamble de métodos de ergonomía (MOST) y de métodos ambientales (Biomimesis), para atender la intensión de una perspectiva ergoecológica y con simetría socio-tecnológica en la exploración de alternativas conceptuales. Por último, de una de las alternativas de diseño, se desarrolló un documento de patente de una herramienta de corte, que está en fase de revisión técnica y jurídica y se someterá al proceso de patente.

2.2.7 Fase VII. Conclusiones. Aportes al CV en la ingeniería concurrente orientada al entorno.

Las conclusiones son un apartado que recoge los análisis, reflexiones y resultados de las anteriores etapas, estableciendo una visión de estudios y publicaciones futuros, bajo un espacio de frontera para la ingeniería y el diseño de productos, haciendo converger algunas perspectivas teóricas y metodológicas de la ergonómica, la ecológica y la sociología de la ciencia y la tecnología. Se requiere construir tanto un lenguaje de transacción entre sociología e ingeniería, como entre ergonomía y ecología basados en nuevos conceptos que operen multidisciplinariamente. Se buscará crear una línea de investigación en el grupo MIMAPRO (Micro y macro-ergonomía de productos y procesos) para desarrollar nuevos proyectos de investigación, integrando estudiantes de la maestría en diseño, para que los estudios del CVP puedan ser abordados desde nuevas perspectivas.

2.3 Cronograma

El cronograma da cuenta de tres grandes etapas de trabajo doctoral: La etapa de docencia, la etapa de realización de tesis y la etapa de defensa de tesis.

En la etapa de docencia se tomaron los siguientes cursos y seminarios:

- Mercados y patentes
- Creatividad

- Estructuración de nuevos proyectos
- Ingeniería concurrente
- Ingeniería de producto y proceso
- Innovación
- Prototipos y pequeñas series

El trabajo de investigación tutelada se tituló: Reconocimiento inicial: Enfoques de documentos – Papers (casos, métodos, técnicas y conceptos) relacionados con el diseño para seres humanos / usuarios / clientes / consumidores / colaboradores.

El examen de suficiencia investigadora DEA, se basó en el trabajo anterior y en las presentaciones de los congresos: 11th International Design Conference 2010 y el XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos AIEPRO 2010.

La estancia en Alemania, en el Instituto de Ergonomía (IAD Darmstadt) se concentró en apoyar el avance de la iniciativa propuesta por la International Ergonomics Association, denominada Ergonomics Quality in Design (EQUID) que se orienta a ver la calidad de la ergonomía a lo largo de todo el CVP, para llegar a una guía básica para los equipos de DDP.

En la etapa de realización de la tesis se adelantaron las siguientes actividades:

Una revisión documental sistemática, apoyada por un proyecto de investigación, para reconocer métodos y tendencias en Ergonomía y Factores Humanos (EFH) y métodos y tendencias en Factores ambientales.

El desarrollo del modelo de ciclos a partir de lo anterior y el trabajo de investigación para el estudio de caso, que permitió el diagnóstico y el desarrollo de alternativas de herramientas de corte desde una perspectiva ergoecológica. Junto a lo anterior, se desarrollaron en paralelo varios artículos, tanto para congresos como para revistas indexadas. Adicionalmente se elaboró un documento de patente de la herramienta de corte.

Por último, en la etapa de defensa se revisó el cumplimiento de los objetivos, la formulación de conclusiones y propuestas futuras y la elaboración del documento final y la presentación de la defensa.

CRONOGRAMA DE FASES DEL TRABAJO DE LA TESIS DOCTORAL								
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Etapa de docencia								
Cursos y seminarios								
Trabajo de investigación tutelada								
Examen de suficiencia investigadora. Diploma de Estudios Avanzados (DEA)								
Estancia en Instituto de Ergonomía, IAD Darmstadt, Alemania. Apoyo en iniciativa de la IEA - EQUID								
Etapa de realización de la tesis								
Planteamiento teórico - conceptual								
Estudio de Métodos y Tendencias en EFH								
Estudio de Métodos y Tendencias en Factor ambiental								
Desarrollo del modelo de ciclos								
Proyectos de Investigación para estudio de caso: Corte intensivo de tallos de rosas en invernadero.								
Exploración conceptual para solución de problemática de corte intensivo								
Desarrollo de ponencias congresos								
Desarrollo de artículos revistas indexadas								
Elaboración de documento de patente								
Etapa de Defensa de tesis								
Corroboración de preguntas y objetivos								
Elaboración de documento de tesis								
Conclusiones y propuestas futuras								
Presentación y defensa								

Figura 2.1 Cronograma de trabajo

3. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE MODELOS DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO

3.1 Ciclo y ciclo de vida

Un “ciclo” es una serie de estados, procesos, pasos, fases o etapas por las que recorre y se transforma algo; es decir, son una secuencia de etapas concatenadas por las que atraviesa un suceso, fenómeno o ente y que transcurren en determinado tiempo – espacio, susceptibles de repetirse en el mismo orden (Rae, 2001). Se habla de “ciclos” en varios ámbitos del conocimiento, como una serie de cualidades y propiedades concatenadas que ocurren periódicamente, por ejemplo, el ciclo de Carnot, el ciclo circadiano, el ciclo del agua, el ciclo del oxígeno, el ciclo del carbono, entre otros.

Ahora bien, un “ciclo de vida” es un concepto de las ciencias biológicas para comprender la alternancia y sucesión de generaciones o especies en el tiempo. De forma general, un “ciclo de vida” comprende la aparición (nacimiento), desarrollo, madurez y finalización (muerte) de entidades, organismos o sistemas vivos (Bonner, 1993). Por tanto, se pueden comprender los “ciclos de vida” como las dinámicas en el tiempo para mantenerse con vida, de acuerdo con las características y cualidades de cada ser o sistema vivos.

3.2 Ciclo de Vida de Producto (CVP)

A partir de este concepto propio de la biología, disciplinas como el mercadeo (marketing) y la ingeniería, adoptaron el concepto de “ciclo de vida”, adaptándolo a entidades no vivas como los productos /servicios, procesos o sistemas tecnológicos, para referirse a las diferentes condiciones por las que pasan, en una serie de procesos y etapas en determinado tiempo – espacio.

El “ciclo de vida de producto” (CVP) puede reconocerse bajo dos grandes taxonomías, ambas inspiradas en la analogía biológica de cómo los seres vivos tienen ciclos donde los individuos en función del tiempo, cumplen con una serie de fases con características generalizables a las diversas especies que habitan los ecosistemas de la tierra. En dicho ciclo de vida se pueden identificar a grandes rasgos las fases de: concepción, nacimiento, desarrollo, crecimiento, madurez y muerte.

La primera taxonomía de CVP–M (Ciclo de Vida de Producto – Mercadeo) o en inglés [M–PLC] (Product Life Cycle – Marketing) tiene como antecedentes el trabajo de Dean (1950) que planteaba cómo los productos terminan por ser reemplazados por nuevos, en un “ciclo de degeneración competitiva”. Bajo estas ideas preliminares del comportamiento de los productos en el mercado, se empezó a desarrollar el concepto de CVP–M desde la perspectiva económica (business theory), hasta consolidarse durante los años 60 e inicios de los 70, más exactamente, en las escuelas de negocios y marketing post–keynesianas de Alemania y Estados Unidos. Dichas escuelas estaban ocupadas en la teoría de la difusión y adopción de las innovaciones, como un modelo útil para representar y teorizar sobre lo que pasa con los productos

que se lanzan en el mercado, es decir, el comportamiento del producto en función de su vigencia en el mercado. Para los negocios y el marketing el énfasis de los modelos de CVP está en comprender y evaluar el comportamiento de los productos (como un colectivo) frente a los mercados y los consumidores. Uno de los primeros autores que describe cómo un producto recorre una serie de fases reconocibles en función del mercado es Heuss (1965). Según Greiner & Hanusch (1993), aunque Heuss en su trabajo no hablaba explícitamente de la noción de ciclo de vida de producto, sí mencionó el hecho de que una mercancía transita por fases como: desarrollo, expansión, madurez, estancamiento y declinación, siendo ésta la simiente conceptual.

La segunda taxonomía de CVP-I (Ciclo de Vida de Producto – Ingeniería) o en inglés [E-PLC] (Product Life Cycle – Engineering) ha sido más diversa y heterogénea en términos conceptuales y se ha tratado de consolidar desde la perspectiva de la ingeniería y el diseño y desarrollo de productos a finales de la década de los 80 y principios de los 90, en la corriente relacionada con la ingeniería concurrente, también denominada ingeniería simultánea o diseño total (Pugh, 1991). La ingeniería concurrente requería de un modelo integrador tanto del desarrollo del producto, como del desarrollo de los procesos de producción. Por tanto, para la década de los 90, la adopción y conceptualización de un CVP-I era una adecuada estrategia, máxime con el despliegue de desarrollos de sistemas CAD y CAM y otras aplicaciones computacionales orientadas a las especificaciones de los productos y la gestión de la cadena de suministros, que requerían de convergencia en la gestión de datos de producto y en la gestión del ciclo de vida de producto (Ameri & Dutta, 2005). Para la ingeniería y el diseño, el énfasis que se hace hoy día en los modelos de CVP es a través del diseño colaborativo, que a su vez es estimulado por el crecimiento de las tecnologías de la información y la computación (García-Acosta, Lange-Morales, Puentes-Lagos, & Ruiz-Ortiz, 2011).

Es importante reconocer que en ambas taxonomías, el comportamiento del producto (como una entidad) es observado en función del tiempo, pero con diferentes propósitos. Para la perspectiva de los negocios y el marketing, un ciclo es el tiempo de vida del producto a lo largo de la relación demanda / consumo en el mercado, identificando la conducta de las ventas del producto, mientras que para la perspectiva de la ingeniería y el diseño, un ciclo es el tiempo de vida desde que se concibe el producto a lo largo de su capacidad de funcionar, ser útil y usable, reconociendo su vigencia u obsolescencia. Veamos una síntesis de la conformación teórico - conceptual de cada una de las taxonomías de CVP.

3.3 Revisión teórico – conceptual: evolución de los modelos de ciclo de vida de producto en el ámbito de los negocios y el marketing (CVP-M)

El concepto de CVP-M se desarrolló como hipótesis y como marco teórico para evaluar la conducta de las ventas a lo largo del tiempo, de los atributos de nuevos productos lanzados al mercado y así prever las actividades de inversión, costos y ganancias de las compañías. Tiene sus orígenes de forma sistemática en los años 60 con autores como Patton (1959), Levitt (1965), Buzzell (1966), Polli & Cook (1969), Vernon

(1966, 1979), Wells & Gubar (1966), Cox (1967), Wells Jr. (1968) y Wells (1972) y posteriormente Polli & Cook (1969). Wells estableció una comparación entre el CVP y el modelo “Heckscher–Ohlin” previendo mayor capacidad de explicación dinámica del comportamiento del mercado a partir del CVP–M. Para la mayoría de autores en este ámbito, el común denominador conceptual era que un producto tenía un patrón de comportamiento identificable por el éxito o no de sus ventas en el mercado, dentro de un ciclo caracterizado por cuatro grandes fases: introducción, crecimiento, madurez y declive. A partir del modelo de Vernon (1966) algunos autores como Auty (1984) concibieron el estado de transformación que sufre el producto en el mercado bajo tres fases: Pionero, maduro y eclipsado. Como se mencionó anteriormente, el argumento conceptual en el que se fundamentó el CVP–M fue una analogía del campo biológico (Dhalla & Yuspeh, 1976), en donde los productos, como colectivo y de manera similar a los seres vivos, aparecen o nacen, luego maduran, generalmente declinan y finalmente salen del mercado, esto es, mueren. Esta deducción parecería obvia hoy día y tal vez por ello como lo refirió Vernon (1979), no fue rigurosamente teorizado como modelo de explicación del comportamiento de los productos en el mercado y se pasó por alto conceptualmente por muchos años, a pesar de haber sido observado por teóricos de la economía desde Hume, Ricardo y Marschall, entre otros.

Desde mediados de la década del 60, se consideró útil el CVP–M para prever el crecimiento o decrecimiento de la demanda de un producto. Observando los hábitos de compra de los consumidores o la diferencia entre los patrones de consumo según las estaciones del año, la compañía podía estimar los tiempos que tenía para lanzamientos o relanzamientos de productos. De esta manera, se empezaron a desarrollar diversas expresiones matemáticas para comprender y analizar la relación entre el crecimiento de la demanda y el tiempo en el mercado, como por ejemplo la función de Rogers o la función de Nielson–Cox, obteniendo una serie de gráficas características según el comportamiento de las ventas (Polli & Cook, 1969). Un avance en los estudios cuantitativos del CVP–M fue hecho por De Kluyver (1977) quien desarrolló un modelo predictivo para ver cómo la conducta de un CVP estaba directamente correlacionada con el grado de novedades de un producto. En general, todos los modelos matemáticos desarrollados en los 70 en el área de los negocios y el mercadeo, buscaban predecir con exactitud el momento en que un producto pasaba de una fase a otra, pues era muy útil en la planeación estratégica de aspectos como: la regulación de los lapsos (extensión del ciclo) de los lanzamientos, la previsión del punto de compensación entre inversión y ganancia, la decisión del momento en el que se debe relanzar o incluso reemplazar un producto al predecir el punto de declive, por mencionar algunos. Por ejemplo, Rink & Swan (1979) mencionaron como uno de los primeros programas computacionales el ‘LIFER’, basado en cálculo diferencial y desarrollado por Cooke & Edmondson (1973), que aunque tenía limitaciones en el número de parámetros y no incluía variables exógenas, fue un modelo predictivo aplicable en la planeación de las ventas.

En los años 70 todos los modelos de CVP–M buscaban que un producto pudiera tener un crecimiento en sus ventas alto y luego en su fase de madurez se prolongara el mayor tiempo posible, pues no existía tanta

presión de la competencia por hacer innovaciones en corto tiempo y al contrario, los valores que estaban en juego eran la consolidación de sus nichos de mercado en función de buena calidad y durabilidad. En línea con lo anterior, Michael (1971) propuso una nueva fase al CVP–M que denominó petrificación, para tratar de explicar el punto en donde un producto antes de salir del mercado (muerte) puede tener un “segundo aire”, esto es, detener la abrupta caída en las ventas y recuperar las ganancias, prolongando su existencia en el tiempo, en un estado que él llamó como petrificación.

Field (1971) menciona que la discusión sobre el CVP–M se estimuló con el creciente interés de extender el campo del marketing hacia la planificación de producto y su gestión. En los años 70, para la fase de madurez dentro del CVP–M se buscaba el crecimiento y la estabilidad de un producto, antes que “arriesgar” con innovaciones en la misma línea de productos. Los aportes a la comprensión del comportamiento de los productos en el mercado, con estudios y simulaciones, permitieron identificar por ejemplo que: podían existir periodos de crecimiento corto y de madurez prolongada; la estabilidad era diferente a la saturación del mercado, esta última ocurría si nuevas formas de producto no se podían obtener con la tecnología existente y; el declive era apenas un periodo de ajuste, pero no siempre implicaba la salida del mercado (muerte), sino incluso, podía existir un ascenso después de un renovado periodo de ventas que llevaba a una nueva estabilidad (Polli & Cook, 1969).

Desde los años 70 es reconocido que el CVP–M varía dependiendo del mercado que se esté observando, es decir, un mismo producto puede estar atravesando una fase distinta de CVP–M en diferentes contextos o segmentos del mercado. Por ejemplo, en un contexto puede haber sido lanzado hace un tiempo, mientras que en otro contexto puede ya haber alcanzado la madurez, llegando a identificar un mosaico de CVP–M, que se distinguen no solo por la fase que atraviesan, sino por la diferencia en la duración en cada una de las fases. Dos ajustes conceptuales fueron planteados por Enis La Garce et al. (1977): en primer lugar, asumir al CVP–M como una variable dependiente, es decir, como el resultado de decisiones estratégicas implementadas en un tiempo en particular, o como variable condicionada por las características del desarrollo tecnológico, la competencia, la legislación y la vigencia utilitaria del producto, por mencionar algunos, y no como la causa o como una variable independiente. En segundo lugar, abandonar la idea de que un CVP–M debería ser confirmado por el análisis de la marca. De hecho, según Enis La Garce y colaboradores, la confusión entre marca y producto se evidenció en los resultados negativos de los estudios emprendidos a finales de los 60 por el Marketing Science Institute.

Rink & Swan (1979) en una investigación documental sobre estudios y aplicaciones del CVP–M, caracterizó por lo menos 12 patrones típicos con sus respectivas fórmulas y gráficas de representación, descubiertos por investigadores en diferentes escenarios (productos de consumo durables, no durables y algunos bienes industriales o de capital), que mostraban comportamientos muy diferentes entre sí, respecto del crecimiento, estabilidad o decrecimiento de las ventas. Así por ejemplo, estos investigadores encontraron estratégico desde el punto de vista de la gestión del marketing, prever la fase de declive del

CVP–M (longitud o elasticidad) y planificar con tiempo ya sea mantener el producto en el mercado, o reemplazarlo por un nuevo producto, reconociendo la estabilidad del precio según los márgenes de ganancia que se podían manejar. Lo más destacable del trabajo de Rink & Swan (1979) fue establecer una aproximación multidimensional de 23 variables que podrían enriquecer los estudios y los modelos de aplicación del CVP para el marketing y los negocios, contemplando por ejemplo, sólo por mencionar algunas de las variables: el tipo de cliente (consumidor, industrial); la condición de perecedero del producto; la tangibilidad (producto, servicio); el grado de novedad; el tipo y tamaño de compañía; el nivel de agregación del producto (clase, forma, marca); el tipo de distribución; el número de productos y el tipo de productos. Sobre esta misma línea de CVP–M, Dowling & Cooper (1989) desarrollaron un modelo basado en un programa de simulación llamado SIMSCRIPT, que utilizaba un paquete de reglas de inferencia, a partir de ser alimentado por variables como por ejemplo los tiempos de compra de la gente y el subsecuente rango de tiempo que toma una nueva compra. Al final de correr el simulador, se obtuvieron ocho nuevos patrones de la gráfica del CVP–M, adicionales a los ya encontrados por Rink & Swan. Todos los desarrollos del modelo mostraron que el comportamiento del CVP–M visto como gráfica del tiempo en función de las ventas, podía tener diversas versiones al ser afectados de manera compleja por variables como la actitud de compra, los hábitos de compra, el impulso social o el rechazo social a la compra, y en general otra serie de variables difíciles de predecir. Como lo citan Cao & Folan (2012), otros estudios de los 90 como Wood (1990) y Michelle-Grantham (1997) reconocieron la importancia del modelo de ciclos para el seguimiento de las ventas, pero también mencionan sus limitaciones para realizar análisis prospectivos. En síntesis, la complejidad y robustez del modelo CVP–M en los años 90 se hizo evidente al ver la necesidad de contemplar variables de índole socio-cultural como los mencionados anteriormente.

En los últimos 25 años, es decir, desde la década del 90 y hasta la primera década y media del siglo XXI, la hipótesis del CVP–M planteada por Levitt (1965), Vernon (1966) y sus sucesores se ha consolidado como un importante instrumento ya no solo en el campo del marketing y los negocios, sino en el campo de las ciencias económicas, como se evidenció con los trabajos de Segerstrom, Anant et al. (1990), que desarrollaron un modelo para comprender el comercio como un equilibrio dinámico entre países desarrollados y países en proceso de desarrollo, combinando la hipótesis del CVP–M con la descripción de innovación de producto shumpeteriana, bajo un modelado matemático de funciones integrales.

En la revisión sistemática sobre los modelos de CVP publicados desde 1965 a 2009 realizada por Cao & Folan (2012), describen que después de la introducción teórico-conceptual de mediados de los años 60, trece artículos se han publicado como extensión de la teoría a otras áreas hasta el año 2009 y finalmente 45 artículos sobre el uso del modelo se han escrito también hasta el año 2009, lo que muestra la madurez y difusión del modelo CVP–M.

En síntesis, lo que más se destaca del modelo CVP–M es que las fases o etapas del ciclo, conceptualmente se han mantenido a lo largo del tiempo, como consenso académico y disciplinar, con

pequeñas variaciones que no han cambiado lo fundamental, como por ejemplo incluir la fase de saturación en medio de la madurez y el declive. La gran mayoría de autores hablan y concuerdan en las siguientes fases del CVP–M, a partir del trabajo clásico de Levitt (1965):

1. Introducción o lanzamiento al mercado.
2. Expansión o crecimiento en el mercado.
3. Madurez en el mercado.
4. Saturación en el mercado (optativo para algunos autores).
5. Declive y muerte en el mercado.

Finalmente, el concepto de CVP–M en el ámbito del marketing ha cumplido prácticamente cincuenta años de vigencia. A pesar de las crecientes críticas, tanto para los académicos como para los gestores de empresas se ha convertido en un concepto clave y ‘nuclear’ en la teoría de la gestión del marketing, independientemente de las controversias y críticas, el concepto de CVP–M se ha extendido tanto en la teoría como en la práctica y como lo cita Wood (1990), muchas variantes o categorías se han planteado del modelo de ciclo de vida de producto en el campo de los negocios (CVP–M), por ejemplo:

1. Ciclo de vida de la demanda (Demand Life Cycle - DLC).
2. Ciclo de vida de la demanda tecnológica (Demand–Technology Lifecycle - DTLC).
3. Ciclo de vida de la industria (Industry Life Cycle - ILC).
4. Ciclo de vida de categoría de producto (Product Category Life Cycle - PCLC).
5. Ciclo de vida de clase de producto (Product–Class Life Cycle - PCILC).
6. Ciclo de vida de forma de producto (Product–Form Life Cycle - PFLC).
7. Ciclo de vida de la marca (Brand Life Cycle - BLC).

3.4 Revisión teórico – conceptual: evolución de los modelos de ciclo de vida de producto en el ámbito de la ingeniería y el diseño (CVP–I)

Como se mencionó, la teoría del CVP se gestó en el campo de los negocios y el mercadeo y desde el inicio de su conceptualización, los mismos autores animaron el uso del modelo en disciplinas diferentes al mercadeo. Así, autores como Wells Jr (1968) y Enis La Garce et al (1977) establecieron las primeras conexiones entre CVP–M y lo que poco a poco iría emergiendo como un modelo de ciclo de vida en la ingeniería y el diseño de productos (CVP–I). Wells Jr (1968) argumentaba hace casi 50 años, que el éxito de un producto en un ciclo comercial, dependía de la combinación entre una buena estrategia del mercado y la capacidad de realizar rápidamente ajustes al diseño del producto en la manufactura o en las etapas más tempranas de su ciclo de vida, de acuerdo con las necesidades de los consumidores. De forma indirecta, Wells previó el camino para corrientes contemporáneas como la inclusión temprana de los usuarios para la definición de requerimientos y especificaciones y la identificación estratégica de nuevos valores del producto.

Por su parte, Enis La Garce et al (1977) replantearon las fases del CVP como: Desarrollo, ingreso, mantenimiento, proliferación y salida, para reemplazar las clásicas fases de introducción, crecimiento, madurez y declive, con el fin de reducir malas interpretaciones derivadas de la analogía biológica y comprender el ciclo de manera más compleja. Con la inclusión de la fase de desarrollo, dichos autores reconocieron que un producto tiene unas etapas donde se concibe y crea, antes que se ponga a venta en el mercado, lo que de inmediato permitió estimar la relación de las ventas con los costos y las ganancias. La fase de ingreso abarcó lo que en el clásico modelo eran introducción y crecimiento, y dio como ventaja, reconocer la inversión y las ganancias, eliminando el arbitrario punto de inflexión derivado sólo por las ventas. La fase de mantenimiento se interpretó como las fluctuaciones de las ventas en función de variables y características del mercado, pero abrió también el análisis del comportamiento social de los consumidores. La fase de proliferación indicó el comportamiento no sólo de un producto, sino la promoción de sus variantes para diferentes segmentos y usuarios. El concepto de proliferación también tuvo gran empatía con los posteriores modelos de CVP-I, pues permitió hablar de familias de productos y de las variaciones en la cartera de productos sobre la base de una misma arquitectura de producto. Por último, la fase de salida se concibió con la posibilidad de programar en qué momento conviene retirar el producto o si simplemente se le dejará agotar como un ciclo natural de durabilidad. De nuevo, con este concepto la cercanía a nociones como la obsolescencia programada irán conformando los conceptos propios y diferenciables de los modelos de CVP-I. En síntesis, los aportes de Enis LA Garce et al (1977) fueron fundamentales para el desarrollo conceptual del CVP-I, pues abrieron un espacio para teorizar cómo surgen nuevos conceptos y desarrollos de producto, tecnologías aplicadas, materiales y procesos de producción, tipologías de productos dentro de la empresa, o incluso, la previsión de innovaciones incrementales, mejorando anteriores modelos del producto.

Otro puente entre los modelos CVP-M con los CVP-I es mencionado en el trabajo de Pyburn & Curley (1984), quienes refieren a Hayes & Wheelwright (1979) y Abernathy & Utterback (1978), como autores que plantearon no solamente nuevas taxonomías tales como la de ‘ciclo de vida de proceso’ o ‘ciclo de vida de la tecnología’, sino la necesidad de coordinar las políticas y estrategias del marketing tanto con las de diseño de producto, como con las de los procesos de manufactura. Dichos autores mostraron que tanto el proceso de producción como la estructura de la organización cambian a medida que la producción cambia de una pequeña empresa de base tecnológica a una empresa con más alto volumen de producción. Hayes & Wheelwright (1979) plantearon una matriz de proceso – producto, para evaluar fortalezas y debilidades y definir las implicaciones en la planificación estratégica de las empresas, ya no sólo desde el escenario del mercadeo, sino desde sus capacidades y prospección de sus procesos de producción. Toda esta corriente dará origen a diferentes perspectivas de aproximación reconocidas aún hoy día como: “ingeniería de ciclo de vida” [Life-cycle Engineering” (LCE)].

Como último puente de conexión entre el campo de la economía y la tecnología desde los modelos de CVP está el destacado trabajo de Ayres & Martinas (1992) que plantearon un marco teórico unificado

respecto a la interdependencia del CVP con el ciclo de vida de la tecnología (CVT). Los autores resaltaron la importancia del aprendizaje y la experiencia sobre la tecnología, y su efecto en los ciclos, como por ejemplo la habilidad para la reducción de costos atribuible a la experiencia de los conocedores de la tecnología. El modelo matemático de Ayres & Martinas (1992) permitiría a las empresas tomar ventaja competitiva al aplicar tres parámetros: a) la tasa de descuento, b) la tasa de crecimiento de experiencia acumulada y, c) la relación del costo de la experiencia. La consecuencia de todo esto era que quienes tuviesen más conocimiento y experiencia acumulada sobre la tecnología, más competitividad lograrían.

Ahora bien, ya desde el campo de la ingeniería, Finger & Dixon (1989) hicieron una revisión sistemática sobre los procesos de diseño en la ingeniería, determinando seis grandes áreas de investigación teórico metodológica, una de ellas identificada como “diseño para la manufactura y otros aspectos del ciclo de vida como el servicio y la disponibilidad”. Mencionaban que los diseñadores y desarrolladores de producto habían estado ocupados de la función y ajustes requeridos en el producto, pero surgió la preocupación por hacer fáciles los procesos de manufactura, la disponibilidad y la logística de servicios. Todo lo anterior se potenció a finales de los años 80, al considerar todos los aspectos de la vida de un producto, desde su concepción hasta su disposición final, en lo que emergió como diseño concurrente o ingeniería simultánea. La perspectiva concurrente del diseño del producto y su manufactura, empezó a exigir menos departamentalización, mayor flujo de información y plataformas para el trabajo de diseño colaborativo. Finger & Dixon (1989) reconocían dos perspectivas interdependientes del ciclo de vida de diseño (CVP-I), por un lado la relacionada con el conocimiento, esto es, adquisición, organización y uso del conocimiento a lo largo de todo el ciclo, para decisiones tempranas y robustas; y por otro lado, los estudios enfocados en la organización y el control en los procesos de diseño, que permitieran desde el principio la concurrencia de aspectos del ciclo de vida.

Autores como Keys (1990) que trabajaron sobre la “ingeniería del ciclo de vida del sistema” no reconocieron el origen desde mercadeo, sino que lo atribuyeron a pioneros de la ingeniería de diseño como Asimov (1962). Para Keys, los líderes académicos de la ingeniería de diseño, el desarrollo de un producto debía ser tratado como un proceso, con una metodología específica y nombrada como “ingeniería del ciclo de vida del sistema”, “diseño para el ciclo de vida” o “metodología para el diseño, planificación y desarrollo”. En la ingeniería del diseño del producto, surgían paralelamente dos solicitudes, por un lado la necesidad de contemplar costos de manufactura, involucrando los procesos más pertinentes para ello, y por otro lado, contemplar mejor las capacidades de desempeño del producto, previendo buena calidad, fiabilidad o suficiente soporte de mantenimiento. De lo anterior resultaron como respuesta, aportes metodológicos hacia los procesos de calidad total, el diseño para la manufactura y el diseño para el ensamble, entre otros. De acuerdo con lo anterior, Keys (1990) identificó unas fases estratégicas de la ingeniería del ciclo de vida y desarrolló esquemas de: los elementos de un ciclo de vida de producto; las fases de transformación del producto; la modelación de costos y; las relaciones entre el

desarrollo del producto y las funciones de la organización. Todos estos esquemas representan el abordaje sistemático de la ingeniería del ciclo del producto.

Así como Asimov (1962) es reconocido como un pionero en la ingeniería de producto, Taguchi (1950) citado por Finger & Dixon (1989) también tiene su lugar, especialmente en lo que se conformaría como ingeniería concurrente. Por muchos años, la ingeniería y el diseño del producto estuvieron separados de la ingeniería de procesos de producción, estableciendo dificultades para lograr la calidad y el bajo costo de los productos desde la perspectiva de sus procesos productivos. Con la propuesta desde la ingeniería de calidad, Taguchi concibió el “diseño robusto” que fundamentalmente buscaba que los esfuerzos se concentraran en pensar desde la fase de diseño del producto, cómo sería la forma más fácil, económica y de calidad de producirlo, de tal manera que los ajustes del diseño ahorrarían tiempo y dinero, cumpliendo con las expectativas del cliente (i.e calidad), de esta manera se sincronizaban el diseño del producto, el diseño de los procesos y propiamente la fabricación del producto. Este postulado se empezó a aplicar en algunas empresas como ingeniería de la calidad durante las décadas de los 60 y 70, reforzada luego con la conformación de equipos con personas de diversas áreas de la empresa y la aplicación de la metodología del despliegue de la calidad (QFD), entre otras. Durante las décadas de los 80 y 90, adicionalmente a la calidad, se sumaron nuevas necesidades, como la velocidad de respuesta al mercado respecto a la competencia, por ello aparecieron metodologías como “justo a tiempo”. Con todo este terreno abonado surgirían una serie de metodologías denominadas “diseño para X”(DfX) i.e “diseño para el ensamble”, “diseño para la manufactura”, “diseño para la calidad”, “diseño para la logística”, “diseño para la mantenibilidad”, “diseño para el desensamble”, etc. Todas ellas orientadas a la convergencia de la ingeniería de producto y proceso, y acogidas dentro de la teoría de la ingeniería concurrente. Ahora bien, estudiando autores como Finger & Dixon (1989 part II Part II), Boothroyd & Alting (1992), Lee & Melkanoff (1993), Yan, Zhou et al (1999), el capítulo 5 de Lundquist, Leterrier et al.(2001) y Krumenauer, Matayoshi et al. (2008), se deduce que toda esta emergencia de métodos de DfX desde finales de los años 80, empezó a coincidir y a ser asociado junto con la evolución del CVP-I. Para Cao & Folan (2012) es durante la década del 90 que se iniciaron los esfuerzos por tratar de integrar todas las dispersas metodologías DfX hasta ese momento, bajo la ingeniería de ciclo de vida.

Ishii (1998) describió varios conceptos clave relacionados con la modularidad, ya trabajada por Ulrich (1995), como: las propiedades compartidas, la flexibilidad, la cadena de suministros, los servicios asociados, el reciclaje y la reparación, entre otros. Para Ishii, el “diseño para la modularidad” de un producto podría impactar todas las etapas del ciclo de vida, pero a su vez la cadena de suministros impactaría la modularidad. También, la modularidad afectaría la logística de servicios y el reciclaje en términos de desensamble, separación, reparación y reprocesamiento. Los fabricantes se podrían beneficiar con una metodología que analice las posibilidades de la arquitectura modular de un producto, haciendo eficiente el ciclo de vida, por la capacidad de responder a mantenimientos, actualizaciones y generaciones de familias de productos. Ishii (1998) desarrolló una rigurosa referencia de trabajos precedentes, para dar

cuenta de la evolución de conceptos que se relacionan como hechos específicos del ciclo de vida, tales como “diseño para el ensamble”, el “diseño fiable”, el “diseño para modos de falla” y el análisis de efectos, estos últimos orientados para facilitar el servicio de mantenimiento y además tener logísticas de soporte específicas –“diseño para el servicio”–. En todos los anteriores, las gráficas del diseño para la modularidad jugarían un papel fundamental, impactando los tiempos, costos y la rapidez de suministro, de plataformas y arquitecturas de productos complejos, como dispositivos de comunicación, ordenadores y en general productos electromecánicos.

Yan, Zhou et al (1999) asumieron como sinónimos el CVP-I y el desarrollo de productos y procesos integrados, lo que confirma lo arriba expuesto, que desde el punto de vista teórico y conceptual, se fueron haciendo coincidir los conceptos de diseño robusto, diseño total e ingeniería de ciclo de vida, como parte de la filosofía de la ingeniería concurrente, orientada a tener un marco de referencia genérico, donde se pudieran integrar metodologías de desarrollo de procesos y de producto. Para Yan, Zhou et al (1999) el concepto de desarrollo de producto debería evidenciar más requerimientos y consideraciones de todo el ciclo de vida y no solo aspectos de uso y función. Por ejemplo, requerimientos de las características de manufactura (DfM), de las formas de ensamble (DfA) y de las posibilidades de reciclaje (DfE), este último apoyado por la metodología de “análisis de ciclo de vida” (LCA). Los autores construyeron un modelo matemático de fases de vida consecutivos, con sub-estructuras, entradas y salidas externas evaluables (con algoritmos) como factores entre cada fase, donde se podían reconocer y evaluar los requerimientos deducibles de cada fase, como por ejemplo, tecnologías disponibles, costos e impactos ambientales. Las ventajas que señalaban Yan, Zhou et al (1999) respecto de su modelo eran: hacer una aproximación sistemática; abstraer los requerimientos no funcionales en una representación matemática; integrar fácilmente consideraciones ambientales; reducir tiempos de desarrollo de producto y obtener más ganancias para las empresas.

Hirao & Fukushima (1999) desarrollaron una evaluación de impactos del ciclo de vida de las botellas plásticas en PET, examinando tres escenarios para reducir los impactos ambientales: reciclaje de material en cascada; reciclaje químico y reciclaje térmico. Estos escenarios se analizaron cuantitativamente desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ y el consumo de petróleo. Lundquist, Leterrier et al. (2001), incluyeron nuevos conceptos en el CVP-I haciendo énfasis también en el manejo de materias primas plásticas en términos de durabilidad y confiabilidad. Los autores destacaron la importancia de la reducción del uso de materias primas, la extensión de vida del producto, la extensión de vida del material, y el mejoramiento de procesos, todos ellos apoyados en métodos de DfX como “diseño para el reciclaje”, “diseño para el ensamble y el desensamble” y con el uso de herramientas informáticas para el diseño “verde”. Lundquist, Leterrier et al. (2001) partía de la necesidad de optimizar el consumo de los recursos, por medio de estrategias de negocios, donde las compañías se orientaran a integrar tecnologías y productos con conciencia ambiental. La experiencia podía mostrar que la implementación exitosa de medidas ambientales tempranas basadas en el CVP-I, estimulaba la simplificación innovadora de los

productos, atraía nuevos clientes, reducía costos de producción y reducía los impactos ambientales. Dicha simplificación podía ser por ejemplo: peso del material, espesor de paredes, desperdicios en proceso, estructuras huecas, miniaturización, integración de funciones, materiales y procesos. Para Lundquist, Leterrier et al. (2001) la extensión de la vida del producto presentaba más retos, pues el diseño de productos se pensaba para “usar y tirarse”, por obsolescencia tecnológica o de moda, de manera que la vida útil no correspondía a la durabilidad de los materiales. Dichos autores al igual que Ishii (1998), argumentaba que una forma de lograr la extensión de la vida del producto era pensar una arquitectura flexible y modular, de manera que se facilitara el mantenimiento, la reparación y la remanufactura, para un desempeño óptimo o una actualización del producto (como nuevo). Respecto a la extensión de la vida del material, esta se podría lograr con la optimización de los materiales, el diseño para el reciclaje, la reducción de partes y sub-ensambles con sistemas de identificación de materiales y especificaciones de materiales reciclables y reciclados.

Las publicaciones de Kiritsis, Bufardi et al.(2003) y Jun, Kiritsis et al. (2007), muestran las últimas perspectivas del CVP-I, que introducen la idea de “gestión o ciclo de vida de producto de bucle cerrado”. Para estos autores, el CVP-I se compone de tres grandes estados: inicio de vida (BOL), incluyendo las etapas de diseño y producción; mitad de vida (MOL), que contiene las etapas de logística (distribución), uso, servicio y mantenimiento; Fin de vida (EOL) que incluye etapas como logística inversa, remanufactura (desensamble, remodelación, reensamble, etc.), reuso, recycle, y disposición final. Los autores plantearon el ciclo de bucle cerrado, porque hoy día las tecnologías de la información y las herramientas informáticas permiten hacer un más ágil, integral y acumulado seguimiento de la información del producto a lo largo de todo el ciclo. Por ejemplo, con el rápido desarrollo del internet y las variadas tecnologías de identificación y localización del producto, se cambió la noción de ciclo, en donde tanto en mitad de vida como en fin de vida, antes no se podía saber dónde y en qué estado estaba el producto o qué le ocurría al final. Con los dispositivos de información embebidos en el producto (PDEI) como las radiofrecuencias y los geo-localizadores, se puede hacer un seguimiento y trazar, en tiempo real, el camino sobre la totalidad del ciclo del producto (productos inteligentes). Dichos dispositivos de información pueden ser capaces de reunir, procesar y guardar datos en sí mismos, para luego de reunidos, ser enviados a los gestores de los productos. Para Jun, Kiritsis et al. (2007), las características más importantes de un CVP-I de bucle cerrado son: Los desarrolladores de producto podrán tener información fiable y ser capaces de conocer las formas de uso real, las condiciones de fallo, retiro y disposición final, con el propósito de mejorar los diseños del producto. Los ingenieros de producción podrán contar con datos en tiempo real desde la tienda. Los asesores de servicio y mantenimiento podrán ofrecer asistencia en tiempo real sobre la condición del producto. Los recicladores y reutilizadores podrán ser capaces de obtener información precisa respecto al estado y valor de los materiales, así como las rutas del fin de vida para analizar las condiciones del producto y los modos de aprovechamiento alternos.

En otra revisión sistemática de prácticas y metodologías de gestión del ciclo de vida, Zheng, McMahon et al.(2008), planteaban la existencia de características clave para el desarrollo global y colaborativo de productos, que debían ser identificadas a lo largo del ciclo. Zheng y colaboradores desarrollaron un marco o propuesta de integración para la gestión del CVP–I, partiendo de: los fundamentos de las características, como bases para su aplicación; la cobertura de todas las fases del CVP en un programa de planificación, gestión y control; y la retroalimentación permanente con una gestión del conocimiento y la información.

En síntesis, Cao & Folan (2012) en la revisión histórico – sistemática plantean que el CVP–I tiene orígenes desde tres diferentes aproximaciones: desde el CVP–M; desde el ciclo de vida del servicio; desde el “análisis del ciclo de vida” o la “valoración del ciclo de vida” [Life-cycle analysis o Life-cycle assessment (LCA)] y desde “costeo de ciclo de vida” [Life-cycle Costing (LCC)]. Krasowski (2002) incluía en el CVP–I tanto el LCA como el LCC, junto con la valoración estructural del producto (ProSa). Por tanto, el surgimiento del LCA y el LCC fueron fundamentales, pero también todas las herramientas informáticas (CAD, CAM, CAE) y todo el conjunto de métodos de “diseño para X”.

Por último, Cao & Folan (2012) describen modelos de CVP–I con diferentes fases y formas de representación. Los autores señalan que para la ingeniería de diseño, la construcción teórico-conceptual propia se inicia a mediados de los años 80. 10 artículos publicados se centran en la evaluación hasta el año 2009 y finalmente 22 artículos destacados se publicaron entre el periodo 2004 - 2009, lo que muestra que continúa el interés por el desarrollo y evolución de los modelos CVP–I, y a su vez, es una temática que requiere seguir avanzando y consolidándose.

El último modelo referido es el que desarrolla Kiritsis, Bufardi et al.(2003) y Jun, Kiritsis et al. (2007) de bucle cerrado, mencionado anteriormente con tres grandes estados (BOL;MOL; EOL), pero aunque guardan cierta similitud todos los modelos revisados, las fases y su secuencia no están estandarizadas como las del modelo CVP–M. Aún no se ha llegado a un consenso entre la comunidad científica y profesional, respecto a la jerarquía, secuencia y número de las variadas versiones de fases, lo que hace más complejo el avance del modelo CVP–I por la diversidad de propuestas. No obstante, basados en el trabajo de Cao & Folan (2012), se pueden deducir las siguientes fases del CVP–I:

1. Concepto (decisión y definición).
2. Diseño.
3. Producción (Manufactura / ensamble).
4. Distribución
5. Uso /servicio/mantenimiento.
6. Disposición final /fin de vida.

El concepto de CVP–I en el diseño y la ingeniería lleva alrededor de treinta años de desarrollo y aplicación, la gran mayoría centrada en la metodología LCA, que es la que acapara la mayor cantidad de publicaciones, aplicaciones y versiones. De acuerdo con lo anterior, se hará un recuento específico de la

evolución conceptual del método LCA, pero es importante aclarar que pocas publicaciones como Alting & Legarth (1995), hacen la distinción conceptual y de alcances entre los modelos más globales de “gestión del ciclo de vida”, los modelos de la “ingeniería de ciclo de vida” y la “valoración del ciclo de vida”.

3.5 Valoración del ciclo de vida [Life-cycle analysis o Life-cycle assessment (LCA)]

Desde una perspectiva paralela a lo descrito hasta el momento, otro de los orígenes y a la vez derivaciones del CVP-I son los desarrollos del “costeo de ciclo de vida” (LCC) y el “análisis del ciclo de vida” (LCA) inicialmente trabajados en el seno del Departamento de Defensa de los Estados Unidos en los años 60-De acuerdo con la revisión sistemática de Cao & Folan (2012),el Departamento de Defensa estadounidense desarrolló el “costeo de ciclo de vida” como un marco para estimar el incremento de los costos totales del desarrollo, producción, uso y retiro de los sistemas de armamentos, mientras que de acuerdo con Westkämper, Alting et al.(2001)como antecedentes al LCA se empezó a desarrollar a principios de los años 70 una metodología para comprender el flujo de sustancias y materiales, al medir los impactos ambientales y el consumo de los recursos asociados. Los dos conceptos siguieron evolucionando en paralelo durante los años 80, desarrollándose como métodos, herramientas y aplicaciones informáticas, que se fueron integrando y haciendo más robustos con las directrices y normativas sobre manejo ambiental de empaques y desperdicios.

Al inicio de los años 90, Lee & Melkanoff (1993) fueron de los primeros autores en incluir los costos de manufactura dentro de la metodología LCA, planteando como etapas el análisis de: ingeniería, manufactura, pruebas, servicios y disposición final. En cada una de las anteriores etapas se planteaba medir el desempeño cualitativo y cuantitativo del producto, tanto en cada una de ellas como a lo largo de todo el ciclo. Así por ejemplo, con el análisis de la manufactura, se lograba identificar la secuencia óptima de los procesos para hacer un producto y al mismo tiempo, las decisiones concurrentes tomadas en las diversas etapas del ciclo llevaban a rápidas acciones para impactar el futuro servicio y mantenimiento del producto.

Durante toda la década de los 90 autores como Alting & Legarth (1995), Lee, O’Callaghan et al. (1995), Ayres (1995) e Ishii (1998) aportaron y al mismo tiempo criticaron el desarrollo de la metodología del LCA.

Alting & Legarth (1995) realizaron una revisión del estado del arte respecto al CVP-I, y propusieron estrategias para evaluar y reducir el consumo energético. Mencionaban desde aquella época, que los fabricantes debían volverse responsables por el desempeño ambiental de sus productos, a través del CVP, partiendo de la extracción de materias primas hasta la disposición final de los productos al final del ciclo. Para los autores, la CVP-I era la base para decidir el concepto de producto, la estructura, los materiales y el proceso, mientras que el LCA era la metodología para visualizar y medir (valorar) las consecuencias

ambientales de dichas decisiones. Alting & Legarth (1995) plantearon una matriz para el desarrollo de producto con conciencia ambiental y la valoración con estrategias de reducción de impactos en cada una de las fases del CVP-I, como por ejemplo: uso de material reciclado / renovable, uso de materiales de bajo consumo energético, ahorro en el consumo de materias primas, reducción de la demanda de energía durante el uso y conservación de la calidad de los materiales. Adicionalmente, realizaron una revisión sistemática de métodos y herramientas del LCA, encontrando 18, la gran mayoría cuantitativas. Dicho inventario fue confrontado y ampliado en nuestra revisión sistemática, mostrando que a la fecha no solo siguen vigentes la mayoría de herramientas, sino que han surgido nuevas (Calderón, 2014).

Ayres (1995), concebía el LCA como una herramienta para definir política ambiental, y al mismo tiempo prospectar escenarios sobre la comparación cuantitativa del flujo de materiales y energía a nivel regional y global, desde la “cuna hasta la tumba”. Planteaba que ante el desconocimiento de datos estándar, confiables y directos, el método debería de basarse en las leyes de la termodinámica y la química, para deducir dichos datos, asumiendo que era mejor tener datos deducidos, que no tenerlos. Ayres (1995) reconocía las dificultades de la confiabilidad de la evaluación, pero insistía que esto pasaba a ser secundario y el LCA mantenía utilidad, aun así manejara una técnica imperfecta de evaluación, porque evaluaba la eco-toxicidad, la toxicidad a humanos, el agotamiento de los recursos, la acidificación y el impacto nutricional de terrenos, entre otros. Finalmente mencionaba que la valoración perdería utilidad, si los datos físicos en los que se basaba, estaban erróneos.

En concordancia con Ayres, Lee, O’Callaghan et al. (1995), argumentan la importancia de la confiabilidad metodología, pues el “inventario de ciclo” podría ser mal usado, produciendo resultados erróneos y afectando las decisiones sobre las acciones ambientales. A mediados de los años 90, aparecieron muchos signos de que la conducta de compra de los consumidores empezaba a ser afectada con el nuevo perfil de consumo “verde”, por los criterios del impacto ambiental como las regulaciones nacionales e internacionales y los eco-sellos. Todo esto a su vez impulsó la creación tanto de políticas, como de planes de gestión ambiental en las empresas, por ejemplo, al ahorrar en consumos de energía y materias primas, se obtendrían nuevas fuentes de ganancia. Los autores definieron con claridad lo que compone y significa la metodología LCA así:

1. El “inventario de ciclo de vida”, como una base de datos objetiva, para cuantificar requerimientos de energía, materias primas, emisiones al aire, consumo de agua y residuos sólidos, entre otros.
2. El “análisis de impactos del ciclo de vida”, como una técnica (cualitativa – cuantitativa) para caracterizar y evaluar los efectos de las cargas ambientales identificadas en el inventario.
3. El “análisis de las mejoras del ciclo de vida” estudio sistemático de las necesidades y oportunidades para reducir la carga ambiental asociada con la energía y materias primas involucradas a lo largo de todo el ciclo.

En síntesis, Lee, O’Callaghan et al. (1995) plantearon una visión sistémica, donde existían tres componentes de interacción dentro del método LCA: los aspectos tecnológicos (con su inventario); los aspectos sociales, (con su análisis de impactos y mejoras) y; los aspectos ecológicos (con su respectivo inventario, caracterización de recursos disponibles y análisis de impactos).

Para Pennihgton, Norris et al. (2000) el LCA debía estar basado en una buena métrica de los factores de caracterización, equivalencia y potencia, que dieran cuenta de hechos relacionados con materiales químicos, emisiones y consumo de materias primas, y que afectarían tanto el agotamiento de los recursos (agua, tierras, especies y biomasa), como la salud humana y ecológica. Para los autores, los problemas ambientales que amenazan la sostenibilidad cada vez eran más evidentes, por ejemplo, el calentamiento global, la afectación a la capa de ozono, la acidificación, la eutrofización y los impactos toxicológicos. Para evaluar lo anterior plantearon construir una cadena causal que estimara mediciones iniciales y finales en la cadena de componentes como: Dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NOX), Monóxido de Carbono (CO), depositados en el agua, suelos, plantas, océanos, entre otros, para finalmente estimar el daño toxicológico en peces, humanos, otros animales y bosques. Para Pennihgton, Norris et al. (2000) aún persisten limitaciones con el uso de la metodología LCA, por un lado, por el grado de lo que podemos comprender, predecir y representar de las complejidades de las interacciones de los sistemas humanos con el ambiente; por otro lado, por la naturaleza y confiabilidad del inventario de datos (recursos y emisiones). Lo anterior impacta los esfuerzos por reducir la probabilidad de las consecuencias negativas asociadas.

Curran (2000) en una revisión sistemática del uso y aplicaciones del LCA mencionaba cuatro componentes estratégicos de la metodología: a) definición de la meta; b) inventario; c) valoración de impactos e; d) interpretación, coincidiendo en gran parte con lo planteado anteriormente por Lee et al (1995). Adicionalmente, mencionaba la importancia de la aparición de la norma ISO 14042: 2000, que establece como gestión ambiental, las guías para la valoración de impactos. Es de destacar que posteriormente se publicó la ISO 14040: 2006 que describe el marco general y los principios para aplicar la LCA, incluyendo la definición de la meta, principios y marco de referencia. Por último, Curran (2000) menciona como aplicativos informáticos: Advantage, SimaPro, GaBi, SPINE, PEMS, TEAM, Umberto y Athena.

Finalmente, hoy día, la ingeniería y el diseño, utilizan el CVP–I como estructura para teorizar, modelar y proyectar lo que pasa con los productos/servicios que son empleados en un contexto, es decir, el comportamiento del producto/servicio con relación a su vigencia de uso, función y utilidad. El modelo de CVP–I no es reciente, pero aún no ha llegado a su madurez y consenso, por tanto se mantendrá vigente a pesar de las controversias que se señalarán más adelante, por su utilidad para incorporar no solo nuevos conceptos, sino nuevos retos. Se cierra esta sesión, enumerando las variantes del modelo de ciclo de vida de producto que se han planteado en el campo de la ingeniería (CVP–I) así:

1. Gestión de ciclo de vida de producto (Product Lifecycle Management – PLM).

2. Gestión del ciclo de vida de producto de bucle cerrado (Closed-loop Product Lifecycle Management - CL-PLM).
3. Ingeniería de ciclo de vida (Life Cycle Engineering - LCE).
4. Ciclo de vida de la tecnología (Life Cycle of Technology - LCoT).
5. Ciclo de vida del proceso (Life Cycle Process - LCP).
6. Ciclo de vida de los materiales (Material Life Cycle - MLC).
7. Ciclo de vida del soporte logístico (Logistic-Support Life Cycle - LSLC).
8. Ciclo de vida de desarrollo de sistemas (System Development Life Cycle - SDLC).
9. Ingeniería del ciclo de vida del sistema (System Life Cycle Engineering - SLCE).
10. Costeo del ciclo de vida (Life-cycle Costing - LCC).
11. Valoración del ciclo de vida o análisis del ciclo de vida (Life-cycle analysis o Life-cycle assessment – LCA).

3.6 Controversias, limitaciones y retos de los modelos de CVP

3.6.1 Controversias sobre el CVP-M

Las controversias alrededor de los modelos de CVP-M han estado prácticamente en paralelo con el inicio de sus planteamientos conceptuales en los años 60 y centradas, por un lado, en autores que defendían su capacidad como marco conceptual y modelo para predecir de forma dinámica el comportamiento del mercado i.e. el crecimiento o decrecimiento de la demanda. Por otro lado, algunos autores veían muy reducidas las capacidades para prever cambios derivados de las características del contexto del mercado, e incluso, limitaciones del modelo CVP-M para realizar un verdadero ejercicio prospectivo e identificar nuevas demandas y comportamientos de las ventas. Es más, los mismos autores conceptuales del modelo, le han formulado críticas y limitaciones.

Un autor como Levitt (1965) que estimuló hace décadas investigaciones empíricas realizadas por el Market Science Institute utilizando el modelo CVP-M, lo cuestiona en el sentido de su insuficiente inserción en las empresas. Levitt realizó una encuesta con ejecutivos de compañías y encontró que todos ellos tenían familiaridad con el concepto de CVP-M, pero realmente ninguno lo había aún utilizado de manera estratégica o táctica dentro de sus compañías. En un estudio posterior realizado por Polli & Cook (1967) señalaron fuertes reservas sobre la validez del uso del CVP-M y concluían, que cuando es usado sin una cuidadosa formulación y comprobación como un modelo explícito, es más probable que induzca a errores a que sea verdaderamente útil. Para responder a lo anterior, los mismos autores (Polli & Cook 1969) desarrollaron un modelo descriptivo-estadístico para evaluar y pronosticar rigurosamente el comportamiento de las ventas y así, como lo decían ellos, dejar de ver el CVP-M como una torpe analogía biológica.

Uno de los autores más asertivos en sus críticas desde el punto de vista epistemológico fue Field (1971), quien cuestionó fuertemente la existencia y validez del CVP–M como analogía biológica, llegando a proponer como concepto alternativo el ciclo de aceptación de un producto (Cycles of Acceptance). Field (1971) argumentó asertivamente, que el uso de conceptos antropomórficos como gestación, madurez y senectud llevan una carga semántica y unas connotaciones, que aplicados en situaciones u objetos inanimados trae problemas y posteriores inconsistencias analíticas. Otros críticos a la validez del modelo de CVP–M fueron Dhalla & Yuspeh (1976), quienes señalaron como principales inconsistencias a la analogía biológica utilizada, el hecho que la duración de cada fase en un ciclo de vida de los seres vivos se establece en términos precisos y sobre todo, cada paso de una fase a otra es una secuencia irreversible e inmutable. De acuerdo con lo que mencionaron Dhalla & Yuspeh, se puede afirmar que los seres vivos en condiciones naturales y en términos generales siempre replican un patrón de duración de vida y que ninguna de sus fases, por ejemplo la madurez, se puede prolongar indefinidamente. Adicionalmente, argumentaron que dichas características de irreversibilidad e inmutabilidad no ocurren en el mundo del marketing con los productos, lo que desvalida según ellos, el modelo de CVP–M. Ponen como ejemplos de su argumentación, la vigencia (en estado de madurez permanente) del whisky escocés, el vermú italiano y los perfumes franceses, cuya “expectativa de vida” aún no se le ve agotamiento.

En los años 90 Wood (1990) concluía que el concepto de CVP–M había sobrevivido a su propio ciclo y por tanto, debía ser considerado de acuerdo con su propia fuerza dogmática. Dicha fuerza, según Wood derivó en una miopía de no reconocer las limitaciones del CVP–M por ser un modelo estocástico y no determinístico. Por otro lado, Wood advirtió que las evidencias empíricas han demostrado que muchos productos nunca mueren, sino que se mantienen vigentes, por poner un par de ejemplos los jeans y la coca-cola, pues los productos pueden seguir diferentes patrones y diferentes escalas de tiempo. El CVP–M implica cierta irreversibilidad e inevitabilidad, lo cual es contrario a la evidencia empírica que muestra productos declarados “muertos”, luego reanimados y con crecimiento, o por lo menos con estabilidad en el mercado. Como crítica adicional al modelo, se mostró la dificultad de predecir o reconocer cuándo un producto pasa de una fase a otra. La transición de un estado a otro ha estado lejos de un corte preciso y determinado y la transición irreversible de nacimiento, crecimiento, madurez y muerte, característica de los seres vivos, ha estado lejos de ser inevitable en los productos. Por todo lo anterior, Wood consideró que continuar enseñando el concepto de CVP–M produciría daño, al limitar el pensamiento estratégico en la gestión del marketing, pues no sería una herramienta confiable de predicción de lo que pasa con las ventas y las ganancias. Autores como Kotler (1988) aceptaron que el valor del CVP–M para la previsión directa de las ventas de un producto es limitado, en cambio, puede ser más aplicable para establecer patrones históricos de ventas y de allí deducir posibles desempeños para planificación y control. Todas estas controversias se han mantenido hasta nuestros días, pero indudablemente el concepto del modelo ha madurado y se ha vuelto más robusto y lejos de ser abandonado, aún sigue y se seguirá utilizando.

3.6.2 Limitaciones del CVP-M

Las variables dentro del CVP-M pueden utilizarse para explicar fenómenos de interés relacionados como por ejemplo, la relación entre el porcentaje de ventas y ganancias obtenidas en relación con el tiempo del producto en el mercado, o para especificar qué parte de un modelo de CVP-M es aplicable al mundo real. Y el segundo aspecto es reconocer los límites de la aplicación de los modelos de CV-M, por ejemplo no es común verlo aplicado a marcas de productos, porque el comportamiento no es tan directo o fácil de correlacionar con productos de compra infrecuentes o no determinados por el impulso del consumo o la publicidad. Para dichos casos, ver el CVP-M en función de ventas o ganancias, puede significar tiempos de madures extendidos o “petrificados”. De acuerdo con Auty (1984), el CVP-M puede ayudar a comprender las tendencias de los ciclos de oferta y demanda dentro de las industrias, pero no es una herramienta que en realidad pueda predecir los desarrollos futuros tanto de mercados, como de nuevos productos, debido a que entran en juego muchas variables que envuelven diversos caminos y por lo tanto mucha incertidumbre. Sin embargo, Auty (1984) menciona que con los trabajos con énfasis en modelos probabilísticos de Tichy (1984), se abren así nuevos espacios para estudios que exploren la previsibilidad.

3.6.3 Retos del CVP-M

Es un reto lograr y mantener la competitividad e innovación de las compañías, pues se requiere de nuevas herramientas de mayor poder predictivo no especulativo, para la toma de decisiones respecto a las conductas de los consumidores y para decidir sobre sus políticas de mercado. Tener la capacidad de reconocer la emergencia de las preferencias de los consumidores y darles respuesta con adecuados productos, plantea retos al desarrollo de modelos que traten sobre la evolución en el mercado como el desarrollado por Werker (2003) que se basa en el concepto de Dosi (1982) de paradigma tecnológico y en el concepto de Winter (1984) de regímenes tecnológicos, integrándolo al CVP-M. Dosi argumenta que el paradigma tecnológico se puede reconocer a partir de algunos productos básicos y sus posibles caminos tecnológicos que den información para futuras investigaciones. Winter por su parte plantea que el régimen tecnológico permite a las empresas liderar y obtener ganancias con su innovación, por tener el control y acceso limitado a su tecnología. A partir de lo anterior el modelo de Werker ayuda a comprender cómo las dinámicas de la evolución del mercado configuran la competitividad y el desempeño del mercado, obteniendo resultados de la simulación mucho más útiles para prever respuestas a los mercados, que las simples intuiciones económicas. Sobre esta misma línea de ver la relación entre la orientación del mercado y el CVP-M están los trabajos de Wong & Ellis (2007), que reconocen cómo las diferentes etapas del CVP-M son afectadas por la variación en la competitividad y los cambios rápidos y fuertes (turbulentos) en la tecnología y el mercado. La orientación del mercado se vuelve más valiosa en empresas que tienen productos en etapas de crecimiento y madurez, que en empresas con productos apenas en introducción o ya en etapa de declive.

Otro reto reciente es incluir en el desempeño del CVP-M la noción de sostenibilidad, entendida como las demandas ciudadanas de conocer o tener más transparencia sobre el balance de las compañías con el

capital ambiental y social y no solo económico. En esta perspectiva se han planteado modelos de proceso continuo como el de Pineno (2012) basados en la gestión del conocimiento al interior de todos los departamentos de la compañía, a partir de una plantilla de registro, para tener una gestión de la sostenibilidad basada en valores sociales y ambientales y no sólo económicos. Ahora bien el verdadero reto no está tanto en los modelos o herramientas que integren al CVP-M la sostenibilidad, para Danciu (2013) por ejemplo, el reto está en si las compañías tienen ya incorporado en su ADN y como un valor la sostenibilidad. De ahora en adelante, para obtener éxito las empresas deben enfocarse en estrategias de diseño y desempeño para “mejorar la sostenibilidad”.

Como último reto podemos mencionar dos condiciones, por un lado la necesidad de CVP-M con mayor capacidad predictiva y por la otra, incluir más cantidad de variables en los modelos CVP-M, como por ejemplo la cadena de suministros. Relacionado con modelos predictivos, Orbach & Fruchter (2014) crean en un modelo matemático que opera como un sistema discreto no lineal que depende de un pequeño conjunto de parámetros muy robustos, apoyados en una plataforma informática. Dicho modelo se orienta a mejorar las capacidades de recompra, actualización y adopción de los productos, de manera que se logre mayor tiempo de vida, manteniendo en el tiempo, las prestaciones y por tanto la utilidad. Respecto a la incorporación de la cadena de suministros, Besbes, Allaoui et al. (2013) desarrolla las consideraciones de la denominada “cadena de suministros verde” que está impulsada por las iniciativas de sostenibilidad de todas las partes interesadas y que debe tener en cuenta la gestión los impactos ambientales y los problemas de utilización de materiales, lo que hace que la selección de los actores de la cadena de suministro sea una decisión más meditada. Si se quieren tener buenos indicadores de desempeño ambiental, la selección de los actores de la cadena de suministros, debe estar fuertemente guiada por el rol que asumen a lo largo de todas las etapas del CVP-M. Las metas económicas y ambientales llevan a definir criterios que deben responder los actores de la cadena como: de investigación y desarrollo, costos, calidad, servicio, capacidad de respuesta e impacto por emisiones (i.e. huella de CO₂).

3.6.4 Controversias sobre el CVP-I

A principios de los años 80, McCracken & Jackson (1982) en una exposición crítica, mencionan que pueden reconocerse diez pasos que conforman el ciclo de vida en el desarrollo de sistemas: Análisis organizacional; evaluación de los sistemas; análisis de factibilidad; plan del proyecto; diseño lógico; diseño físico; implementación; operación; revisión / evaluación. Sin embargo, para los autores, aunque parecía cómodo aceptarlos, había que dudar en sentido estricto, que se pudieran hacer converger todas las variantes conceptuales de ciclo de vida. McCracken & Jackson (1982) establecieron tres argumentos críticos: 1) Cualquier forma de ciclo de vida era una estructura de gestión de proyecto impuesta sobre el desarrollo de un sistema y se asumía como la única alternativa de enfrentar grandes proyectos. Ante la falta de adecuadas herramientas para su manejo, los autores esperaban en las siguientes décadas el desarrollo de otras herramientas que permitieran reevaluar los postulados del ciclo de vida. 2) El concepto de ciclo de vida mantenía el error de no construir puentes efectivos de comunicación entre los usuarios

finales y los desarrolladores del sistema. Para McCracken & Jackson (1982), el ciclo de vida restringía el pensamiento futuro, al tratar de encajar con el patrón de fases creado y ocuparse de fallas del sistema como hechos del pasado. 3. Para ellos, el concepto de ciclo de vida rigidizaba el pensamiento y sobre todo, la participación fluida de los usuarios finales y los cambios dinámicos del proceso de desarrollo.

Desde la mirada actual, los anteriores cuestionamientos eran el reconocimiento emergente de valorar al usuario final a lo largo de todo el proceso, lo que hoy conocemos como algo estructurado y denominado diseño centrado en el usuario (DCU), como previo al surgimiento de la usabilidad y el diseño inclusivo. Lo valioso de esta crítica es que se hizo ver que si las etapas se asumían rígidas en los ciclos y sobre todo sin bucles de retroalimentación se invertiría más tiempo y recursos sin resolver o prever los problemas de uso. Investigaciones superficiales y sin participación directa de los usuarios hacían cumplir determinadas condiciones en una etapa para poder pasar a otra. Por el contrario, las investigaciones actuales centradas en el usuario permiten ahorrar recursos y tiempo, que antes se invertían en comprobaciones y descartes de modelos de pruebas en etapas avanzadas de diseño, o incluso, después de haber decidido respecto a procesos de producción.

Otra controversia esencial, pero poco señalada en la literatura estudiada, es la falta de convergencia y unidad paradigmática en cuanto a la teoría de los modelos de CVP-I. En ese sentido, autores como Zheng et al. (2008) señalan en su propuesta, algunas dificultades para llegar a un modelo de gestión integral del CVP-I, como por ejemplo:

1. Diferentes empresas usan diferentes términos y definiciones en sus implementaciones del modelo de ciclos de vida.
2. Diferentes términos son usados por los académicos y profesionales durante el DDP.
3. Diferentes categorías de conceptos clave operan con diferentes enfoques de producto.
4. Los conceptos clave son dinámicos, adaptados según el abordaje metodológico y por tanto, tienen diferentes puntos de vista.

En línea con lo anterior, se reconocen diversos modelos de ‘ciclo de vida de producto en ingeniería’ (CVP-I) caracterizados por representar etapas o fases por las que transcurre un producto, que van desde la concepción como producto, hasta su fin de vida como objeto. Los modelos de CVP-I representan y permiten explicar lo que le pasa y por lo que pasa un producto en función del tiempo. Ahora bien, en la literatura especializada, los modelos CVP-I son nombrados de diversas maneras y además se pueden encontrar variaciones tanto en la cantidad como en la designación de las etapas/fases que lo conforman. Las diferentes versiones del modelo revisadas anteriormente indican por lo menos tres aspectos controversiales y problemáticos, desde el punto de vista teórico y conceptual:

1. La diversidad en la cantidad, cobertura y significado de las etapas/fases que conforman el ciclo han producido dispersión en la interpretación y aplicación del CVP. En la literatura científica y

técnica consultada a lo largo de la anterior revisión sistemática, se nombran las etapas de distintas maneras y en los documentos publicados prácticamente no se atiende que dicha diversidad y su consecuente dispersión dificultan el avance disciplinar.

2. La falta de unificación en los conceptos de los modelos de CVP-I muestran una vigente ambigüedad teórica. Dicha ambigüedad se pasa por alto en la mayoría de los casos, pues los estudios dan por hecho que el modelo teórico ha sido suficientemente explicado, opera y se obtienen resultados, por lo que muchos autores pasan rápidamente a concentrarse en el uso de los modelos a partir de casos de aplicación.
3. La ausencia de nociones consensuadas por la comunidad científica, más allá de las contempladas en las etapas/fases, dificulta explicar y dar cuenta de manera integral, los fenómenos por los que el producto pasa a lo largo de su existencia.

Los tres aspectos expuestos anteriormente evidencian como principal problema conceptual, la capacidad de representación y cobertura de los modelos CVP-I, por lo que es pertinente orientar esfuerzos para precisar nociones y desarrollar conceptos.

3.6.5 Limitaciones del CVP-I

Para Ayres (1995), el ejercicio de cuantificar y balancear los flujos de energía y materiales en un CVP aplicando la metodología LCA es muy valioso, si se hace cuidadosamente, pero la dificultad está en el acceso y la confiabilidad de la información como recursos publicados (datos requeridos). Mucha información denominada como confidencial, no es verificable y en algunos casos errónea, por ejemplo categorías de: sólidos suspendidos, polvos, metales, sólidos disueltos, orgánicos disueltos, desechos industriales, residuos minerales, desechos diversos, residuos de materiales compuestos, entre otros. Ante la ausencia de un sistema contable formal y universal del balance de materiales, pueden aparecer errores no detectables en la aplicación de la valoración de un ciclo. Para Ayres, es un error que los usuarios de la metodología LCA busquen establecer unidades de medición, totalmente comparables y comunes, pues muchos de los flujos que se quieren medir son incompatibles. Ahora bien, la otra dificultad señalada por Ayres es que la selección y evaluación de los diferentes impactos ambientales, no pueden ser comparables al no tener los mismos patrones o unidades de medición. El autor prefiere ocuparse de la confiabilidad y consistencia de los datos, por ello propone un modelo basado en leyes de la termodinámica, a tener datos incompletos o imprecisos que afecten la valoración. Señala que la confiabilidad de la aplicación del método LCA se afecta por cuatro aspectos:

1. Fallas en la publicación de datos de procesos subyacentes, atribuibles a la credibilidad de las fuentes.
2. Fallas en la imposición de las condiciones de balance de materiales y en los datos de los inventarios.
3. Intentos injustificados para sustituir la energía implícita u otras inadecuadas teorías de valor, para valorar la base del mercado.

4. Un pequeño fallo puede afectar significativamente la confiabilidad de la valoración.

Para Lee et al (1995) las debilidades del método LCA están en que se concentra en ver las entradas y salidas físicas y no se ocupa de aspectos como la salud humana o el impacto de la calidad estética de los productos. Lee et al., de manera similar a Ayres, consideran como una limitación la falta de estandarización metodológica y la no inclusión o extensión de sus técnicas. La extensión y robustez se volverán muy importantes para moverse hacia un ritmo más sostenible, lo que al mismo tiempo requiere de un profundo conocimiento del sistema ecológico y sus interacciones y una habilidad de los investigadores para determinar los efectos del gran detrimento para la sociedad o para el ambiente con la continua generación de más productos.

Los modelos de CVP-I han seguido evolucionando, sobre todo basados en constructos matemáticos, para apoyar la toma de decisiones en las diferentes etapas del ciclo y así obtener mayor robustez, dadas por la inclusión de más variables. Sin embargo, esto no ha sido suficiente para resolver la toma de decisiones con incertidumbre. Uno de los modelos más ambiciosos desarrollado para la etapa de diseño conceptual es el de Shin et al. (2010), donde proponen una herramienta para la toma de decisiones, partiendo del método QFD y transformado en la casa extendida de la calidad (HOQ), incluyendo el manejo de aspectos cualitativos y cuantitativos, que les permita a los ingenieros y diseñadores aplicar varias directrices, teniendo en cuenta las relaciones entre las voces de los clientes, los requerimientos y determinantes técnicos y la selección de características de ingeniería pertinentes. Sin embargo, el enfoque propuesto tiene limitaciones reconocidas por los mismos autores, por ejemplo, en la fase de diseño conceptual se presentan graves incertidumbres sobre los valores óptimos para el costo de inversión de un nuevo desarrollo y fabricación de producto, pues aún no se tienen los materiales y procesos totalmente identificados o definidos. Aunque se construyeron algoritmos heurísticos, estos se pueden bloquear, ya que la problemática a resolver no es lineal. Por lo tanto, métodos heurísticos basados en análisis cualitativos pueden ser más útiles y adecuados en dicha fase, ya que son más flexibles e intuitivos que los métodos cuantitativos. La experiencia en empresas como Toyota ha mostrado ventajas al generar y mantener varias alternativas de concepto de producto, antes que haberse fijado y limitado a una sola alternativa conceptual, por lo menos hasta llegar a un nivel de mayor desarrollo y aplicación de pruebas de inicio.

3.6.6 Retos del CVP-I

Los retos y acciones planteados para los modelos de CVP-I se pueden reconocer desde la década de los 90. Todos ellos hoy día o se han hecho realidad o mantienen su vigencia, Así por ejemplo, para Lee & Melkanoff (1993) tres ejes de acción deberían ser asumidos para el futuro:

1. Trabajar métodos analíticos para evaluar sistémicamente los cambios y efectos de la conducta operacional en los productos y simultáneamente, ver sus efectos en otros procesos de ciclo de vida desde una perspectiva de sistemas.

2. Medir las compensaciones del ciclo de vida, esto es, una aproximación analítica de las compensaciones entre un ciclo y otro.
3. Proponer sistemas de desarrollo de producto interconectado, debido a la dispersión que se empezaba a reconocer de diferentes métodos y herramientas analíticas, este último reto preveía el futuro surgimiento del diseño colaborativo, que en el presente, permite operar sobre plataformas informáticas en procesos de DDP globales.

Para Alting & Legarth (1995) los desafíos que se planteaban para la ingeniería de DDP en las próximas décadas era poner énfasis en la holística de la calidad del CVP-I, a través de la cooperación interdisciplinaria entre políticos, economistas, científicos e ingenieros. En aquella época se iniciaba un cambio en los conceptos de la producción industrial y las actitudes de la sociedad de consumo, por un lado, por la creciente sensibilización hacia los aspectos ambientales y por otro lado, por el incremento de las resoluciones, directrices y legislaciones, presionadas desde la base de un cambio de actitud de la sociedad y de las ONGs, hacia la responsabilidad social y ambiental que deberían asumir las industrias. Alting & Legarth preveían que una prosperidad de las industrias no tiene otro camino si no ponen en su visión, en claras metas de productos sostenibles para una sociedad sostenible. En esa dirección, los autores insistían que los modelos de CVP-I deberían poder calcular los costos ambientales tanto en los países desde donde se obtienen las materias primas (originación), como en los lugares de destinación de los productos. Este cálculo de costos debería incluir los impactos ambientales de la actividad internacional, lo que permitiría ver con mayor certidumbre el equilibrio / desequilibrio global de las responsabilidades de todas las partes interesadas y así incluir estímulos o sanciones según el manejo ambiental, pero sobre todo, se podrían reconocer y establecer acciones para ahorrar recursos naturales preciosos o no renovables. Otro reto identificado por Alting & Legarth era la construcción de un desarrollo industrial y logístico alrededor del reciclaje, para obtener flujos cerrados de materiales y así reutilizar los recursos una y otra vez, basados en el diseño para el desensamble.

Desde el punto de vista del método LCA, Lee, O'Callaghan et al. (1995) planteaban que los procesos de manufactura deberán ser claramente definidos y comprendidos, para asegurar su valoración. Además, se requería desglosar suficientemente la información sobre recursos, materias primas y componentes, para dar con la profundidad necesaria en el estudio de valoración del ciclo. Sobre los datos y su confiabilidad los autores planteaban por ejemplo:

1. Las fuentes de los datos deberán ser de naturaleza creíble y confiable.
2. Los datos deberían ser lo más recientes al momento de realizar la aplicación de la valoración del ciclo.
3. Los datos deberían ser derivados de fuentes que permitan imitar el sistema lo más cerca posible.

Coincidiendo con los postulados de Lee, O'Callaghan et al., Ayres (1995) decía que sólo con una adecuada medición se pueden hacer juicios racionales, por ello, esperaba que en los futuros años, esa

disponibilidad y acceso confiable de los datos se fuera solventando. El autor veía que la metodología LCA podría ser desacreditada por un uso descuidado de datos inconsistentes e imposibles, pero por supuesto, no era su deseo.

Ahora bien, frente a los anteriores retos formulados en los años 90, lo que desafortunadamente está pasando en la actualidad respecto al método LCA es que por un lado, todavía no se ha logrado un acceso transparente y universal a los diversos inventarios y por otro lado, aún no hay consensos o criterios unificados para su manejo y aplicación.

En este nuevo siglo, nuevos retos también se han estado formulando alrededor de los modelos de CVP-I, por ejemplo para Jun et al. (2007), la complejidad en el manejo de la información del producto ha llevado a formular modelos de bucle cerrado, para que sea más efectiva la gestión de la información, al hacer énfasis en el seguimiento y gestión de dicha información con retroalimentaciones al interior de cada fase, entre las fases y en la totalidad del ciclo. El reto está en crear nuevas habilidades empresariales para analizar cambios y tomar decisiones, más rápidas y acertadas, potenciando por ejemplo la logística reversa. Esto estimulará una mayor conexión y responsabilidad dentro de todas las partes interesadas como clientes, proveedores, aliados, entre otros.

Un reto confirmado es el estímulo a la tendencia en el trabajo de diseño colaborativo, planteado inicialmente por Lee & Melkanoff a principios de los años 90. Para Zheng, McMahon et al.(2008), dicho reto se mantiene, pues se deben fortalecer los métodos de diseño colaborativo usando características clave, como lenguajes comunes. Adicionalmente, se requiere establecer las características clave y la capacidad de procesamiento de datos a nivel de empresas extendidas, por ejemplo, todas las firmas proveedoras que participan en la cadena de suministros. El trabajo colaborativo se facilitará en la medida que se tenga la capacidad de registro y designación común de características clave, basados por ejemplo en modelados digitales tridimensionales del producto. Finalmente, para la gestión del CVP-I se requiere de herramientas informáticas como común denominador, con capacidad para la gestión del conocimiento y la información.

En esta misma línea de pensamiento de creación de herramientas informáticas, Shin, Jun et al. (2011), desarrollaron una herramienta para la toma de decisiones en la parte de diseño conceptual, para tratar de reducir lo subjetivo, cualitativo e incierto de dicho proceso a partir del conocimiento de las tecnologías y los costos esperados de producción. Sin embargo, proponen cuatro retos para trabajos futuros.

1. Desarrollar una función más realista que represente una relación precisa entre el grado de calidad del diseño y el costo de inversión sobre las características de ingeniería, como por ejemplo, la experiencia y habilidades de los diseñadores.
2. Considerar la relación entre los requisitos del ciclo de vida y las características de la ingeniería de detalle y cómo dichas interrelaciones afectarían el resultado final.

3. Elaborar algoritmos de búsqueda heurística, bajo situaciones con problemas cada vez más complejos y realistas.
4. Extender el modelo matemático con las características funcionales para realizar análisis de modos de falla del producto.

Por otra parte, Maropoulos & Ceglarek (2010) desarrollan un modelo centrado en los procesos de verificación y validación de los diseños, desde bocetos, modelos digitales, maquetas y prototipos físicos a lo largo de todo el CVP-I, pues los resultados ayudan a definir si se cumple tanto con la funcionalidad del producto, como con las expectativas del cliente. La verificación y validación influyen directamente en la optimización de los procesos de producción, la funcionalidad del producto, la percepción de calidad y la satisfacción del cliente. Existen productos con altos estándares de exigencia de calidad como la industria aeroespacial, en donde los procesos digitales y físicos de la verificación y validación son el eje central a lo largo del CVP-I. Para Maropoulos & Ceglarek, como retos para futuros trabajos están el desarrollo gradual y acumulado de nuevos criterios de inspección y verificación, tanto en la fase digital como en la física, y a lo largo de todo el proceso de DDP. Los autores indican que se requieren nuevas TICs y aplicativos que integren las metrologías de los procesos de producción y nuevas tecnologías disponibles para asegurar precisión y calidad en la fabricación. Adicionalmente, para la validación durante el funcionamiento del producto, se necesitan mejores sistemas de captura y codificación de datos de desempeño del producto. Esto en la actualidad es totalmente viable, con sistemas inteligentes (actores inteligentes) que pueden enviar información de desempeño en tiempo real.

Sobre la misma línea de sistemas de gestión integral de los modelos de CVP-I apoyados en las últimas TICs como los agentes inteligentes, se encuentran los trabajos de Marchetta, Meyer et al. (2011). Dicha gestión integral (PLM) incluye un modelo de proceso de negocios, un modelo de información del producto y una arquitectura de aplicaciones basadas en las tecnologías modernas, particularmente agentes inteligentes. De las contribuciones destacadas están: a) un tratamiento integral de los ajustes del DDP en todas las etapas del CVP-I; b) un tratamiento integral del modelo de negocio, el modelo de información, la arquitectura de aplicaciones y la gestión de la cadena de suministros; c) aplicaciones específicas a partir de la arquitectura genérica del producto, basados en la información aportada por los actores inteligentes. Para Marchetta, Meyer et al., el reto de los trabajos futuros deberá incluir un refinamiento del modelo del proceso de negocio y la aplicación del mismo concepto a las etapas anteriores o posteriores, por ejemplo, a lo largo de la fabricación y la logística. Se deberán incluir la coordinación de la producción en la planta de fabricación, el almacenamiento, el transporte, y la gestión de compras entre otros. En el futuro enfoque, un producto tendría una existencia inmaterial (conocimiento del producto) y una material (producto físico).

3.7 Consideraciones finales

El CVP-M se desarrolló como un modelo orientado a predecir la relación oferta – demanda de un producto en el mercado, de manera que se pudieran identificar y prever los comportamientos de las ventas y hasta cierto punto prospectarlos. Ahora bien, el desarrollo del enfoque del CVP-M no ha podido ser absoluto, como algunos quisieran, en predecir las conductas de los consumidores en la relación oferta – demanda, por un lado, debido a su naturaleza compleja en variables y, por otro lado, por la emergencia de relaciones y ‘partes interesadas’, como por ejemplo las cadenas de suministros, que cambian rápidamente las conductas de compra.

Para algunos investigadores y practicantes, la intención de tener un modelo determinístico encierra al mismo tiempo la idea de poder controlar y predecir las conductas sociales de compra de manera absoluta. En contraposición, muchos investigadores valoran el modelo de CVP-M como una herramienta que ayuda a comprender las tendencias del comportamiento de la relación oferta-demanda -consumo de productos, desde una perspectiva probabilística.

De cualquier forma, la gran ventaja de un modelo de CVP-M, es que es mejor aproximarse a la comprensión probabilística del comportamiento del mercado e incluso hacer simulaciones, que no aplicarlo y simplemente quedar a la deriva especulativa, que afectaría negativamente las decisiones y las políticas empresariales.

Hasta donde se realizó la revisión de la literatura, la noción de sostenibilidad desde sus diversas perspectivas, i.e. social y ambiental, en los modelos de CVP-M empiezan a ser contempladas, pero aún de forma marginal. Esta condición es un argumento importante, para que dentro de los conceptos del modelo que se proponen en la presente tesis, se tenga en cuenta cada vez más la perspectiva sostenible.

En lo que respecta al CVP-I, cada vez se hace más evidente la necesidad de establecer puentes efectivos entre todas las partes interesadas, pero en especial entre usuarios y desarrolladores de producto. En este sentido, la iniciativa EQUID (Lange-Morales, García-Acosta, & Bruder, 2014) está orientada a buscar la calidad, al tener presente y hacer converger las posturas de las diversas partes interesadas, desde el inicio y a lo largo de todo el ciclo de producto.

Los modelos de CVP-I deben buscar la participación activa de las partes interesadas y la aceptación de los cambios dinámicos del proceso de desarrollo, pues por un lado, abren opciones, incluso al final del ciclo, para adaptar o buscar nuevas utilidades a los productos. De otro lado, estimula una mayor empatía entre las partes interesadas, lo que consecuentemente facilita la toma de decisiones a lo largo del ciclo.

Como se constató con la revisión sistemática, se requiere aclarar y precisar significados de conceptos en los modelos de ciclos, para reducir tanto la dispersión en las interpretaciones, como la ambigüedad en las aplicaciones. Lo anterior direcciona a buscar un modelo holístico, robusto e integrador, que evite la divergencia de conceptos en el DDP. Los modelos de ciclos estudiados no son vistos desde un enfoque de

relaciones sistémicas. En ese sentido, sería muy útil que los modelos pudieran establecer relaciones y formas de equilibrio entre sistemas naturales y sistemas socio-tecnológicos.

Por otra parte, la generación de un modelo integrador debe contemplar de forma más directa y evidente la dimensión humana y social, que cubra aspectos en el DDP como la salud pública de las personas, la inclusión de la voz de los usuarios y en general, el bienestar y calidad de vida. Por tanto, un modelo integrador permitiría estimular la cooperación interdisciplinaria sobre la base de un lenguaje común, no solo entre técnicos o expertos en DDP, sino que puedan participar y entenderse entre economistas, expertos en ciencias sociales y ciencias políticas, que tengan en cuenta valores, tendencias y conductas de la sociedad de consumo, incluso, para transformarla o revertir la actitud de consumo de la sociedad.

El modelo de ciclos en ingeniería debe ocuparse integralmente tanto por la responsabilidad ambiental como por la responsabilidad social. Tener un modelo de ciclos unificado e integrador, permite ver las responsabilidades de todas y cada una de las partes interesadas, así como el impacto de sus decisiones, desde el inicio hasta el fin del ciclo, sobre los humanos y sobre el ambiente. En síntesis, se requiere de un modelo que facilite la “comprensión y gestión holística de los ciclos” que permita identificar todas las acciones y decisiones como gestión del conocimiento, que de hecho, debe ser considerada como parte de la tecnología.

En línea con lo anterior, es importante ocuparse más del manejo de la información, entendiéndola como gestión del conocimiento socio-tecnológico, en todas las fases y a lo largo de todo el ciclo. Atender más la información, permite tener más elementos para la toma de decisiones y simultáneamente mayor conexión entre todas las partes interesadas, como por ejemplo entre proveedores y entre colaboradores en el DDP, para actuar con responsabilidad ambiental en la fase posterior al uso del producto. El manejo de la información cada vez más complejo en los productos, apoyados en las TICs y los aplicativos computacionales, convierten a los productos en actores inteligentes con la capacidad de capturar y ofrecer información detallada de su propia condición de funcionalidad y utilidad, así como información confiable acerca de los usuarios u otras partes interesadas que interactúan con los productos.

Estudiando los trabajos desde Junt et al (2007) hasta Cao & Folan (2012) y comprendiendo en perspectiva histórica la evolución del CVP-I, los aspectos más estructurales que se pueden deducir están asociados con solucionar hechos operacionales que requieren de un amplio espectro de conocimientos de ingeniería a lo largo de todo el ciclo y pensar en una “gestión integrada del ciclo de vida del producto” (PLM) que incluya por lo menos:

1. Integrar las diversas herramientas informáticas bajo la sombrilla de gestión de conocimiento datos del producto (PDM), como por ejemplo software para: la planificación de recursos (ERP); la gestión relacionada con el cliente (CRM); el diseño y manufactura (CAD, CAM, CAE); la gestión de la cadena de suministros (SCM), la inteligencia de negocios (BI), los sistemas de

información embebidos en el producto (PDEI) y muchas otras herramientas que se pueden aplicar en las diversas fases y a lo largo del ciclo.

2. Consolidar la metodología de valoración de impactos LCA (utilizando por ejemplo Simapro, GaBi u otras herramientas informáticas robustas e integrales), pero al mismo tiempo, el reconocimiento de sus limitaciones que se orientan a la reducción de impactos y al decrecimiento de los recursos, con una perspectiva en la eco-eficiencia, que está relacionado con el concepto “de la cuna a la tumba”.
3. Estimular la generación de estrategias, guías y metodologías que se orienten al diseño y desarrollo de productos desde la perspectiva de la eco-efectividad, esto es, no producir impactos negativos y estimular la regeneración de los recursos, todo esto asociado al concepto “de la cuna a la cuna”.
4. Reconocer las diversas perspectivas metodológicas “diseño para X” e identificar las tendencias teórico - conceptuales, para que apoyados en la construcción de guías de selección y ensamble, se puedan hacer converger tendencias y métodos de DDP derivados de factores de producción, factores humanos y factores ambientales.
5. Aprovechar las TICs para desarrollar métodos de transformación de datos ya no solo técnicos, sino integrales, esto es, información socio-cultural que permita el diseño de productos más confiables, aplicables, disponibles, mantenibles, extendidos y adaptables, pero sobre todo, que preserven el equilibrio con los sistemas naturales.

Todos estos aspectos estructurales se deben basar en la premisa de reconocer los límites de la capacidad ecológica de la tierra, la escasez de materias primas y recursos energéticos. Con el interés creciente en los impactos ecológicos de los productos, se requiere de un marco conceptual más amplio y holístico, capaz de proveer elementos para lograr ya no el desarrollo sostenible, sino la sostenibilidad, así implique aceptar la perspectiva de la equidad o el decrecimiento económico.

La gran mayoría de trabajos revisados que hablan de conceptos y aplicaciones del CVP-I contemplan los requerimientos técnicos, económicos y últimamente los ecológicos. Pero desde la perspectiva social o desde los requerimientos sociales, las personas solo son contempladas marginalmente o en el mejor de los casos como clientes.

Finalmente, basados en el trabajo de Cao & Folan (2012) se pueden formular consideraciones finales para los dos modelos de CVP desde las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se contemplará la noción del producto extendido en los dos modelos de CVP?
2. Con el énfasis en lo ambiental tanto desde la eco-eficiencia como de la eco-efectividad, ¿cómo se representan o describen en los modelos, los hechos de re-manufactura, reutilización o re-designación funcional?

3. ¿Cómo se pueden representar los productos con un gran abanico de personalización masiva (hechos a la medida) dentro los modelos de CVP?
4. ¿Cómo se puede usar el modelo de ciclos en innovaciones rápidas como una estrategia competitiva en mercados impredecibles o de cambio acelerado?

Como colofón, es importante insistir que así se logren desarrollar modelos más robustos y confiables, el propósito del “análisis del ciclo de vida” (LCA) seguirá siendo medir los impactos y consumos y orientar los esfuerzos a reducirlos, es decir, ser eficientes y ecoeficientes, esto es ir de la “cuna a la tumba”. Pero partir del paradigma de medir y reducir los impactos (ecoeficiencia) hace ver imposible o utópico llegar a evitarlos. Por el contrario, si se parte del paradigma de evitar o eliminar los impactos siendo eficaces y ecoefectivos, esto es ir de la “cuna a la cuna”, se podrá partir del ejemplo no utópico que nos brinda la naturaleza con ciclos permanentemente cercanos al equilibrio (ecoefectividad) y, más aún, promover la restitución de los recursos como valor supremo.

3.8 Referencias

- Abernathy, W. J., & Utterback, J. M. (1978). Patterns of innovation in technology. *Technology Review*, 80(7), 40-47.
- Alting, L., & Legarth, J. B. (1995). Life cycle engineering and design. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 44(2), 569-580.
- Ameri, F., & Dutta, D. (2005). Product lifecycle management: closing the knowledge loops. *Computer-Aided Design and Applications*, 2(5), 577-590.
- Asimov, M. (1962). *Introducción To Design*. Englewood Cliffs, NJ. EUA: Prentice Hall Inc.
- Auty, R. M. (1984). The product life-cycle and the location of the global petrochemical industry after the second oil shock. *Economic Geography*, 60(4), 325-338.
- Ayres, R. U. (1995). Life cycle analysis: a critique. *Resources, Conservation and Recycling*, 14(3), 199-223.
- Ayres, R. U., & Martinas, K. (1992). Experience and the life cycle: some analytic implications. *Technovation*, 12(7), 465-486.
- Besbes, K., Allaoui, H., Goncalves, G., & Loukil, T. (2013). *A Green Supply Chain Design with Product Life Cycle Considerations*. Paper presented at the Supply Chain Forum: an International Journal.
- Bonner, J. T. (1993). *Life cycles: reflections of an evolutionary biologist*: Princeton University Press.
- Boothroyd, G., & Alting, L. (1992). Design for assembly and disassembly. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 41(2), 625-636.
- Buzzell, R. D. (1966). Competitive behavior and product life cycles. *New ideas for successful marketing*, 46-68.
- Calderón, S. (2014). *Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano y ambiental (ergoecología)*. Universidad Nacional de Colombia.

- Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
- Cooke, E. F., & Edmondson, B. C. (1973). Computer aided product life cycle forecasts for new product investment decisions. In T. Greer (Ed.), *Increasing Marketing Productivity and Conceptual and Methodological Foundations of Marketing*. Chicago: American Marketing Association.
- Cox, W. E. (1967). Product life cycles as marketing models. *Journal of Business*, 375-384.
- Curran, M. A. (2000). Life cycle assessment: an international experience. *Environmental Progress*, 19(2), 65-71.
- Danciu, V. (2013). The sustainable company: new challenges and strategies for more sustainability. *Theoretical and Applied Economics*, 18(9 (586)), 7-26.
- de Kluyver, C. A. (1977). Innovation and Industrial Product Life Cycles. *California Management Review*, 20(1).
- Dean, J. (1950). *Pricing policies for new products*: Harvard University Press.
- Dhalla, N. K., & Yuspeh, S. (1976). Forget the product life cycle concept. *Harvard Business Review*, 54(1), 102-112.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), 147-162.
- Dowling, G. R., & Cooper, J. A. (1989). Simulating the life cycles of products and services. *Behavioral Science*, 34(4), 291-304.
- Enis, B. M., La Garce, R., & Prell, A. E. (1977). Extending the product life cycle. *Business Horizons*, 20(3), 46-56.
- Field, G. A. (1971). Do products really have life cycles? *California Management Review*, 14(1).
- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering design. Part I: Descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51-67.
- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989 part II). A review of research in mechanical engineering design. Part II: Representations, analysis, and design for the life cycle. *Research in Engineering Design*, 1(2), 121-137.
- García-Acosta, G., Lange-Morales, K., Puentes-Lagos, D., & Ruiz-Ortiz, M. (2011). Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle, and innovation: trends in consumer product design. In W. Karwowski, M. M. Soares, & N. A. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques* (pp. 133-154). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Greiner, A., & Hanusch, H. (1993). *Cyclic Product Innovations Or: a Simple Model of the Product Life Cycle*: Inst. für Volkswirtschaftlehre, Univ. Augsburg.
- Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, 57(1), 133-140.
- Heuss, E. (1965). *Allgemeine Markttheorie*: Mohr Tübingen.

- Hirao, M., & Fukushima, Y. (1999). Evaluation of environmental impacts of product lifecycle for process design. *Computers & Chemical Engineering*, 23, S823-S826.
- Ishii, K. (1998). Modularity: A key concept in product life-cycle engineering. Handbook of Life-cycle Enterprise Engineering. A. Molina and A. Kusiak: Kluwer Publisher.
- Jun, H.-B., Kiritsis, D., & Xirouchakis, P. (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry*, 58(8), 855-868.
- Keys, L. K. (1990). System life cycle engineering and DFX'. *Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on*, 13(1), 83-93.
- Kiritsis, D., Bufardi, A., & Xirouchakis, P. (2003). Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Informatics*, 17(3), 189-202.
- Kotler, P. (1988). Marketing Management, Analysis, Planning, Implementation, and Control. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Krasowski, H. (2002). Life cycle engineering *Environmental management accounting: Informational and institutional developments* (pp. 153-157): Springer.
- Krumenauer, F., Matayoshi, C., da Silva, I., & Batalha, G. (2008). Concurrent engineering and DFMA approaches on the development of automotive panels and doors. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 31(2), 690-698.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., & Bruder, R. (2014). The EQUID approach: improving ergonomics quality in product life cycle. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM XI - NES 46* (pp. 435-440). Copenhagen: IEA Press.
- Lee, D. E., & Melkanoff, M. A. (1993). Issues in product life cycle engineering analysis. *Advances in Design Automation*, 65, 1.
- Lee, J. J., O'Callaghan, P., & Allen, D. (1995). Critical review of life cycle analysis and assessment techniques and their application to commercial activities. *Resources, conservation and recycling*, 13(1), 37-56.
- Levitt, T. (1965). Exploit the product life cycle. *Harvard Business Review*, 18, 81-94.
- Lundquist, L., Leterrier, Y., Sunderland, P., & Månson, J.-A. E. (2001). *Life Cycle Engineering of Plastics: Technology, Economy and Environment: Technology, Economy and Environment*: Elsevier.
- Marchetta, M. G., Mayer, F., & Forradellas, R. Q. (2011). A reference framework following a proactive approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*, 62(7), 672-683.
- Maropoulos, P. G., & Ceglarek, D. (2010). Design verification and validation in product lifecycle. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59(2), 740-759.
- McCracken, D. D., & Jackson, M. A. (1982). Life cycle concept considered harmful. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*(7), 29-32.
- Michael, G. C. (1971). Product petrification: A new stage in the life cycle theory. *California Management Review (pre-1986)*, 14(000001), 88.

- Michelle Grantham, L. (1997). The validity of the product life cycle in the high-tech industry. *Marketing Intelligence & Planning*, 15(1), 4-10.
- Orbach, Y., & Fruchter, G. E. (2014). Predicting product life cycle patterns. *Marketing Letters*, 25(1), 37-52.
- Patton, A. (1959). Stretch Your Product's Earning Years: Top Management's Stake in the Product Life Cycle. *Management Review*, 48(6), 9-14.
- Pennington, D. W., Norris, G., Hoagland, T., & Bare, J. C. (2000). Environmental comparison metrics for life cycle impact assessment and process design. *Environmental Progress*, 19(2), 83-91.
- Pineno, C. J. (2012). Simulation of the Weighting of Balanced Scorecard Metrics: Including Sustainability and Time-Driven ABC Based on the Product Life Cycle. *Management Accounting Quarterly*, 13(2), 21.
- Polli, R., & Cook, V. (1969). Validity of the product life cycle. *Journal of Business*, 385-400.
- Polli, R., & Cook, V. J. (1967). A test of the product life cycle as a model of sales behavior. *Market Science Institute, Working Paper*, 43.
- Pugh, S. (1991). *Total design: integrated methods for successful product engineering*: Addison-Wesley.
- Pyburn, P. J., & Curley, K. F. (1984). The evolution of intellectual technologies: Applying product life-cycle models to MIS implementation. *Information & Management*, 7(6), 305-310.
- Rae, R. A. E. (2001). Diccionario de la lengua española. *Vigésima segunda Edición. Disponible en línea en <http://www.rae.es/rae.html>*.
- Rink, D. R., & Swan, J. E. (1979). Product life cycle research: A literature review. *Journal of Business Research*, 7(3), 219-242.
- Segerstrom, P. S., Anant, T. C., & Dinopoulos, E. (1990). A Schumpeterian model of the product life cycle. *The American Economic Review*, 1077-1091.
- Shin, J.-H., Jun, H.-B., Kiritsis, D., & Xirouchakis, P. (2011). A decision support method for product conceptual design considering product lifecycle factors and resource constraints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(9-12), 865-886.
- Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research policy*, 24(3), 419-440.
- Vernon, R. (1966). International investment and international trade in the product cycle. *The quarterly journal of economics*, 190-207.
- Vernon, R. (1979). The product cycle hypothesis in a new international environment. *Oxford bulletin of economics and statistics*, 41(4), 255-267.
- Wells Jr, L. T. (1968). A product life cycle for international trade? *The Journal of Marketing*, 1-6.
- Wells, L. (1972). International trade: The product life cycle approach. *The Product Life Cycle and International Trade, Boston, Harvard University, Graduate School of Business Administration, Division of Research*.
- Wells, W. D., & Gubar, G. (1966). Life cycle concept in marketing research. *Journal of Marketing Research*, 355-363.

- Werker, C. (2003). Innovation, market performance, and competition: lessons from a product life cycle model. *Technovation*, 23(4), 281-290.
- Westkämper, E., Alting, L., & Arndt, G. (2001). Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 215(5), 599-626.
- Winter, S. G. (1984). Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 5(3), 287-320.
- Wong, H.-K., & Ellis, P. D. (2007). Is market orientation affected by the product life cycle? *Journal of World Business*, 42(2), 145-156.
- Wood, L. (1990). The end of the product life cycle? Education says goodbye to an old friend. *Journal of Marketing Management*, 6(2), 145-155.
- Yan, P., Zhou, M., & Sebastian, D. (1999). An integrated product and process development methodology: Concept formulation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(3), 201-210.
- Zheng, L., McMahon, C. A., Li, L., Ding, L., & Jamshidi, J. (2008). Key characteristics management in product lifecycle management: a survey of methodologies and practices. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(8), 989-1008.

4. ABORDAJE SIMÉTRICO

4.1 Introducción

La revisión sistemática del estado del arte en los modelos de CVP reveló que cada vez es más compleja la estructura de gestión de los proyectos de DDP y que no depende solamente de contar con mejores plataformas y ayudas informáticas para el manejo de los requerimientos tecnológicos. Así por ejemplo, en la década de los años 80, no existían medios efectivos para reconocer las necesidades de los usuarios finales, lo que limitaba una buena definición y estructuración de requerimientos de diseño y sobre todo, el CVP-I restringía el pensamiento futuro (McCracken & Jackson, 1982). En esta misma línea de limitaciones, los efectos en la salud humana por el uso de determinados materiales o insumos no se integraron inicialmente a la metodología LCA (Lee, O'Callaghan, & Allen, 1995), o en el mejor de los casos, se hacían con metodologías independientes derivadas de la ergonomía o la higiene industrial, en algunos casos con normas o estándares debatibles. Así por ejemplo, normas de seguridad con altas controversias como el boletín técnico B 117 del estado de California, que tienen la intención de evitar incendios de hogares, utilizando retardadores de llama en los rellenos de los muebles. Dicho boletín orientado a evitar incendios, ha sido seriamente cuestionado en estudios científicos y por la sociedad civil, debido a que promueve el uso de productos químicos retardadores de llama, que al contacto continuo de los usuarios de los muebles, pueden derivar en mayores problemas de salud pública como el cáncer.

De acuerdo con lo anterior, hasta iniciada la década de los años 90 se empezó a virar del diseño centrado en la tecnología hacia el diseño centrado en el usuario (DCU). Pero a decir verdad, esto no solo ha tardado varios años, sino que quienes lo integraron de manera específica en los modelos de CVP-I, lo han abordado parcialmente como referente de requerimientos y no como se propone desde la ergonomía, esto es, como un actor continuo y en simetría con la dimensión de los aspectos tecnológicos. Todo lo dicho confirma la necesidad de que los usuarios no sean solamente contemplados como fuente primaria e inicial de requerimientos de uso para satisfacer sus deseos, sino como generadores de calidad del producto a lo largo de toda la cadena de valor, que se va formando durante el ciclo de DDP. Más aún, se requiere reconocer a todas las partes interesadas (stakeholders), en términos de sus inquietudes y expectativas de la calidad del producto (Lange-Morales, Thatcher, & García-Acosta, 2014b). Por lo tanto, se necesita de un modelo que permita una simetría entre todos los actores humanos y las tecnologías en desarrollo, a lo largo de todo el ciclo, para ser consecuentes con la responsabilidad social.

Otro aspecto encontrado en la revisión sistemática es que autores como Legarth y colaboradores (Legarth et al., 1995) plantearon la necesidad de medir los impactos y costos ambientales en los países donde se hace la extracción de materias primas, como en países donde los productos terminan desechados. Lo anterior ha tomado mucho tiempo en ser tenido en cuenta, no solo por la complejidad y falta de datos confiables, sino por la poca disposición de algunas industrias en develar todo su circuito y además, por la

falta de leyes de equidad global impulsadas desde la sociedad civil, para hacer exigencias punitivas y no simplemente normas que operan como recomendaciones de responsabilidad ambiental. Adicionalmente investigadores como (Abukhader, 2008), plantean la idea de potenciar una logística inversa para recuperar y reciclar materias primas de productos ya obsoletos. Para el autor, el éxito de un nuevo modelo de gestión ambiental de reciclaje que se apoye en los actuales escenarios del comercio electrónico y aproveche las TICs para crear una logística inversa, debe complementarse con el cambio de conductas de consumo, esto es, que los consumidores pasen de hábitos posesivos y acumulativos a hábitos de compartir y reconocer lo suficiente. Todo lo anterior muestra que se requiere también que el modelo contemple una simetría entre la dimensión social y ambiental, para abordar con mayor empoderamiento la responsabilidad ambiental.

Los dos argumentos expuestos anteriormente llevan a la necesidad de construir la primera parte del modelo, como una estructura que permita un abordaje simétrico y que se puede obtener a partir de tres perspectivas: a) la perspectiva epistemológica, aportada por los estudios de la sociología simétrica, b) la perspectiva de lo social y lo tecnológico de los sistemas socio-técnicos, contribuida por la ergonomía y c) la perspectiva de lo humano y lo ambiental desde cinco formas de sostenibilidad, planteadas por la ergoecología. La figura 4.1 representa las cuatro partes del modelo, resaltando la primera parte en color vino tinto, que se refiere al abordaje simétrico hasta aquí referido.



Figura 4.1 Partes del modelo, resaltando la primera parte i.e. la estructura para el abordaje simétrico.

4.2 Perspectiva epistemológica aportada por los estudios de la sociología simétrica

La sociología de la tecnología es un campo de las humanidades, que se ocupa de entender la ciencia y la tecnología como fenómenos o hechos sociales. Busca comprender entre otros, cómo se ha hecho la ciencia, cómo se inventa y se innova, cómo son las prácticas de los científicos y los tecnólogos y cómo perciben e interpretan, tanto ellos como la sociedad, sus productos. La sociología de la tecnología aborda desde diversas corrientes y con diversos acentos tres grandes perspectivas: a) cómo la tecnología transforma el mundo y moldea la sociedad por medio de su impacto económico y cultural (determinismo tecnológico); b) cómo los grupos sociales crean mundos, es decir, la tecnología es socialmente construida como resultado de relaciones y controversias entre diversos grupos sociales (determinismo sociológico) o; c) cómo se configuran y transforman de manera simultánea e inseparable sociedad y tecnología, es decir, un énfasis en el principio de simetría, desapegándose de los conceptos de verdad, racionalidad y objetividad como absolutos y reconociendo que el desarrollo tecnológico no es ajeno a la influencia social, ni la sociedad es ajena al impacto tecnológico (sociología simétrica). A continuación se aborda esta última vertiente simétrica (teoría actor–red), que por su postura epistemológica, le puede permitir a la ingeniería de DDP reconocer una red compleja de relaciones inseparables de actores (humanos, conocimientos y artefactos) que participan dinámica y equitativamente tanto en la construcción social como en la construcción tecnológica.

La Teoría actor–red se ha consolidado como una alternativa en los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, ocupados de explicar las dinámicas de lo social como los configuradores de la tecnología. Para los sociólogos más cercanos al determinismo social, se requiere establecer grupos, clases, elementos, etc., en donde operan las “fuerzas” de la sociedad, en cambio, para los sociólogos de las relaciones como simetrías (actor–red), los grupos, clases, etc., se están creando continuamente, incorporando o excluyendo actores (sean humanos o no humanos). Esta distinción establece una diferencia entre la ‘sociología de lo social’ y una ‘sociología de las asociaciones’ o de las redes, en la primera los seres humanos son una categoría diferente a la tecnología, en la segunda esto no importa, no hay categorías de actores y mucho menos se pueden separar de las redes que se configuran. Por lo tanto, en la teoría actor–red, lo social se convierte en un continuum en donde se sigue a los actores y sus diversos discursos como red, sin diferenciar entidades (sujeto / objeto) y así cumplir con el principio de simetría planteado por Callon. La eliminación de categorías como naturaleza y sociedad o verdad y error se apoyan en el pensamiento wittgensteiniano, que plantea una filosofía del lenguaje en donde las proposiciones no son aisladas, separadas y por contraste de una realidad dada, sino que son una red (sintagmática) de preposiciones que conforman una determinada forma de ver y pensar el mundo (como lo son los lenguajes) por parte de una colectividad (Domènech & Tirado, 1998). Por lo tanto, lo verdadero o erróneo está en la misma comunidad y en sus prácticas sociales y no en una categoría externa a ella. Lo universal (causa-efecto) es cartesiano, la ‘red como forma de ver el mundo’ (continuum) es wittgensteiniana, o sea, reconoce que los

‘juegos de lenguaje’ son derivados de las prácticas socio-técnicas, en síntesis, las redes (formas de ver el mundo) son relativas a la colectividad y sus prácticas sociales.

Los trabajos de Michael Callon, y Bruno Latour que introducen los conceptos de actor-red y traducción (Marquez, 1998; Valderrama, 2004) y posteriormente las aplicaciones de John Law, pueden ser considerados inicialmente como complementarios al de los sistemas socio-técnicos, en el sentido de considerar las tecnologías y los humanos como una compleja red de componentes heterogéneos y yuxtapuestos, identificado por Thomas Hughes (1983) como una especie de tejido sin costuras (Marquez, 1998). Pero para estos teóricos, el concepto de actor-red es más complejo e incluso se aleja de la visión sistémica, pues argumentan que no se pueden establecerse categorías o distinciones entre actores sociales y no sociales. Para ellos, si se quiere una explicación equitativa, no deben existir por un lado los humanos y por otro lado las tecnologías, pues dicha red se deriva de una interacción de cualquier actor con diferentes formas de agencia (Marquez, 1998).

De acuerdo con lo anterior, Bruno Latour propone no categorizar –aquí se aleja del enfoque sistémico– y sólo seguir las dinámicas y asociaciones que los distintos actores (humanos y no humanos) establecen entre entidades aparentemente heterogéneas. De esta forma, lo social es la compleja conexión o las redes y no sólo los elementos en sí, por ello bajo esta teoría, tampoco se puede separar la red de los actores. La red redefine y transforma mientras que al mismo tiempo los actores entretejen dicha red (Marquez, 1998).

La teoría actor-red no tiene intenciones de explicar lo social como algo concluyente o definitivo, como una estructura rígida y estable, por lo tanto, rechaza la relación causa - efecto de los enfoques de la sociología de lo social. El valor del enfoque actor-red está más en el hecho de que permite describir las dinámicas, los cambios y las innovaciones. El enfoque de la sociología simétrica o del actor-red busca describir sin categorizar los actores, por lo tanto se debe tener la precaución de no establecer un discurso con una explicación únicamente antropocéntrica, colocándose por encima de los actores, por el contrario, la palabra siempre la tienen los implicados (todos los actores) y lo que se observa son las controversias y las argumentaciones. En línea con lo anterior, para Latour y Callon las nociones de naturaleza y sociedad se funden y se configuran en sí mismas, por esta razón la colectividad incluye a los actores humanos y no-humanos, en donde la simetría generalizada pone a la misma sociología en la paradoja de hacer una ruptura antropocéntrica para ‘explicar’ los ‘fenómenos sociales’. Las cualidades o esencias de lo humano o no humano, como un a priori, como sustancias preestablecidas para explicar lo social, son reemplazadas por las relaciones de todos los actores heterogéneos que se configuran en la medida de la estabilidad o no de dichas relaciones. Así, la manera en que se configuran las redes y se cumplen los programas, es a partir de la incorporación de nuevos actores.

Para la Teoría actor-red, los procesos por los cuales un actor teje una red incorporando a otros actores, es a partir de la noción de ‘traducción’, que puede ser comprendida sucintamente en el documento de Sánchez-Criado (2005). Pero en palabras de Latour y Callon son todas las negociaciones, intrigas, actos

de persuasión o incluso de violencia, mediante los cuales un actor busca conseguir la adhesión de otros actores, por lo menos hasta que aparecen nuevas tensiones, inestabilidades y por tanto, nuevas traducciones. El reconocimiento de la inestabilidad de las relaciones es lo que permite precisamente la reconfiguración de las redes. En cualquier momento aparece un nuevo actor, o alguno de los mismos actores incorpora algo que altera el estado de la red y las traduce a algo diferente. La persuasión y la capacidad de traducción son las que permiten la incorporación de otros actores. Por ello, el actor que es capaz de forzar a otro a moverse por un determinado espacio o condición (puntos de paso obligado) y al mismo tiempo impedir el paso por otro es un actor que se impone. Para una mayor comprensión de todo su andamiaje conceptual se puede ver la obra de Bruno Latour (2005).

En síntesis, los conceptos teórico- analíticos que aportan los estudios de la sociología simétrica (actor-red) pueden contribuir a ver más dinámicas las relaciones de los dispositivos y sistemas tecnológicos junto con los colectivos o grupos sociales, como un continuum de diseño o mejoramiento de los sistemas y sus redes de relaciones (estado de los actor-red a lo largo del ciclo). Lo que ayudaría permanentemente a los diversos actores (creadores, usuarios, gobiernos, tecnologías, sistemas productivos, etc.), a re-direccionarse y ajustarse (reconfigurarse) dinámicamente.

Aunque los teóricos de la teoría actor-red se alejan de la postura de los sistemas socio-técnicos y los enfoques sistémico-funcionalistas queden en cuestionamiento al decir que la descripción de las redes socio-técnicas frecuentemente es opuesta a su explicación (Arellano, Ocampo, & Arellano, 2003), las posibilidades empíricas no pueden dejar de reconocerse. Ahora bien, como lo manifestó Pantzar (1997), independientemente de la crítica entre lo teórico (por qué) y lo empírico (cómo), lo importante es que los sistemas socio-técnicos se configuran con interacciones previstas y no previstas en las acciones sociales y siguiendo los criterios simétricos, lo que lo hace un abordaje más robusto y holístico. Además, en la noción de red no hay causas últimas, más bien se pueden reconocer las propiedades emergentes de los elementos socio-técnicos mutuamente constitutivos.

Como colofón, la teoría actor-red se convierte en el ideal epistemológico para ser alcanzado en el DDP y de esta forma acercarse cada vez más a una visión simétrica, en donde las categorías tecnología y sociedad se eliminen, en pro de una ingeniería más empática con las ciencias sociales y sus aportes. Ahora bien, reconocemos acá que la propuesta epistemológica de la sociología simétrica puede verse radical para el campo de la ingeniería y en específico con los modelos de CVP, pero existen algunos estudios donde ya se insinúan relaciones entre los sistemas socio-técnicos, el CVP y la teoría actor-red como la tesis doctoral de Qureshi (2014) u otra tesis doctoral donde al menos se mencionan el CVP junto con la teoría actor-red como abordajes para el DDP (Dhadphale, 2013). En el siguiente apartado se busca mantener presente el aporte de la visión simétrica, esto es una visión con bucles de retroalimentación de concepción, inserción, funcionamiento, mantenimiento, y cambio de los sistemas socio-tecnológicos.

4.3 Lo social y lo tecnológico en los sistemas socio-técnicos desde la ergonomía

Los sistemas socio-técnicos están en el centro de la ergonomía o factores humanos (de acá en adelante EFH). Entendiendo que un sistema socio-técnico puede estar conformado y ser tan simple como una persona utilizando una herramienta manual, hasta tan compleja como una organización multinacional (Hendrick, 2002), toda empresa humana o proyecto humano que tome recursos de la naturaleza y los transforme en otra cosa i.e. todo trabajo humano o actividad humana es tema central de la EFH y puede ser entendido y analizado como un sistema socio-técnico.

Desde sus orígenes, la EFH ha buscado una relación simétrica entre lo humano y la tecnología, concentrándose en la interfaz generada entre ambos componentes. Es decir, ni lo humano *per se* ni la tecnología *per se* son el objeto de estudio de la EFH: es la interacción, la cual ocurre en la interfaz, lo que constituye su campo de estudio y de acción. De acuerdo a Hendrick (2008), la ergonomía cuenta con una tecnología única denominada Tecnología de Interfaz Humano-Sistema (HSIT por sus siglas en inglés), con la cual puede abordar desde el diseño de productos / servicios hasta el diseño de sistemas complejos. De acuerdo con el mismo autor, la EFH como una ciencia, se preocupa por el desarrollo de conocimiento sobre las capacidades humanas, sus limitaciones y otras características que tengan relación con el diseño de interfaces entre seres humanos y otros componentes de un sistema. Así, este conocimiento ha sido utilizado para desarrollar la HSIT, la cual toma forma como principios de diseño, lineamientos, especificaciones, métodos y herramientas. Todos estos elementos son utilizados para optimizar la actividad de trabajo o como se dijo anteriormente, todo proyecto humano que transforme recursos en productos, tal y como sucede en el diseño y desarrollo de productos. En este sentido, hay que considerar que las interfaces pueden ser de tres tipos: en primer lugar están los ‘artefactos’ o interfaces físicas, en segundo lugar están los ‘mentefactos’ o interfaces cognitivas y, en tercer lugar se encuentran los ‘sociifactos’ o interfaces organizacionales (Vidal, 2010). Así, con sus tres principios fundamentales i.e. abordaje sistémico, orientación hacia el diseño y búsqueda en paralelo del mejoramiento del desempeño y del bienestar (Dul et al., 2012), adoptar la EFH y sus planteamientos básicos es una manera lógica y asertiva de lograr una simetría entre los actores humanos y las tecnologías en desarrollo.

Adicional a lo anterior, Clegg (2000) basado parcialmente en Cherns (1976) propone una serie de principios socio-técnicos para el diseño de sistemas. Estos principios los organiza en tres grupos: meta-principios, de contexto y de proceso. Estos principios contribuyen a la comprensión y abordaje paralelo de lo social, lo tecnológico y sus relaciones, los cuales serán trabajados con más detalle en el capítulo 6. El primer grupo de principios hace referencia a aquellos que “capturan” de alguna manera la cosmovisión del diseño. El segundo grupo se orienta a aspectos más específicos del contenido de nuevos diseños, mientras que el tercer grupo de principios se preocupa por aspectos inherentes al proceso de diseño en sí.

Ahora bien, cuando se realizó la revisión sistemática de los modelos de CVP, fue evidente que la EFH, en el mejor de los casos, se incluía en algunos de los procesos en la fase de diseño y desarrollo, pero en ningún caso se contemplaba como eje articulador de la calidad del producto en todas las fases del CVP. Esto nos lleva a pensar que aunque se reconocen muchos estudios y aplicaciones de ergonomía de producto, no ha existido un trabajo articulador para incluir explícitamente a la EFH a lo largo de todo el CVP. Este hecho coincide totalmente con las preocupaciones en el seno de la IEA (International Ergonomics Association) al proponer la iniciativa llamada ‘Ergonomics Quality in Design’ (EQUID) que se inició en 2007. Hoy día se está trabajando para comprender que la calidad de la ergonomía de productos con una base socio-técnica, depende de integrar la perspectiva de todos los interesados en el DDP a lo largo de todo el CVP. En esta dirección se ha planteado una guía que está en desarrollo.

Ahora bien, a pesar de que la ergonomía ofrece un abordaje simétrico entre lo social y lo tecnológico, deja de lado – al menos en su corriente hegemónica – los aspectos ambientales. De esta manera, atiende a la responsabilidad social pero no a la responsabilidad ambiental, por lo que se hace necesario buscar también una simetría entre lo humano y lo ambiental.

4.4 La perspectiva de lo humano y lo ambiental

La ergoecología plantea en sus fundamentos una serie de relaciones de desempeño y de impacto entre la ergonomía y la ecología. Como postulados se encuentran los conceptos de eco-eficiencia y eco-productividad, en donde éste último permite generar cambios en el DDP ambientalmente sostenibles y amigables, basados en los principios ergonómicos y ecológicos. La ergoecología a partir de sus axiomas y postulados puede desarrollar estrategias útiles para analizar, evaluar y medir el desempeño de las interacciones de los sistemas socio-técnicos y sus componentes (subsistemas), es decir, a los conformados por seres humanos y sus conocimientos para transformar el mundo en forma de productos. Así mismo, pueden analizar e integrar conceptos desarrollados en torno a nociones como: compatibilidad (Karwowski, 2000 (2010)), índices de adecuación (Saravia-Pinilla, 2006) y estados de equilibrio/desequilibrio de energía, materias e información, este último entendido como la relación de consumo y aprovechamiento efectivo.

De manera complementaria, la ergoecología busca establecer el balance/desbalance de los impactos – positivos y negativos– en los sistemas naturales, de las actividades humanas desarrolladas dentro de los sistemas socio-técnicos. Así, si el comportamiento dinámico de los sistemas complejos (p.e. agricultura o condición climática) genera impactos negativos, se deben mitigar, prevenir, controlar y corregir, pero si por el contrario el comportamiento dinámico produce impactos positivos, se deben estimular, mantener, extender y extrapolar. Aquí se busca la equidad y el equilibrio entre los sistemas construidos (sistemas de trabajo, sistemas sociales, sistemas tecnológicos) y los sistemas naturales.

La ergoecología busca ir más allá de la noción hegemónica de ‘desarrollo sostenible’ y orientarse hacia ‘dinámicas sostenibles’ entre sistemas, es decir, co-existencia o co-dependencia de sistemas. Las

‘dinámicas sostenibles’ implican la aceptación tanto de crecimientos como de decrecimientos para lograr el equilibrio con los recursos y la energía disponible en la tierra. Desafortunadamente el desarrollo por sí solo es relacionado con el crecimiento, pero esta asociación no puede mantenerse a largo plazo en un planeta con recursos limitados (Riba Romeva, 2011), por lo tanto, se requiere la inclusión de nuevos enfoques como la economía de decrecimiento (Martínez-Alier, Pascual, Vivien, & Zaccai, 2010). Adicionalmente, es necesario mantener la idea de escalabilidad para pasar del análisis en perspectiva al análisis en profundidad de los sistemas y subsistemas. Así, el fin último de la ergoecología –reducir la brecha entre el ambiente construido y el ambiente natural– debe ser entendido de tal forma que conduzca a que el ambiente construido siga más las leyes y parámetros de los ecosistemas naturales, es decir, no solo replicar parámetros funcionales de la naturaleza para imitarlos en desarrollos tecnológicos (biónica), sino apoyándose en la comprensión más profunda y holística de la naturaleza (biomimesis), reducir el desequilibrio del ambiente natural y evitar la extinción de los recursos naturales y los medios no renovables.

Luego de la descripción de las tres perspectivas que soportan la primera parte del modelo denominado ‘abordaje simétrico’, se presentan a continuación dos artículos publicados con categorías indexadas, referentes a la perspectiva de lo humano y lo ambiental.

El primero titulado: Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field, que desarrolla un marco conceptual amplio y holístico para hacer converger las disciplinas de la ergonomía y la ecología; establece la definición del nuevo campo multidisciplinar, las relaciones entre ergonomía y ecología, la ampliación del concepto de sostenibilidad, los principios y, las similitudes y diferencias con otras aproximaciones similares, para cerrar con unas conclusiones y enunciados de futuros trabajos.

El segundo titulado: Ergoecology: evolution and challenges, retoma los principios ya enunciados, hace una breve descripción de algunas metodologías desarrolladas bajo esta multidisciplina, describe el propósito, los postulados, objetivos y esboza los axiomas que se pueden desarrollar para establecer el desempeño entre los sistemas naturales y los sistemas socio-tecnológicos, cerrando tanto con una discusión y visión de futuros trabajos, como con unas consideraciones finales.

Por último, se debe destacar que posteriormente a la publicación de estos documentos, se hizo contacto con un investigador de Suráfrica, el Prof. Andrew Thatcher, que paralelamente estaba desarrollando ideas similares bajo el concepto de ‘ergonomía verde’ (Green Ergonomics). Se estableció entonces un trabajo colaborativo que ha dado como resultado el desarrollo de tres artículos, uno de ellos será referido en el siguiente capítulo sobre las bases axiológicas y los otros dos son: Design principles for green ergonomics (Thatcher, Garcia-Acosta, & Lange-Morales, 2013) y Synergies between ergoecology and green ergonomics: a contribution towards a sustainability agenda for HFE (Lange-Morales, Thatcher, & García-Acosta, 2014a).

4.5 Publicación. Ergoecology : fundamentals of a new multidisciplinary field

García-Acosta G., Saravia Pinilla M.H., Romero Larrahondo P.A. & Lange Morales K. (2014) Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 15:2, 111-133.

[DOI:10.1080/1463922X.2012.678909](https://doi.org/10.1080/1463922X.2012.678909)

Recibido 11 Junio 2011; Versión final recibida 20 Marzo 2012; Publicado online 20 Abril 2012

ABSTRACT

This article conceptualises a new multidisciplinary field by establishing the elements of an ‘ergonomic system’ (human beings, physical space and object/ machine) and defining the term ‘surroundings’ (PESTE factors) while emphasising the ecological aspects of human activities. The definition of ergoecology is explained by an etymological analysis of the names of the contributing disciplines (ergonomics and ecology). The new multidiscipline combines and extends the scope of the two foundational disciplines using new principles, notions and concepts, such as ‘built environment’, ‘surroundings’, ‘ergoecology’, ‘ecoefficiency’ and ‘ecoproductivity’. The aim of ergoecology is to provide tools for confronting twenty-first century challenges. In line with the sustainability movement, we believe in the importance of using ecologic and ergonomic perspectives (in their broadest sense) to develop action aimed towards environmental preservation and the development of sustainable products, processes and service designs.

KEYWORDS

ergonomic system; ergonomics; ecology; ergoecology; ecoefficiency; ecoproductivity

ATENCIÓN ¡

Las páginas 60 a 83 de la tesis, que contienen el artículo, pueden consultarse en el web del editor

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1463922X.2012.678909>

4.6 Publicación. Ergoecology: evolution and challenges

DOI: 10.3233/WOR-2012-1017-2133

STM Publishing House | Impacting the World of Science
Books & Journals, Online & Print

Home News Books & Journals Service About IOS Press Contact Search this site... All

Books & Journals
New releases
Browse by subject
Books
Journals
Book Series

Home Catalogue Journals WORK

WORK
A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation

IMPACT FACTOR 2015 **0.32**

ISSN print 1051-9815
ISSN online 1875-9270
Volume 50-52; 12 issues
Status Last issue (51.4) online on 04 August 2015
Next issue 52.1 scheduled for September 2015
Back volumes 1-49
Subject **Biochemistry, Medicine & Health, Rehabilitation & Assistive Technology**

INSTITUTIONAL SUBSCRIPTION FOR 2015
€970 / US\$1325
Excluding VAT

Subscribe

SHARE THIS JOURNAL

WORK

Contents
Recommend this title to your librarian

Twitter: @WORK_Journal

Celebrating Volume 50 of WORK: Special Issue on *Soldier Rehabilitation* now freely available online!

WORK/Canadian Institute for the Relief of Pain and Disability (CIRPD)
Listen Now: Podcasts Presented by WORK Editor-in-Chief Karen Jacobs
Manager Involvement in Work Re-integration?
'Becoming Human Again': Exploring Connections Between Nature and Post-traumatic Distress for Veterans
Pulled from All Sides: The Sandwich Generation at Work
Productivity, Health, and Wellbeing from Working in Green Buildings: Can We Find Win-Win Solutions

Aims & Scope Editorial board Manuscript submission & Author instructions Abstracted/Indexed in News

WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation is an interdisciplinary, international journal which publishes high quality peer-reviewed manuscripts covering the entire scope of the occupation of work. The journal's subtitle has been deliberately laid out: The first goal is the prevention of illness, injury, and disability. When this goal is not achievable, the attention focuses on assessment to design client-centered intervention, rehabilitation, treatment, or controls that use scientific evidence to support best practice. WORK occasionally publishes thematic issues, but in general, issues cover a wide range of topics such as ergonomic considerations with children, youth and students, the challenges facing an aging workforce, workplace violence, injury management, performing artists, ergonomic product evaluations, and the awareness of the political, cultural, and environmental determinants of health related to work.

Dr. Karen Jacobs, the founding editor, and her editorial board especially encourage the publication of research studies, clinical practice, case study reports, as well as personal narratives and critical reflections of lived work experiences (autoethnographic/autobiographic scholarship), *Sounding Board* commentaries and *Speaking of Research* articles which provide the foundation for better understanding research to facilitate knowledge dissemination. *Narrative Reflections on Occupational Transitions*, a new column, is for persons who have successfully transitioned into, between, or out of occupations to tell their stories in a narrative form. With an internationally renowned editorial board, WORK maintains high standards in the evaluation and publication of manuscripts. All manuscripts are reviewed expeditiously and published in a timely manner. WORK prides itself on being an author-friendly journal.

WORK celebrates its 25th anniversary in 2015.

*WORK is affiliated with the Canadian Association of Occupational Therapists (CAOT)
*WORK is endorsed by the International Ergonomics Association (IEA)
*WORK gives out the yearly Cheryl Bennett Best Paper Award

ATENCIÓN ¡

Las páginas 85 a 92 de la tesis, que contienen el artículo, pueden consultarse en el web del editor

<http://content.iospress.com/download/work/wor1017?id=work%2Fwor1017>

4.7 Referencias

- Abukhader, S. M. (2008). Eco-efficiency in the era of electronic commerce—should ‘Eco-Effectiveness’ approach be adopted? *Journal of Cleaner Production*, 16(7), 801-808.
- Arellano, A., Ocampo, J., & Arellano, A. (2003). La sociología de las ciencias y de las técnicas de Bruno Latour y Michel Callon. *J. Ocampo, E. Patlán y A. Arellano (Comps.): Un debate abierto. Escuelas y corrientes sobre la tecnología, México, Universidad Autónoma de Chapingo*, 87-103.
- Clegg, C. W. (2000). Sociotechnical principles for system design. *Applied ergonomics*, 31(5), 463-477.
- Cherns, A. (1976). The Principles of Sociotechnical Design1. *Human relations*, 29(8), 783-792.
- Dhadphale, T. (2013). *Cultural Sustainability by Design: A Case of Food Systems in India*. Arizona State University.
- Domènech, M., & Tirado, F. J. (1998). *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad. Claves para la lectura de textos simétricos*. Barcelona: Gedisa.
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., . . . van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377-395.
- Hendrick, H. W. (2002). An overview of macroergonomics. In H. W. Hendrick & B. Kleiner (Eds.), *Macroergonomics: theory, methods, and applications* (pp. 1-23). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Hendrick, H. W. (2008). Applying ergonomics to systems: some documented “lessons learned”. *Applied ergonomics*, 39(4), 418-426.
- Hughes, T. P. (1983). *Networks of Power: Electric supply systems in the US, England and Germany, 1880-1930*: Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Karwowski, W. (2000 (2010)). Symvatology: The science. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1(1), 79-91.
- Lange-Morales, K., Thatcher, A., & García-Acosta, G. (2014a). Synergies between ergoecology and green ergonomics: a contribution towards a sustainability agenda for HFE. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM IX - NES 46* (pp. 771-776). Copenhagen: IEA.
- Lange-Morales, K., Thatcher, A., & García-Acosta, G. (2014b). Towards a sustainable world through human factors and ergonomics: it is all about values. *Ergonomics*, 57(11), 1603-1615.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social-an introduction to actor-network-theory* (Vol. 1): Oxford University Press.
- Lee, J. J., O'Callaghan, P., & Allen, D. (1995). Critical review of life cycle analysis and assessment techniques and their application to commercial activities. *Resources, conservation and recycling*, 13(1), 37-56.
- Legarth, J. B., Alting, L., Danzer, B., Tartler, D., Brodersen, K., Scheller, H., & Feldmann, K. (1995). A new strategy in the recycling of printed circuit boards. *Circuit World*, 21(3), 10-15.
- Marquez, M. T. (1998). La construcción de la tecnología. *Revista FAMECOS*, 1(9).

- Martínez-Alier, J., Pascual, U., Vivien, F.-D., & Zaccai, E. (2010). Sustainable de-growth: Mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm. *Ecological Economics*, 69(9), 1741-1747.
- McCracken, D. D., & Jackson, M. A. (1982). Life cycle concept considered harmful. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*(7), 29-32.
- Pantzar, M. (1997). Domestication of everyday life technology: dynamic views on the social histories of artifacts. *Design Issues*, 52-65.
- Qureshi, Z. Z. A. (2014). *Complex Industrial Sociotechnical Systems Dynamics Modeling and Ramp-up*. (Doctor of Philosophy), University of Windsor.
- Riba Romeva, C. (2011). *Recursos energètics i crisi: la fi de 200 anys irrepitibles*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sánchez-Criado, T. (2005). *La teoría del actor-red*. Paper presented at the Seminario de Estudios sobre Mediación en Arte y Ciencia (SEMACE), Facultad de Psicología
- Saravia-Pinilla, M. H. (2006). *Ergonomía de Concepción: su aplicación al diseño y otras disciplinas proyectuales*. Bogotá D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Thatcher, A., Garcia-Acosta, G., & Lange-Morales, K. (2013). Design principles for green ergonomics. In M. Anderson (Ed.), *Contemporary Ergonomics and Human Factors* (pp. 319-326).
- Valderrama, A. (2004). Teoría y crítica de la construcción social de la tecnología. *Revista colombiana de Sociología*(23), 217-233.
- Vidal, M. C. R. (2010). *Principios para un abordaje macroergonómico: útil, práctico y aplicado*: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Enfermería.

5. TENDENCIAS Y MÉTODOS

5.1 Introducción

Tanto en la ingeniería concurrente como en la ingeniería de DDP, los métodos y técnicas que se aplican se pueden reconocer bajo la denominación de ‘diseño para X’. Los métodos aplicados en el CVP y más frecuentemente enunciados en la literatura científica, fueron agrupados en una primera lista bajo el enfoque de cuatro aspectos: 1) la competitividad y el mercado, 2) la productividad, 3) los aspectos ambientales y, 4) los aspectos humanos (ver figura 5.1). Dichos aspectos se establecieron, por una parte, deduciendo el interés temático de los mismos métodos y, por la otra, reconociendo si se contemplaban concretamente métodos relacionados con los aspectos ambientales (ecológicos) o humanos (EFH). En línea con dicha agrupación, un nuevo mapa se planteará más adelante (ver figura 5.3), donde se incluyen las tendencias tanto en factor humano como en factor ambiental.

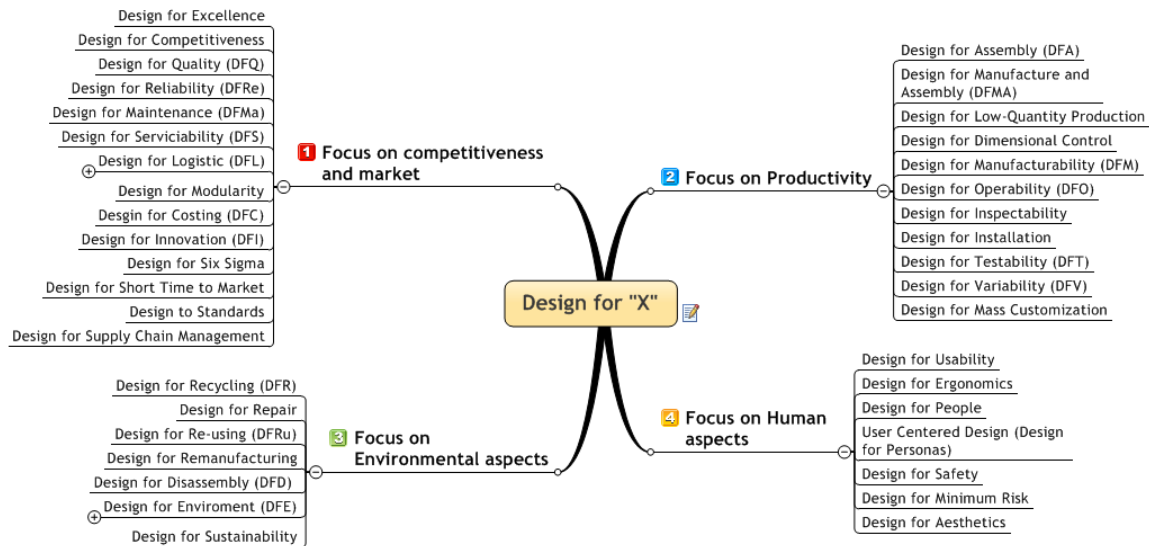


Figura 5.1 ‘Diseño para X’ agrupados en cuatro aspectos deducidos

La revisión de estudios para obtener la agrupación anterior dejó en evidencia tres cosas: en primer lugar, el desequilibrio entre el número de métodos disponibles con referencia directa al CVP en cada uno de los cuatro aspectos; en segundo lugar, la falta de definición de las tendencias en especial en los aspectos humanos y en los aspectos ambientales, necesarios para responder en la simetría humano – ambiental; y, en tercer lugar, la falta de bases conceptuales para definir criterios de agrupación metodológica.

Relacionado con la falta de bases conceptuales comunes, uno de los problemas epistemológicos en la ingeniería de DDP es que se han creado cada vez más métodos y técnicas, descuidando la base conceptual y paradigmática en la que se están sustentando. Lo anterior genera un manejo indiscriminado de principios y conceptos, sin hacer distinciones y al mismo tiempo, sin valorar su complementariedad o su repetición. A algunos profesionales no les preocupa hacer aclaraciones por considerar que en esencia no

ven ningún efecto práctico, pero dicha situación está generando una torre de Babel por la proliferación de conceptos en los que no se ha acordado su interpretación generalizada, independientemente de la disciplina. De por sí, ya hay dificultades dentro de cada disciplina para tener comprensiones –dejando de lado acuerdos o disidencias–, pues aún más difícil se hace el trabajo interdisciplinar y multidisciplinar sin un lenguaje en común.

La consecuencia de todo ello es, por un lado, el distanciamiento y la dificultad de comprenderse en diferentes niveles y disciplinas; por otro lado, al no existir acuerdos, es muy difícil trabajar sobre la misma línea o tendencia y así obtener métodos cada vez más integrados y robustos. Si no se tiene claridad del origen (ontología), ni de su campo, aplicación y límite conceptual (epistemología) difícilmente se podrá comprender y valorar un trabajo holístico y tener algunos consensos sobre los sistemas de cualificar y cuantificar, esto es, consensos en las perspectivas y respetos por la diversidad en las métricas de modelado y medición de lo que se considera como ‘realidad’.

Lo anteriormente expuesto establece la importancia de construir la segunda parte del modelo, como un marco de tendencias y sus métodos, que permitan establecer lineamientos y herramientas que posibiliten el abordaje simétrico de los aspectos humanos y los aspectos ambientales, a partir de tres acciones: a) La ubicación de las tendencias y métodos en el DDP con énfasis en la EFH, b) la deducción de tendencias con énfasis en los factores ambientales y c) las relaciones simétricas encontradas en la literatura, de métodos que contemplan tanto el aspecto humano como el ambiental. La figura 5.2 representa las cuatro partes del modelo, resaltando la segunda parte en color verde, acerca de tendencias y métodos tanto de los factores humanos como de los factores ambientales.

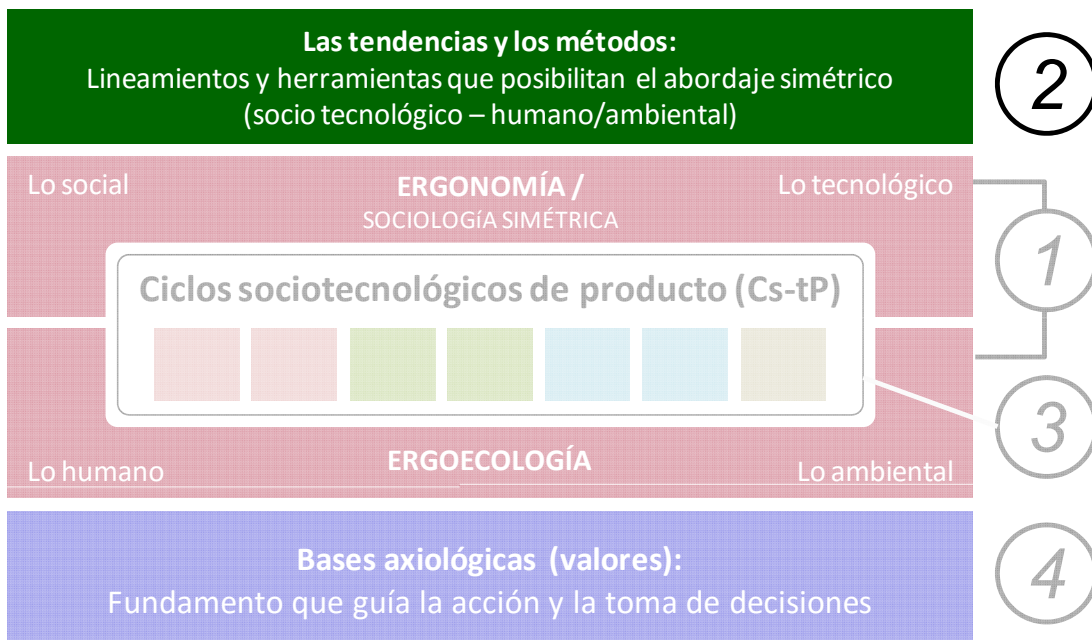


Figura 5.2 Partes del modelo, resaltando la segunda parte i.e. las tendencias y los métodos.

Para hacer frente a todo ello y construir un marco de tendencias y métodos simétrico, se realizaron dos revisiones sistemáticas, la primera desarrollada inicialmente en el seminario de investigación tutelada del doctorado en Proyectos de Innovación Tecnológica en la Ingeniería de Producto y Proceso de la Universidad Politécnica de Cataluña y la segunda dentro del grupo de investigación MIMAPRO (Micro y macro ergonomía de productos y procesos) de la Universidad Nacional de Colombia. A continuación se presentan los resultados de ambas revisiones.

5.2 Tendencias y métodos en el DDP con énfasis en los factores humanos y ergonomía

El propósito de la revisión sistemática fue realizar un reconocimiento preliminar en las bases de datos de la literatura científica de los trabajos relacionados con el denominado ‘Design for X’, ocupados en la relación de los productos con los aspectos humanos (usuarios, clientes, consumidores o colaboradores). Como objetivos se plantearon comprender las tendencias conceptuales y metodológicas desde una visión global del estado del arte, alrededor del DDP con relación a ciclo de vida, factores humanos y contexto-entorno, así como deducir de manera preliminar los enfoques, conceptos, métodos y aplicaciones en DDP centrado en el ser humano.

Luego de la construcción de ecuaciones de búsqueda con función booleana y un largo proceso de indagación, refinamiento y agrupación analítico – deductiva, se llegó a la conformación de siete grandes tendencias del diseño centrado en los individuos o colectivos, así:

1. Diseño colaborativo
2. Diseño centrado en el usuario (o diseño centrado en el humano)
3. Diseño universal (o diseño inclusivo o diseño para todos)
4. Usabilidad
5. Diseño basado en la experiencia (o diseño emocional)
6. Diseño centrado en el mercado / contexto
7. Diseño transcultural (o centrado en la cultura)

Complementario a estas siete tendencias se ubicaron métodos y técnicas transversales de los cuales se destacan el diseño participativo, los estudios etnográficos y la construcción de escenarios.

Adicionalmente, se pueden mencionar como conclusiones del estudio lo siguiente:

- Aunque de primera intención se tratara de reducir las tendencias, es muy difícil tanto por sus enfoques, como por sus métodos poder hacerlo. Pero al mismo tiempo no existen fronteras radicales entre ellas, sino más bien difusas, debido a que comparten como eje común la visión antropocéntrica.
- En general, se comparten y se seguirán compartiendo muchos conceptos y técnicas entre estas siete tendencias, pero difícilmente serán todos reducibles o unificados en una sola. Cada noción

arrastra en su connotación una base conceptual, un significado que le da dirección a unos principios teóricos y establecen diferentes perspectivas de abordaje y por lo tanto, diferentes ‘verdades’ validadas en su marco epistemológico, a veces incluyentes, pero a veces excluyentes y en contraposición.

- Hay una migración de la visión del individuo como un ser humano ‘neutro’, desconectado de historia, experiencias y vivencias individuales y colectivas, hacia un individuo contemplado como persona con carácter, como sujeto con proyecto y con trayecto (Restrepo, 2008).
- De acuerdo con lo anterior, la visión del usuario, y lo que se conoce como la voz del cliente / usuario / persona, establece otra orientación menos abstracta y general, en el sentido de establecer una caracterización más específica de valores y preferencias, dando más peso al trabajo con la experiencia de los usuarios y sus emociones, lo que lleva a establecer categorías y subgrupos culturales más diversos y específicos según los estilos de vida.
- Cuando las condiciones de análisis de la interacción son fundamentalmente funcionales, como la tradicional tendencia de los factores humanos, el abordaje convencional de las metodologías permite moverse en un espacio confortable de objetividad. Los datos objetivos dimensionales por ejemplo, permiten determinar una *compatibilidad* en la interacción, con pocas dudas de lograr una tendencia que pueda ser un estándar de buen desempeño humano.
- En el otro extremo están las condiciones de análisis de la interacción (igualmente necesarias y válidas) fundamentalmente relacionadas con la dimensión de la experiencia, lo emocional y lo afectivo, en donde hay una pluralidad y disparidad de metodologías, que no permiten moverse en un espacio confortable de metodologías. Los datos objetivos de los gustos y valoraciones emocionales y estéticos tienden a establecer una *compatibilidad* relativa en la interacción en términos de satisfacción de los usuarios y deja abiertas dudas y debates sobre la posibilidad de establecerlos de manera universal y estándar.

El documento de investigación tutelada que tiene el contenido en detalle de las siete tendencias deducidas se titula: Reconocimiento inicial (surveys): Enfoques de documentos (casos, métodos, técnicas y conceptos) relacionados con el diseño para seres humanos / usuarios / clientes / consumidores / colaboradores (García Acosta, 2009). A partir de este documento, se realizaron dos trabajos adicionales, uno orientado a describir las tendencias en EFH en relación con el CVP-M y el CVP-I y otro, relacionando las tendencias con una aproximación a la responsabilidad social. Producto final de ello se hicieron dos publicaciones que se referirán más adelante.

5.3 Tendencias y métodos de DDP con énfasis en factores ambientales y relaciones simétricas desde la ergoecología

El propósito de esta revisión fue cerrar la brecha teórica y metodológica entre aspectos humanos y ambientales en el DDP, para lo cual se trabajó desde la perspectiva ergoecológica, indagando la

compatibilidad de los métodos o técnicas existentes que se aplican actualmente en los modelos de CVP. El objetivo general se orientó a proponer estrategias para abordar metodológicamente el DDP, dentro de los fundamentos de la ergoecología y acorde con las dinámicas sostenibles. Como objetivos específicos se buscó, por una parte, explorar qué métodos existentes de DDP están centrados tanto en el usuario como en el ambiente o la sostenibilidad (simetría); por otra parte, analizar la compatibilidad de los métodos inventariados con los fundamentos ergoecológicos.

En la revisión documental señalada en el anterior apartado (García Acosta, 2009), se logró identificar que algunas de las siete tendencias han ido configurando sus propios métodos, como es el caso del diseño universal o del diseño basado en la experiencia. También mostró la fortaleza y profundidad con la que se han ido configurando métodos con énfasis en la EFH, pero al mismo tiempo, dejó ver como debilidad que dicha especialización o énfasis, ha puesto de lado las preocupaciones sobre los factores ambientales y la sostenibilidad, incluso como criterios o variables del contexto. Adicionalmente, la excesiva división y especialización de las disciplinas del conocimiento han originado métodos divergentes más que convergentes y por tanto, se hace necesario fortalecer las visiones integradoras y holísticas como la ‘ergonomía verde’ o la ergoecología. En consecuencia, el trabajo se orientó a establecer estrategias necesarias para el abordaje metodológico en el DDP, que estructuren y permitan la convergencia de algunos métodos existentes desde las diversas perspectivas, a partir de los fundamentos ergoecológicos.

Se abordó una nueva revisión documental de las tendencias/métodos, esta vez con énfasis en el factor ambiental o ecológico, para comprender el papel que juega el ser humano dentro de dichos métodos. Se hizo una búsqueda en revistas indexadas a través de bases de datos, seleccionando aquellos centrados en el ambiente y centrados en el usuario, obteniendo un inventario organizado de acuerdo con las fórmulas de búsqueda. Posteriormente se formuló un proceso de filtrado a partir de descriptores como calidad de vida y decrecimiento, sostenibilidad, desarrollo sostenible, eco-eficiencia, eco-productividad, eco-efectividad, riesgos, salud y productividad, entre otros.

Para construir las nuevas ecuaciones de búsqueda con función booleana, se generó una matriz donde se cruzaron conceptos de DDP, con las siete tendencias del estudio anterior y con nociones asociadas a la sostenibilidad y lo ambiental. Las ecuaciones se organizaron en dos grupos, el primero, relacionado con conceptos con un total de 11 ecuaciones y el segundo referido a métodos con un total de 48 ecuaciones. Tanto la matriz como las ecuaciones se pueden ver más adelante como parte del contenido del segundo artículo.

La base de datos con artículos publicados en revistas indexadas, construida con las 59 ecuaciones de búsqueda, junto con la aplicación de un estudio Delphi, sirvió de fundamento para refinar y agrupar analíticamente métodos con énfasis ambiental para el DDP y establecer, en primera instancia, las siguientes tendencias:

1. Sostenibilidad desde la mitigación
2. Sostenibilidad desde la regulación
3. Sostenibilidad desde la prevención
4. Sostenibilidad desde el fin de vida
5. Sostenibilidad desde la creación

Continuando con el estudio Delphi, un análisis subsecuente de dichas tendencias bajo la óptica de una serie de preguntas orientadas hacia la sostenibilidad, derivó en una nueva agrupación de los métodos y técnicas. Se utilizó como referencia de agrupación de métodos el triángulo de la sostenibilidad propuesto por Dyllick and Hockerts (2002) y se llegó a la deducción de seis familias de métodos que se orientaban o hacia el eje de la eco-eficiencia o hacia el eje de la eco-efectividad, contrastando las cinco tendencias de la anterior categorización, se plantearon dos nuevas formas de agrupar las tendencias así:

Grupo A

1. Mitigación / reducción de impactos ambientales (eco-eficiencia)
2. Eliminación de impactos ambientales / conservación (eco-efectividad)

Grupo B

1. Diseño para la mitigación de impactos
2. Diseño para la regulación de impactos
3. Diseño para la prevención / eliminación de impactos
4. Diseño para la optimización ambiental
5. Diseño para el reciclaje y la reutilización

Las conclusiones que se destacan de la revisión y agrupación de los métodos, la guía y el establecimiento de las tendencias son:

- De acuerdo con los 16 expertos consultados en el estudio Delphi, el método más reconocido y utilizado hoy día para evaluar impactos ambientales y diseñar productos es el ‘Análisis de Ciclo de Vida (LCA)’, seguidos por el eco-indicador 99 y la matriz MET. Aunque no tiene una aplicación directa en el DDP, la huella de carbono también es un método ampliamente reconocido. Respecto a programas informáticos, el estudio destacó como de uso más frecuente los paquetes SimaPro y GaBi que son las versiones de software del LCA, reconocido por la mayoría de expertos.
- La mayoría de los consultados reconocieron que se debe incorporar al ser humano pues muchos métodos no consideran su rol como creador, productor, usuario y cuyas conductas son determinantes en la generación de impactos ambientales. En algunos casos el LCA ve el impacto en la salud humana, causada indirectamente por los daños al ambiente. Los expertos también

indicaron que los seres humanos deben contemplarse bajo la visión de personas interesadas (stakeholders) en su rol integrador y adicionalmente, se deberían contemplar e integrar en los métodos los factores culturales, de contexto y de uso, pues prácticamente todos se centran en el producto y los impactos ambientales.

- Con base en las respuestas del estudio, fue posible deducir dos grandes tipos de clasificaciones, la primera, con base en los criterios de análisis y la segunda de acuerdo con el propósito u objetivo del método, es decir, si busca analizar el ciclo o si se enfoca en crear estrategias de reducción o mejora.
- Las respuestas de los consultados, respecto a diferencias y similitudes entre desarrollo sostenible y sostenibilidad, fueron ambiguas y contradictorias. Lo que se destacó es reconocer al desarrollo sostenible con una idea de progreso económico y calidad de vida, mientras que sostenibilidad se relacionó más como buscar el equilibrio en un determinado sistema.
- A pesar de que en la revisión sistemática se encontraron 232 métodos, se establecieron 36 métodos refinados a partir de los que más publicaciones tenían. En las preguntas del Delphi, aún con el tamaño reducido de métodos, los expertos no reconocieron la mayoría, lo que no sólo confirma la criticable expansión y dispersión, sino la falta de consenso y trabajo convergente por parte de los especialistas.
- La mayoría de métodos se enfocan en minimizar impactos, reducir consumo de materiales y regular las emisiones tóxicas al ambiente, pero son mínimas las enfocadas a eliminar los impactos y promover la restitución y recuperación del ambiente natural. El modelo económico hegemónico basado en el crecimiento financiero, asume como utopía una visión de futuro dominada por la ecoefectividad, pues métodos como el Cradle to Cradle y la biomímesis exigen de cambios estructurales drásticos no solo en los valores de los consumidores, sino en los valores de los productores y en los enfoques de I+D+i para responder a nuevos materiales y en general nuevas tecnologías similares a los ciclos naturales.

A continuación en la figura 5.3, se muestra un mapa donde se hace una propuesta de agrupación de métodos bajo la denominación genérica de ‘diseño para X’, basados en el de la figura 5.1, pero donde se incluyen las tendencias deducidas tanto de factor humano como de factor ambiental, como una forma de equilibrar y mostrar la necesidad de incluir en el modelo de ciclos socio-tecnológicos, tanto los aspectos ambientales como los aspectos humanos. El propósito finalmente es seleccionar tendencias y métodos que trabajen de manera sinérgica y se aborden así problemas y requerimientos de manera simétrica.

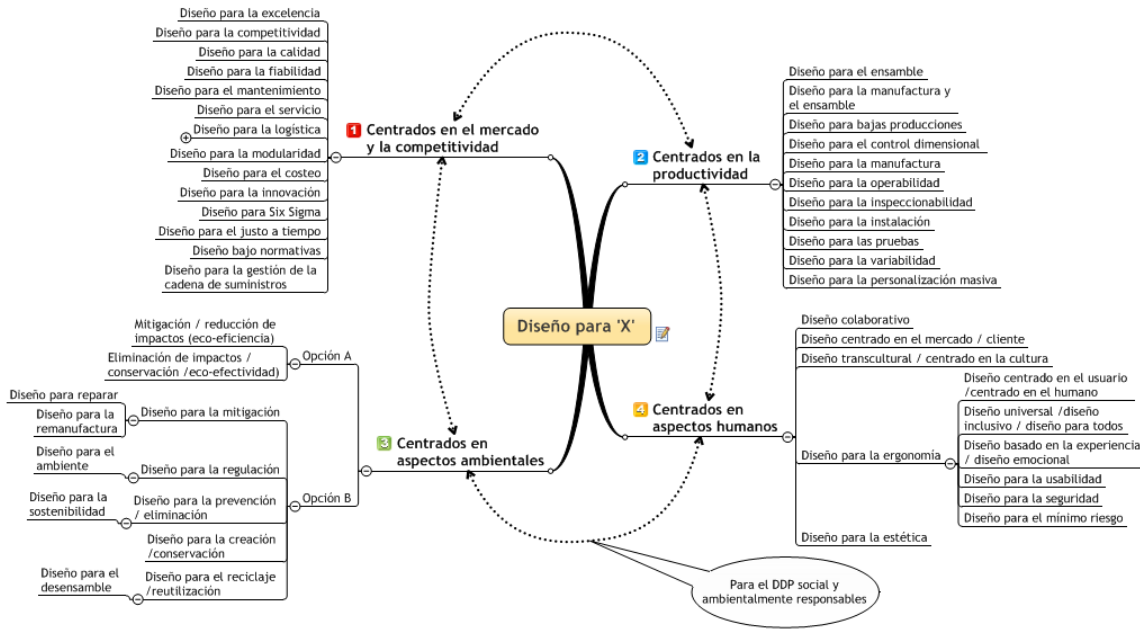


Figura 5.3 ‘Diseño para X’ con la inclusión de tendencias /métodos en los aspectos ambiental y humano

Luego de la breve descripción de las dos revisiones sistemáticas que soportan la segunda parte del modelo denominado ‘marco tendencias y métodos’, se presentan a continuación dos documentos con categorías indexadas, que empiezan a hacer claridad para tener criterios de selección de tendencias, así como lineamientos para ensamblar los métodos más compatibles y complementarios, que posibiliten el abordaje simétrico socio-tecnológico – humano /ambiental.

El primero documento titulado: Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle and innovation: trends in consumer product design, desarrolla las cinco tendencias más reconocidas de DDP orientadas en las personas –basados en el documento de investigación tutelada (2009) –, con relación a los modelos tanto de CVP-M, como de CVP-I, estableciendo una escala espacio-temporal de dos grandes momentos, el producto en desarrollo y el producto en el mercado. Para cada una de las cinco tendencias se ubican cuatro características: la primera, establece el propósito, los conceptos y enfoques, la segunda, enumera algunos métodos y aproximaciones, la tercera, enuncia las ventajas, desventajas y retos, y la cuarta, reseña brevemente las aplicaciones al diseño de productos. También se mencionan algunos métodos y técnicas con aproximaciones transversales, es decir, aquellos que pueden ser utilizados desde diferentes tendencias. Por último, se concluye en un esquema de los modelos, en donde cada una de las tendencias puede ser ubicada en el eje espacio-temporal. Complementario a este documento se escribió un artículo titulado: ‘Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano: una aproximación a la responsabilidad social’ (Puentes Lagos, García Acosta, & Lange Morales, 2013)

El segundo documento titulado: A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective, que desarrolla a partir del software NVivo 10, una catalogación de los documentos encontrados en las bases de datos, que

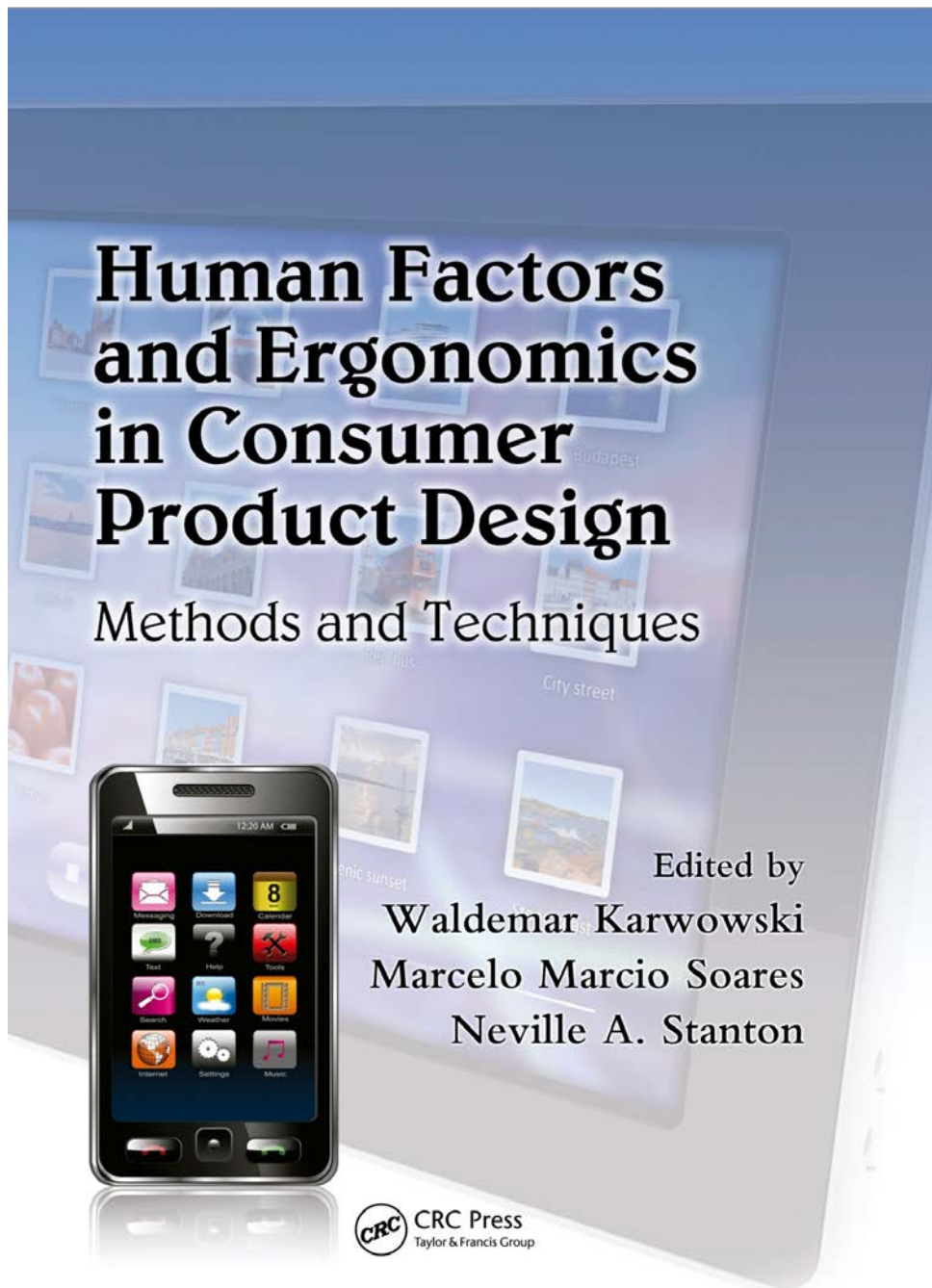
cumplen con los principios y fundamentos de la ergoecología. Los hallazgos permiten ver por un lado el nivel de madurez de conceptos como la sostenibilidad, la eco-productividad, la eco-eficiencia y la eco-efectividad. Por otro lado, los autores que tienen mayor grado de empatía con la postura simétrica propuesta y finalmente, los grupos de artículos que a partir de las tendencias en factor humano, presentan más relación con el concepto de sostenibilidad, muy desarrollado en los factores ambientales. De lo anterior se destaca que el diseño participativo y la usabilidad son las tendencias más empáticas con la sostenibilidad. Por último, se discute y concluye que aún prevalece el trabajo aislado, por una parte, de las comunidades de ergonomía y factores humanos y por otra parte, de comunidades que tratan de los asuntos ambientales y la sostenibilidad. Consecuentemente, se necesita animar un trabajo colaborativo entre las dos comunidades y aportar bases y herramientas para que se desarrolle un trabajo simétrico.

Adicionalmente, se debe destacar que paralelamente a la publicación de estos documentos, y con base tanto en la revisión sistemática como en los estudios Delphi, se desarrolló un documento para construir una guía para DDP sobre métodos y tendencias en factores ambientales. La aplicación de esta guía busca ayudar en: primero, identificar el tipo de producto; segundo, definir el objetivo del análisis y aplicación del método; tercero, establecer el nivel de complejidad del proyecto y la robustez de los resultados que se quieren alcanzar; cuarto, reconocer el tiempo disponible para el DDP; quinto, ubicar en qué fase del ciclo se está; y sexto, aplicar el esquema de comparación para seleccionar el método o herramienta más pertinente. Finalmente, otro documento avanzó en la organización y agrupación de los métodos en familias por similitud y ubicación según el triángulo de la sostenibilidad (Calderón, 2014).

5.4 Publicación. Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle, and innovation: trends in consumer product design

García-Acosta, G., Lange-Morales, K., Puentes-Lagos, D.E., Ruiz-Ortiz, M.R. (2011). Addressing Human Factors and Ergonomics in Design Process, Product Life Cycle, and Innovation: Trends in Consumer Product Design. In: Karwowski, W., Stanton, N., Soares, M. (Eds.). Handbook of Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design.

DOI: 978-1-4200-4629-8



ATENCIÓN ¡
Las páginas 105 a 128 de la tesis, que contienen el capítulo del libro,
pueden consultarse en el web del editor
<https://www.crcpress.com/Human-Factors-and-Ergonomics-in-Consumer-Product-Design-Methods-and-Techniques/Karwowski-Soares-Stanton/p/book/9781420046281>

5.5 Publicación. A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective.

Saravia-Pinilla M.H., Daza-Beltrán C., García-Acosta G. A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective.

Aceptado para Edición Especial de Applied Ergonomics, a publicarse en febrero 2016.

ABSTRACT

This article presents the results of a documentary-exploratory review of design methods and concepts associated with human and environmental factors, based on a qualitative-quantitative analysis of coincidences with the fundamentals of ergoecology and in line with sustainable dynamics, with a view to putting the principles of ergoecology into practice in product/service design and development. 61.6% of 696 documents found represent work on conceptual developments, while the remaining 38.4% refer to design methods. Searches were refined using Nvivo-10 software, and 101 documents were obtained about theoretical aspects while 17 focused on the application of methods, and these formed the analysis universe. The results show how little concern there is for working comprehensively on human and environmental aspects, and a trend toward segmentation of human and environmental aspects in the field of product/service design and development can be seen, at both concept and application/methodology levels. It was concluded from the above that comprehensive, simultaneous work is needed on human and environmental aspects, clarity and conceptual unity, in order to achieve sustainability in practical matters and ensure that ergoecology-compatible design methods are applied.

KEYWORDS

human factors / ergonomics HFE, sustainability, design methods

ATENCIÓN ¡

Las páginas 130 a 144 de la tesis, que contienen el artículo, pueden consultarse en el web del editor

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687015301083>

5.6 Referencias

- Calderón, S. (2014). *Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano y ambiental (ergoecología)*. Universidad Nacional de Colombia.
- Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business strategy and the environment*, 11(2), 130-141.
- García Acosta, G. (2009). *Enfoques de documentos (casos, métodos, técnicas y conceptos) relacionados con el diseño para seres humanos / usuarios / clientes / consumidores / colaboradores*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Puentes Lagos, D. E., García Acosta, G., & Lange Morales, K. (2013). Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano: una aproximación a la responsabilidad social. *Iconofacto*, 9(12), 71-97.
- Restrepo, G. (2008). The Promise of Telemaco: Archaeology of the Subject. *universitas humanística*(65), 49-72.

6. CARACTERIZACIÓN DE LOS CICLOS SOCIO-TECNOLÓGICOS DE PRODUCTO

6.1 Introducción

La ingeniería de diseño y desarrollo de producto adoptó el concepto de Ciclo de Vida (CV) sin reparar en sus dificultades semánticas y epistemológicas, sobre todo, si se tiene en cuenta que los seres vivos tienen una fenomenología muy distinta a la de los productos. Ayres (2004) discute sobre la metáfora del CV adoptada por la ecología industrial, para resaltar algunas divergencias entre los sistemas económicos y los sistemas ecológicos. Para Ayres, la analogía del CV tomada de la naturaleza hacia la industria, ha buscado la similitud de las funciones naturales con las funciones industriales. Por ejemplo, en la naturaleza los seres vivos tienen ingestión, digestión de alimentos y desechos orgánicos, para obtener tanto energía como trabajo, esto es, un metabolismo biológico. Por su parte, las compañías –de forma análoga a los organismos– consumen recursos, materiales y energía y los transforman en productos y en desechos industriales, lo que sería equiparable en los sistemas productivos con un “metabolismo industrial”. Sin embargo, es evidente que los desechos industriales, a diferencia de los naturales, no son reciclables o entran como alimento y nutrientes a los sistemas y ciclos naturales. Ayres recalca por lo menos cuatro diferencias entre la biósfera y la tecnósfera. 1) En los sistemas productivos humanos (tecnósfera) no hay producción primaria derivada del sol, como la fotosíntesis y la consecuente generación de biomasa; 2) En la biósfera no hay productos como tales. El crecimiento es equivalente a la acumulación de exergía solar incorporada en forma de celulosa, azúcares, lípidos y proteínas, y sus ‘desechos’ o materia ‘muerta’ son reciclados y bio-degradados para nutrir otros ciclos sin contaminar; 3) En la biósfera no hay mercados, por tanto no aplican la oferta y la demanda, ni mucho menos el intercambio (basado en el dinero). Tampoco hay algo análogo al trabajo remunerado, más allá de la subsistencia, los intercambios son cooperaciones e interdependencias; 4) En la naturaleza (biósfera) opera la evolución como estrategia de subsistencia y es dinamizada por contextos determinados donde viven las especies, en cambio, en la economía (tecnósfera) la innovación y la invención están dinamizadas por la competitividad y el crecimiento global. Por todo lo anterior, Ayres insiste en la inconveniencia del uso injustificado la analogía ecológica (biósfera) a la economía (tecnósfera).

Sin embargo, la analogía funciona perfectamente si solo trabajamos con el concepto ‘ciclo’, para describir el conjunto de etapas espacio-temporales por las que transcurre un producto. En cambio, la analogía con ‘ciclo de vida’ involucra dificultades epistemológicas, pues las entidades vivas tienen una serie de características para considerarse entes ‘vivos’ no homologables a los productos, como lo señaló Ayres, por mencionar un par de ellas, i.e. la auto replica y la autogeneración (autopoiesis), que no se encuentran en los productos.

Este trabajo no tiene como propósito entrar a desplegar dicha discusión epistemológica, máxime si en la comunidad académica y científica el uso de ‘ciclo de vida’ es tan generalizado, que no se ven sus dificultades y por tanto no es un tema central de debate. No obstante, en el presente capítulo insistiremos en describir y caracterizar el ciclo o los ‘ciclos de existencia’¹, sus componentes y características, de manera que no se presenten ambigüedades por asociarlo a una mera analogía biológica. Adicionalmente, al adoptar una simetría e indisolubilidad entre los humanos como ‘entes socio-tecnológicos’ y los mismos productos como ‘entes socio-tecnológicos’, no entramos ni nos exponemos a dicha problemática epistemológica.

De acuerdo con lo anterior, y para terminar de desarrollar todas las partes del modelo, se abordará a continuación la tercera parte del modelo, que es la caracterización de los ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP), describiéndolo bajo cuatro aspectos: a) características generales de los Cs-tP, b) dinámicas de intercambio en los Cs-tP, c) partes constitutivas de los Cs-tP y d) fundamentos y cualidades en los Cs-tP. La figura 6.1 representa las cuatro partes del modelo, incorporando en el centro la tercera parte, expresada como una serie de cuadros consecutivos de color, que hacen referencia a las etapas esenciales de los ciclos. A continuación se desarrollarán cada uno de los aspectos que caracterizan los ciclos socio-tecnológicos de producto.

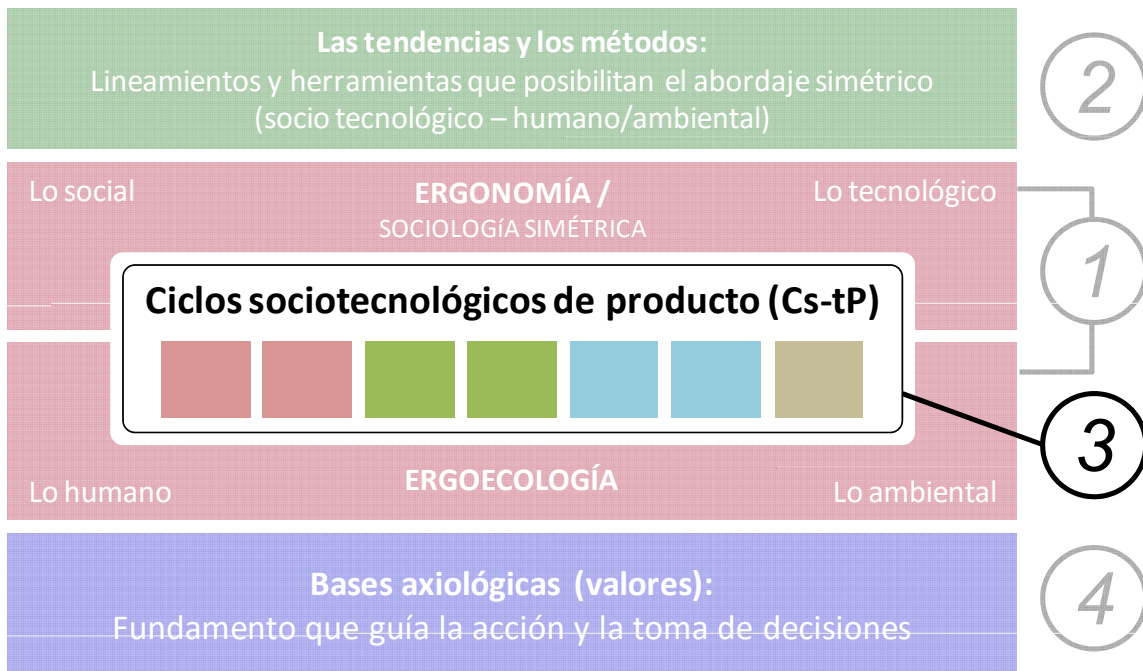


Figura 6.1 Partes del modelo, resaltando la cuarta parte i.e. la los ciclos socio-tecnológicos de producto

¹ Aquí se comprende la “existencia” desde el punto de vista fenomenológico, como esa condición o manifestación de una entidad cualquiera de “ser/estar en el mundo”. La realidad concreta de una entidad cualquiera y no meramente biológica.

6.2 Características generales de los Cs-tP

Como se explicó en el anterior apartado, los ciclos socio-técnicos –o socio-tecnológicos– de un producto (Cs-tP)² tiene sus fundamentos por una parte en la noción de la sociología simétrica, que no hace distinción entre agentes (o actores-red³) humanos y no humanos. Por la otra parte está la noción de sistemas socio-técnicos, que no separa lo social de lo tecnológico, sino que los comprende como un todo. Esta última noción ha sido adoptada en la ergonomía, más exactamente en la macroergonomía, para dar cuenta cómo se pueden diseñar desde la dimensión organizacional, las condiciones de desempeño de sistemas de trabajo (procesos o productos).

Bajo estas dos nociones se plantea mantener dicha simetría e inseparabilidad socio-tecnológica, a lo largo de los conceptos propuestos. Como ya se ha mencionado, el significado de ciclo connota una serie de etapas por las que recorre un fenómeno o ente, en determinado tiempo y espacio. Los ciclos son representaciones utilizadas con mucha frecuencia en biología y ecología, para describir o explicar las transformaciones que tienen ciertas entidades a lo largo del tiempo y espacio, caracterizados porque se repiten (una vez se termina un ciclo, puede volver a ocurrir) y en algunos casos tiene bucles de retroalimentación que cambian las dinámicas del ciclo.

Ahora es fundamental hacer la distinción entre los sistemas propios de la tierra, con los sistemas creados por los seres humanos (i.e. los Cs-tP). Estas dos categorías de sistemas se pueden nombrar y representar de diferentes maneras, por ejemplo, ecosistemas interactuando con sistemas socio-culturales; sistemas naturales relacionándose con sistemas socio-tecnológicos; sistemas terrícolas intercambiando con sistemas humano-tecnológicos; sistemas/ciclos biotrópicos afectándose con sistemas/ciclos antrópicos⁴; factores ecológico / geográficos condicionando a sistemas ergonómicos. Cualquiera de estos modelados de ciclos por operar en la Tierra, tienen como común de nominador cualidades como: la sinergia y la interdependencia, las relaciones simbióticas y sobre todo balances / desbalances dinámicos. Las posibilidades de modelar los sistemas o ciclos antes mencionados dependerán de los intereses de los investigadores, por ello es posible que existan otras combinaciones o designaciones. La figura 6.2 representa algunas de ellas, lo importante es tener presente las dos categorías mencionadas por Ayres: las relacionadas con la biósfera y representadas en azul (biotrópicos) y las asociadas a la tecnosfera dibujadas en terracota (antrópicos).

²En toda la literatura en inglés, no se hace distinción entre sistemas socio-técnicos o sistemas socio-tecnológicos, por tanto, en este documento se comprenderán como sinónimos. En castellano, el concepto que tiene una connotación más amplia es el de socio-tecnológicos, por lo cual será el que se use con más frecuencia.

³ Los ‘actores-red’ en la sociología simétrica serán los humanos y no humanos que tienen capacidad de agencia, es decir, capacidad de actuar o afectar un propósito. Por tanto, en este capítulo cuando se hable de actores, no sólo se referirá a los seres humanos, sino a los no humanos, es decir, objetos, productos, tecnologías, sistemas.

⁴ Antrópico se refiere a *anthropos*, es decir, relativo o derivado del ser humano, por lo tanto, los ciclos antrópicos son aquellos en donde hay una intervención o un propósito humano. En suma, es cualquier ciclo donde hay causación e intencionalidad humana, a diferencia del biotrópico, que se refiere a lo derivado de la naturaleza.

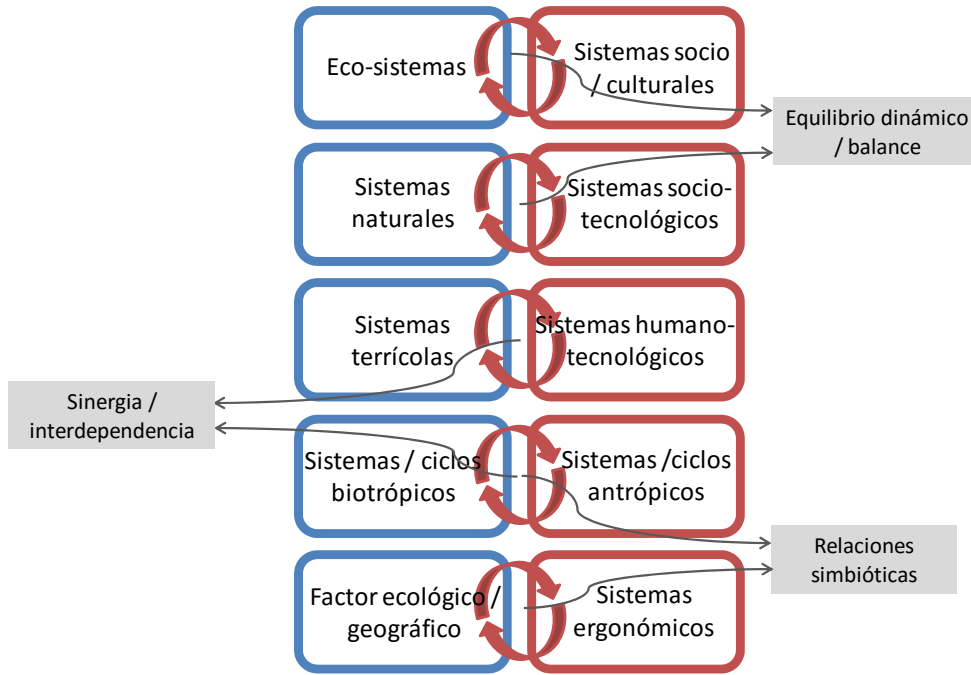


Figura 6.2 Representación de algunos sistemas / ciclos que se pueden modelar

A continuación se introducen las categorías de ciclos antrópicos y ciclos biotrópicos.

1. Los ciclos antrópicos claramente tienen dinámicas con intencionalidad, regulación y control humanos. De hecho, los ‘ciclos de existencia de un producto’ son un tipo de ciclo antrópico, pues se reconoce que hay una intervención humana que busca hacer productos con un propósito. Ahora bien, se pueden reconocer otra serie de ciclos antrópicos como: Los ciclos de explotación bionatural a través de la agricultura, ganadería, silvicultura, piscicultura, entre otros; los ciclos de explotación geoquímica como la minería y la obtención y transformación energética; los ciclos de recuperación / mantenimiento de la hidrósfera, atmósfera, suelos y biodiversidad; los ciclos para reducir, reciclar, confinar e incinerar. En general, los ciclos antrópicos son resultado de dinámicas socio-culturales basados en la *tecné* (conocimiento o ciencia, arte, técnica o tecnología humana) y que transforman la naturaleza y sus ecosistemas.

2. Los ciclos biotrópicos o naturales, caracterizados porque aunque existe participación humana como ser vivo, de alguna manera no hay exclusividad de su intencionalidad, sino que dependen de dinámicas complejas que desbordan su regulación y control. Tal es el caso de los ciclos biogeoquímicos que son dinámicas de producción, intercambio y descomposición entre los seres vivos y el ambiente terrestre, de grandes cantidades de agua, carbono, nitrógeno, oxígeno, potasio, calcio entre otros. Dichos procesos involucran reciclaje de elementos (nutrientes) necesarios para la supervivencia de cualquier forma de vida sobre la Tierra. Es claro que cada vez hay mayor intervención y efecto humano sobre dichos ciclos biogeoquímicos. Los ciclos naturales / biogeoquímicos son de por sí ciclos sostenibles, pues lo que se genera es un reciclaje

continuo de materiales y energía, sin desequilibrios o impactos negativos a la atmósfera, la hidrósfera, los suelos y la biodiversidad. Sin embargo, es importante reconocer que dentro de los ciclos naturales también existen dinámicas sin intervención humana que pueden llevar incluso a la extinción de algunas especies, cuando no se logran adaptar a los cambios de su hábitat, pero cuando esto ocurre, son por un lado procesos más graduales, con dinámicas más lentas y por otro lado, nunca ponen en peligro la totalidad de la vida en la Tierra, sino que en general son formas de compensación y equilibrio dinámico natural entre las especies y su hábitat. De hecho, las extinciones de algunas especies –incluso las extinciones masivas como en los dinosaurios–han permitido reactivar la vida en otros nichos del ecosistema, lo que al final puede aumentar la biodiversidad. Ahora bien, la intervención humana puede llegar a impactar negativamente los ciclos naturales por la sobreexplotación y el agotamiento de recursos no renovables. Por tanto, cuando se inicia el ciclo de existencia de un producto, son los conceptos de responsabilidad y sostenibilidad que se asuman, los que definirán si la relación entre este ciclo antrópico y el resto de ciclos antrópicos y biogeoquímicos se ven afectados positiva o negativamente. Es de esperar que los ciclos antrópicos sean cada vez más sostenibles, en la medida en que se asuma mayor responsabilidad social y corporativa frente a los impactos al ambiente natural.

Ante lo expuesto anteriormente, los ciclos pueden interactuar unos con otros en diferentes momentos, afectando mutuamente sus dinámicas, comportamientos, características y equilibrios. Por ejemplo, un Cs-tP que se considera un ciclo antrópico, puede interactuar con otros ciclos antrópicos (i.e. ciclos agrícolas) o con ciclos biotrópicos (i.e. ciclos biogeoquímicos). Las diversas interacciones entre los ciclos dan lugar a efectos complejos tanto en la vida humana como en las demás expresiones de vida natural. De hecho, puede haber un gran número de ciclos interactuando de manera sincrónica y diacrónica, lo que implica una comprensión desde los sistemas con comportamientos complejos (ceranos o lejanos al equilibrio). La figura 6.3 muestra de manera esquemática las posibilidades de interacción de un Cs-tP con diversos ciclos.

Ya que estamos viendo la configuración de los Cs-tP y sus posibles eslabonamientos con otros ciclos, podemos introducir otras características generales del ciclo. Para los Cs-tP, se entenderá por ‘producto’ la existencia de cualquier conjunto de acciones organizadas, sistemas, cosas, servicios u objetos, que han sido designados o producidos por individuos u organizaciones y poseen condiciones tangibles o intangibles, resultado de una configuración o “transformación intencionada” de energía, materia e información (conocimiento). A diferencia de algo insustancial o una ‘entidad’ sin ‘transformación intencionada’, un producto es socialmente visto como algo generado con un propósito. Sin embargo, es importante resaltar que la ‘transformación intencionada’ es independiente de que el producto pierda su propósito.

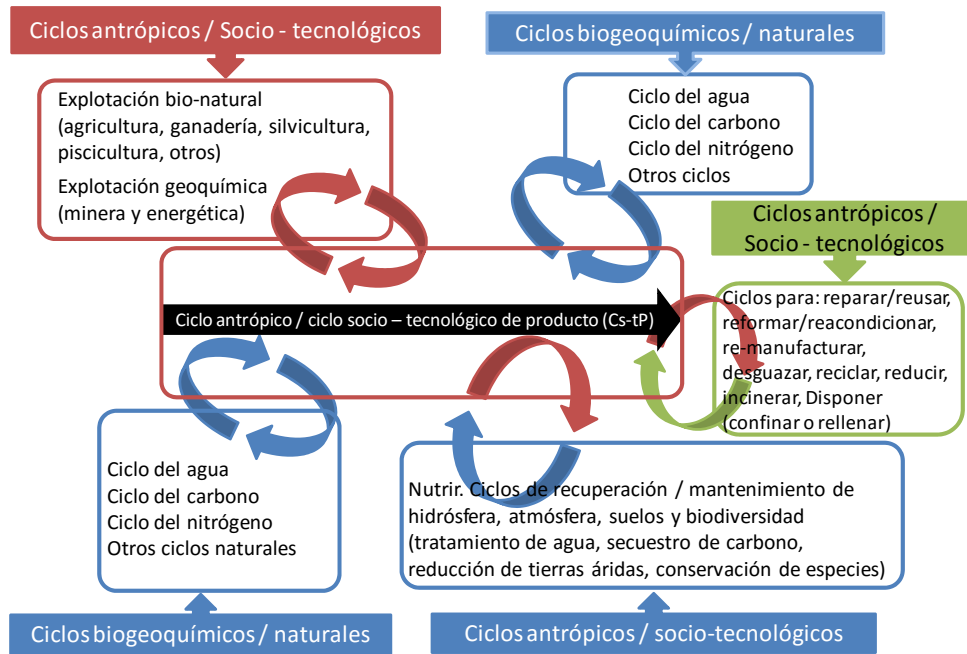


Figura 6.3 Diversas tipologías de ciclos interactuando con un Cs-TP.

El propósito, en el sentido socio-tecnológico, es lo que le da sentido a la transformación intencionada. Por ejemplo, el sacarle filo a la piedra como punta de lanza –considerada la primera herramienta de caza prehistórica– tenía como propósito producir una herramienta de corte, para cazar, obtener alimento y finalmente sobrevivir. Así, el propósito para el caso de los productos, es la dimensión social e individual que no se puede escindir de la tecnología. Acá lo social no es un contexto, lo social se debe reconocer imbricado en todos los actores-red que intervienen en el ciclo e incluye la gestión del conocimiento para invenciones, innovaciones, registros de patentes, modelos, diseños y marcas, todos estos pueden ser reconocidos como actores-red. Por todo lo anterior, a medida que los seres humanos extienden más su accionar socio-tecnológico, más influencia tienen los ciclos antrópicos sobre los ciclos naturales o biogeoquímicos.

Ahora bien, un producto no deja de ser producto cuando pierde su propósito, sino cuando pierde todas las cualidades de ‘transformación intencionada’. Esto es evidente en productos que, aunque podrían funcionar en este momento, han perdido su propósito útil. Muchas cosas existen como productos pero se dejaron de utilizar, debido a que las tecnologías que los respaldaban se volvieron obsoletas. Por poner un par de ejemplos, las cámaras fotográficas basadas en el revelado de película y con transferencia química a papel, o los equipos de grabación y audio con sistemas de cintas magnetofónicas. Más adelante se retomarán con cierta amplitud, las diferencias entre funcionalidad (técnico) y utilidad (social).

En cuanto al concepto ‘ciclos de existencia’ se requiere hacer la siguiente precisión. Un producto tiene existencia, es decir, tiene una realidad concreta independientemente de si mantiene o no su propósito y por ende, cuenta con dimensiones tanto espaciales como temporales. Por tanto, se reconoce la existencia de un producto más allá de su propósito, por el hecho de ser una entidad (con transformación

intencionada) que ocupa un espacio y fluye en el tiempo. Dicha condición puede ser representada como un flujo sobre un eje, denominado de aquí en adelante ‘eje espacio-temporal’ y representada en las figuras como una flecha negra que va a lo largo del ciclo.

Durante su existencia, un producto puede encontrarse básicamente en dos situaciones: a) cuando cumple con un propósito, es decir, se concibe como un ‘producto útil’ y por tanto provechoso, o b) cuando por alguna razón, ya no cumple con un propósito, es decir, se convierte en un ‘producto inútil’, sin provecho alguno, descartable. De acuerdo con lo anterior, un producto puede pasar por una cadena de eventos, o sucesión de ciclos denominados aquí como ‘ciclos de existencia’. Como se identifican en la figura 4, dichos ciclos pueden ser, como mínimo, de dos categorías: 1) ‘ciclo de provecho’⁵ (útil) y 2) ‘ciclo sin provecho’ (inútil). Ambos ciclos representan la totalidad de la existencia de un producto y se caracterizan por tener una secuencia de fases⁶ o etapas⁷ (de aquí en adelante como sinónimos) por las que pasa determinado producto, en la figura 6.4 representados por los espacios formados entre las líneas verticales azules. Ahora bien, el ideal debería ser que solo existiera un ‘ciclo de provecho’, como en el caso de los alimentos, que si son consumidos en su totalidad, el ciclo de provecho será el único ciclo de existencia y no existiría un ‘ciclo sin provecho’. Los ciclos de provecho y sin provecho pueden estar eslabonados consecutiva o paralelamente y se podrán identificar estas cadenas de ciclo a partir de determinado producto en particular. Lo importante es tener en cuenta que un ciclo sea de provecho o no, necesariamente se eslabona con otros ciclos sean estos antrópicos o biotrópicos y dichos eslabonamientos pueden ser entre N número de ciclos.

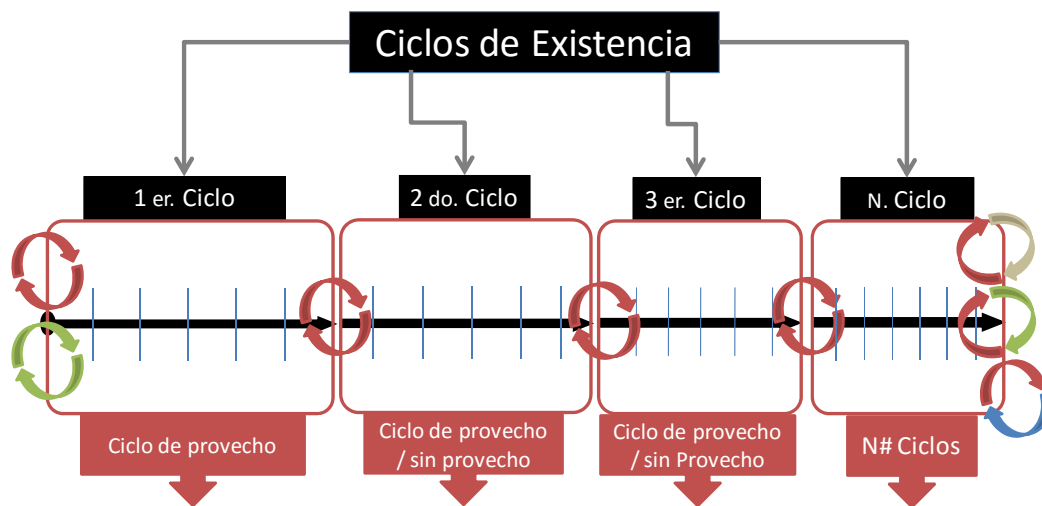


Figura 6.4 Representación de los ciclos de existencia (de provecho o sin provecho).

⁵ Provecho significa el beneficio o satisfacción que las personas obtienen de algo. Así para sacar provecho de un producto se requiere que esté en plenas condiciones de funcionalidad, utilidad y usabilidad.

⁶Fase se refiere a una serie de aspectos sucesivos o estados de cambio por los que pasa algo o alguien.

⁷Etapas puede ser entendida como trayecto recorrido entre dos puntos, como un periodo en el que se reconoce un evento.

Tanto los ‘ciclos de provecho’ como los ‘ciclos sin provecho’ son ciclos socio-tecnológicos, pues las cualidades de existencia de los productos son determinadas tanto técnica como socialmente. De acuerdo con lo anterior, un ‘ciclo de provecho’ es un lapso en el que un producto es capaz de responder a las necesidades, deseos y expectativas de las personas y de la sociedad. Un producto en un ‘ciclo de provecho’ tiene utilidad, cumple una función y puede ser usado; en suma, posee aplicabilidad o es potencialmente aplicable para un fin. En cambio, un ‘ciclo sin provecho’ es un lapso en el que un producto, manteniendo aún su existencia, ya no es capaz de responder a las demandas de las personas que los poseen y la sociedad tampoco los reconoce más como objetos funcionales, útiles y usables. Así por ejemplo, desde que se concibe como producto hasta que se degrada como entidad y pierde su transformación intencionada, un teléfono móvil tiene un tiempo de existencia tanto de utilidad, como de inutilidad, pudiendo llegar a ocupar a lo largo de dicho tiempo, diversos espacios geográficos. Adicionalmente, un nuevo ‘ciclo de provecho’ será reconocido por tener de nuevo utilidad o la designación de una nueva utilidad, una reasignación de funciones e incluso una nueva forma de uso (usabilidad). Una llanta, tiene como función permitir rodar a un coche sobre una carretera, pero una vez el labrado o textura del neumático se pierde, puede ser peligroso seguir usándola, por tanto, se pasa a considerar como producto inútil. Dicho neumático desgastado perdió su ciclo de provecho, pues perdió el propósito de permitir un rodamiento y agarre seguro en carretera. Ahora bien, si el neumático es ‘re-enchuchado’ se prolongará su ciclo de provecho por un tiempo. Pero también, un neumático desgastado finalmente entrará a un ciclo sin provecho hasta que sea destruido (incinerado) o pase a una nueva transformación intencionada (reciclaje del material) como parte de un nuevo diseño de producto, por ejemplo, puede ser desmenuzado o molido como material para pavimentos o convertirle por ejemplo en un columpio o en una maceta.

Ahora bien, surge como pregunta ¿dónde empieza la existencia de un producto? El ‘inicio de existencia’ de un producto coincide con el inicio del ciclo de provecho, es decir, desde que se tiene la visión e intención de concebir y configurar un producto –transformación intencionada–. La pregunta que consecuentemente sigue es: ¿hasta dónde llega la existencia de un producto? o en otras palabras ¿en dónde está el final de la existencia de un producto? Ya se mencionó que un producto mantiene su existencia más allá de su propósito, es decir, mientras mantenga su configuración resultante de la transformación intencionada de energía, materia e información. Por tanto, un producto existirá mientras no sea desintegrado intencionalmente, por ejemplo, biodegradado (reincorporado a la Tierra), reciclado (convertido en nuevas materias primas), reutilizado (designado y transformado en un nuevo producto), confinado, puesto en relleno sanitario o incinerado. En otras palabras, el ‘final de existencia’ de un producto es cuando potencialmente la materia, energía e información puede empezar a ser parte de un nuevo ciclo. Por ejemplo, un teléfono móvil, una vez cumplió con un ciclo de provecho, aunque mantenga sus cualidades funcionales, puede pasar a ser obsoleto por muchas razones como la falta de soporte técnico, ausencia de logística de mantenimiento o desactualización de alguna parte del software con el que opera. De esta manera entra a un ciclo sin provecho, manteniendo su existencia inclusive

cuando es guardado sin dismantelar o desintegrar. Ahora bien, los productos alimenticios y farmacéuticos especialmente, pueden tener un ‘ciclo de potencialidad de provecho’ que está marcado por su vigencia desde la fecha de fabricación hasta la fecha de caducidad. Durante este lapso de potencialidad de provecho, cualquier producto que maneje fecha de expiración puede ser usado sin riesgo y por tanto, una vez sobrepase la fecha de vencimiento, entrará a un ciclo en el que no se puede aprovechar por riesgos a la salud, aun cuando se vea en buen estado.

Para apoyar la descripción de las características generales sobre la existencia de un producto, se puede observar la figura 6.5 donde se relacionan tanto ciclos con etapas orientadas al provecho, como ciclos con etapas orientadas al sin provecho. Con la representación de la existencia de un producto como un flujo en el tiempo y el espacio sobre el ‘eje espacio-temporal’, se puede ubicar un hipotético punto de ‘inicio de la existencia’ señalándolo como tiempo inicial de existencia (t_{ie}). El flujo de existencia de un producto puede transcurrir a lo largo de determinados ciclos (con y sin provecho) y sobre dicho eje en algún momento terminará. El momento en que se reconoce el final de la existencia de dicho producto será el tiempo final de existencia (t_{fe}), o sea, cuando deja de ser producto, porque no se le reconoce más su transformación intencionada, ya sea porque se biodegradó, desensambló, recicló, incineró, destruyó, o reutilizó, en suma, el final de su existencia ocurre porque ha perdido su configuración esencial, intencionada y constitutiva. Dicho hipotético punto final de la existencia de un producto se dará en ocasiones en un tiempo predeterminado (obsolescencia o caducidad programada) y en otras, en un tiempo no previsto, pero de cualquier manera, se reconocerá como el final de su existencia, por las características antes descritas.

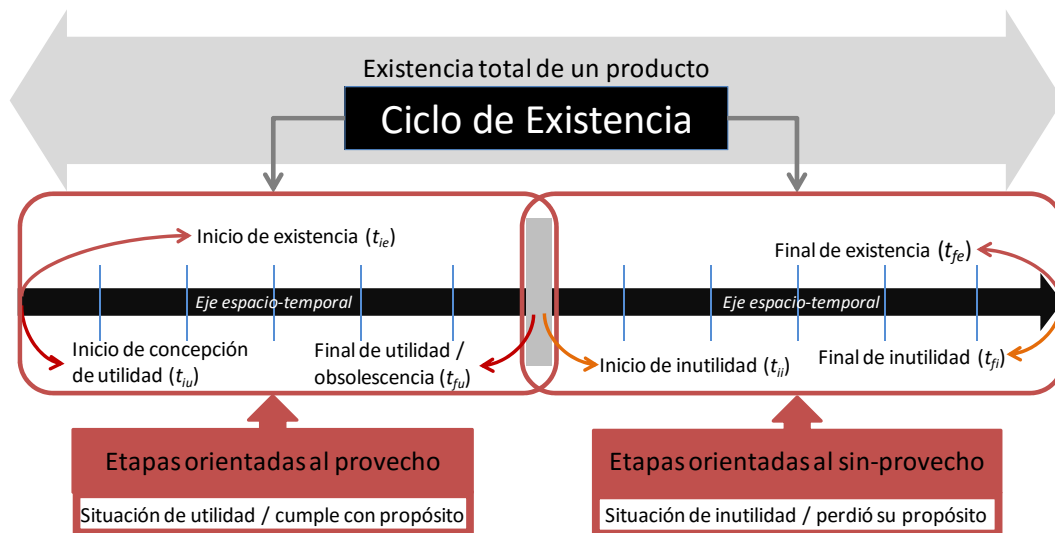


Figura 6.5 Ciclos con etapas orientadas al provecho y ciclos con etapas orientadas al sin provecho.

De acuerdo con lo anterior, cualquier producto que haya fluido espacio – temporalmente con un inicio de existencia y final de existencia reconocidos, ha pasado por un ‘ciclo de existencia’. Un producto tendrá un tiempo total de existencia (t_{ie}) que va a partir de determinado tiempo de inicio de existencia (t_{ie}), hasta un

tiempo final de existencia (t_{ie}). En algunos casos el tiempo total de existencia (t_{te}) se podrá distribuir entre dos ciclos, así, un ciclo de provecho y un ciclo sin provecho. El ciclo de provecho es un ciclo de existencia que tiene un lapso que va desde la concepción de utilidad (t_{iu}) que coincide con el inicio de la existencia (t_{ie}), hasta la obsolescencia / caducidad o final de la utilidad (t_{fu}). El ciclo sin provecho es un ciclo de existencia que tiene un lapso que va desde la concepción de inutilidad o inicio de inutilidad (t_{ii}), hasta el final de la inutilidad (t_{fi}) que coincide con el final de la existencia (t_{fe}).

Es importante distinguir que en productos que tienen ciclo de provecho y ciclo sin provecho, una cosa es el final de la existencia y otra el final de la utilidad. Como ya se mencionó, el final de la existencia es la desaparición como entidad reconocible de producto (t_{fe}), mientras que el final de la utilidad hace referencia solamente a que ha terminado el ciclo de provecho (t_{fu}), generalmente por considerarse socialmente en obsolescencia o en caducidad. Esto permite reconocer que puede haber productos con alto porcentaje en ciclo de provecho y mínimo o nulo porcentaje en ciclo sin provecho, como por ejemplo los alimentos que manejan fecha de vencimiento y por tanto más allá de dicha fecha se considera que ha expirado su sana utilidad (han caducado), o los embalajes hechos de fibras naturales (i.e. calceta de hojas de plátano, hojas de mazorca de maíz, entre otras) para proteger y transportar huevos, queso o toda clase de charcutería y confitería. Pero también, puede haber productos con alto porcentaje de tiempo en ciclo sin provecho y mínimo porcentaje en ciclo de provecho, como por ejemplo envases y piezas de embalaje fabricados en poliestireno expandido. En el ciclo de provecho, un producto tendrá una situación de utilidad siempre y cuando cumpla con un propósito. El tiempo total de utilidad (t_{tu}) será el tiempo en el que un producto está en ciclo de provecho y puede ser relativamente largo o corto, dependiendo de sus características. Por ejemplo, así como existen productos en una situación de utilidad prolongada como equipos de producción, refrigeradores y mobiliario doméstico, también existen productos de corta utilidad como envases desechables, alimentos procesados perecederos y eventualmente ropa y calzado.

En el ciclo sin provecho, un producto se encontrará en una situación de inutilidad, por considerarse que ya no cumple o no tiene propósito alguno. El tiempo total de inutilidad (t_{ti}) será el tiempo en el que un producto se encuentra dentro de un ciclo sin provecho, conservando sus cualidades de transformación intencionada. La duración del ciclo sin provecho depende del tipo y características del producto, por lo que puede ser largo o corto. Los ciclos sin provecho largos pueden volverse continuos, o tender a permanentes por ejemplo, hay productos con inutilidad prolongada –centenaria– como barras radioactivas de reactores nucleares (que deben mantenerse confinados), pilas y baterías de difícil separación de materiales, dispositivos microelectrónicos compactos i.e. teléfonos móviles, reproductores mp3 /mp4 u objetos fabricados con materiales compuestos y plásticos termoestables no biodegradables. Ahora bien, los ciclos sin provecho cortos pueden ser transitorios, porque se reconoce en los productos o componentes por ejemplo, el potencial de ser transformados en productos reciclables, re-manufacturables o renovables. Los ciclos sin provecho pueden continuar como ciclos antrópicos y finalmente transformarse a nuevos ciclos de provecho. Otra posibilidad es que ingresen a ciclos naturales siempre y cuando se puedan

descomponer o biodegradar para integrarlos a ciclos biogeoquímicos. En línea con lo anterior, existen productos con inutilidad corta, pues son generalmente hechos con materiales fácilmente reciclables y/o biodegradables como empaques y envases en papel, fibras, cuero y madera, o retornables y reutilizables, esto es, que entran rápidamente a un nuevo ciclo de provecho o a ciclos naturales sin contaminar o incluso como nutrientes.

El ciclo sin provecho puede llegar a ser el último ciclo de existencia de un producto, debido a que las partes constitutivas, componentes o materiales que dieron forma al producto, o se pueden reincorporar a los ecosistemas de la Tierra por una desintegración intencionada i.e. biodegradación, incineración, destrucción; o quedan disponibles para iniciar otro ciclo de existencia al desensamblarse, reciclarse o reutilizarse. Para el primer caso, un ejemplo son los empaques de medicinas biodegradables, llamado Help Remedies⁸, orientados al cuidado tanto de las personas como del medio ambiente. El empaque es de pulpa de papel moldeable y biodegradable 100% y bioplástico a base de maíz (plastastarch), muy estable en la atmósfera, pero rápidamente biodegradable en humedad y compostaje, los dos materiales utilizados producen bucles de retroalimentación equilibrada con los ecosistemas naturales. El segundo caso se puede ejemplificar con botellas plásticas para jugo de la marca Nakedrenewabottle⁹, que utiliza plástico PET 100% reciclado para la fabricación de las botellas, es decir, el material reduce el consumo de plástico nuevo, que en sus redes de comercialización significan 3.7 millones de kilos anuales de ahorro o el equivalente a 57.000 barriles de petróleo, volviendo evidente la conexión a un nuevo ciclo de provecho. La principal ventaja de las características hasta aquí mencionadas de los Cs-tP, es que la concepción simétrica socio-tecnológica, nos permite a partir de las proporciones del tiempo que un producto pasa en un ciclo de provecho versus en un ciclo sin provecho, reconocer la participación y las responsabilidades de todas las personas interesadas, es decir, los desarrolladores, los fabricantes, los proveedores, distribuidores, vendedores, usuarios entre otros, respecto a los productos que diseñan, producen, comercializan, usan, dejan de usar o tiran.

Todo Cs-tP se relacionará con otros ciclos durante cualquiera de las fases que lo componen, pero podemos establecer tres categorías de relación con otros ciclos, con respecto a la responsabilidad ambiental que se asume y que hoy día es una condición socio-tecnológica en el DDP. En primer lugar, las relaciones tradicionales con otros ciclos, sin contemplar la ecoeficiencia¹⁰ y la ecoefectividad¹¹, con sus respectivas consecuencias. En segundo lugar, las relaciones con ciclos que tienen etapas orientadas al

⁸ <http://www.helpineedhelp.com/#!/thinking>

⁹ <http://nakedjuice.com/our-purpose>

¹⁰ La ecoeficiencia es definida como “hacer más con menos” es decir, más valor de productos o servicios con menos uso de recursos, desperdicios, y toxicidad. Comprendida como ‘ecoeficiencia relativa’. (Schmidheiny, 1992)

¹¹ La ecoefectividad por su parte, se orienta más allá de las cero emisiones y se enfoca en el desarrollo de productos y sistemas, para mantener o incrementar la calidad y productividad de los materiales a lo largo de sus ciclos. (McDonough & Braungart, 2001)

pos-provecho y que contemplan el enfoque de la ecoeficiencia relativa. En tercer lugar, las relaciones con otros ciclos, contemplando la ecoefectividad y la ecoeficiencia absoluta o sistémica¹².

Para el primer caso, basados en la figura 6.6 que muestra la relación de un ciclo de provecho con otros ciclos, el producto tendrá un tiempo de existencia, relacionada tanto con el cumplimiento de un propósito, como con el reconocimiento de un inicio y un fin de utilidad (obsolescencia), por tanto, será un ciclo de provecho. Ahora bien, si el producto socialmente se considera en obsolescencia y no fue contemplada como meta en el DDP ni la ecoeficiencia ni la ecoefectividad, entrará a generar en otros ciclos (antrópicos o biotrópicos) algún impacto negativo como degradación o contaminación ambiental. Es importante recordar que esta condición representa el común denominador desde que se produjo la revolución industrial y hasta prácticamente iniciados los años 90, cuando por un lado, se estableció el concepto de desarrollo sostenible y por otro lado, se empezó a legislar sobre materia ambiental. En esta primera categoría hoy día, los impactos negativos en otros ciclos son un problema de responsabilidad ambiental de aquellas empresas o sectores productivos que no atienden las normativas y recomendaciones ambientales, cada vez más frecuentes y exigentes a nivel internacional.



Figura 6.6 Relación de un ciclo de provecho con otros ciclos sin contemplar ecoeficiencia o ecoefectividad

Para el segundo caso, de acuerdo con la figura 6.7 que muestra la relación de un ciclo de provecho con otro ciclo de pos-provecho como un ciclo de existencia extendido, el producto tendrá un tiempo de existencia siguiendo un propósito y una utilidad hasta que al final del ciclo de provecho, socialmente las personas (cualquier interesado) asuman que, en cambio de ser desechado por obsoleto, puede tener una

¹² La ecoeficiencia absoluta o sistémica, se define como el uso racional y el desempeño balanceado de los recursos, entre los sistemas socio-tecnológicos y los sistemas naturales (Gabriel García-Acosta, Pinilla, Larrahondo, & Morales, 2014)

nueva utilidad. En ese momento, la etapa orientada al pos-provecho se convierte en la prolongación del ciclo de existencia (producto extendido), así no haya sido contemplada como meta en el DDP original. Por lo tanto, adquirirá una nueva o parcial utilidad, a partir de un propósito reasignado por cualquier interesado, de tal manera que el producto o sus partes puede tener una ecoeficiencia relativa, es decir, se logrará la reducción de impactos negativos ambientales. A diferencia del primer caso, tener en cuenta la idea del desarrollo sostenible ha impulsado desde finales de los años 80 y principios de los 90, un DDP orientado a la reducción de consumos de materiales y usos de energía, así como la reducción de impactos ambientales, iniciando un proceso de responsabilidad ambiental, que aún lejos de ser efectivo, ha contribuido a un proceso de conciencia y cambio social de valores asociados al uso y consumo. Aunque no ha sido la solución definitiva a los problemas ambientales, puede ser considerada como una transición necesaria hacia la sostenibilidad.

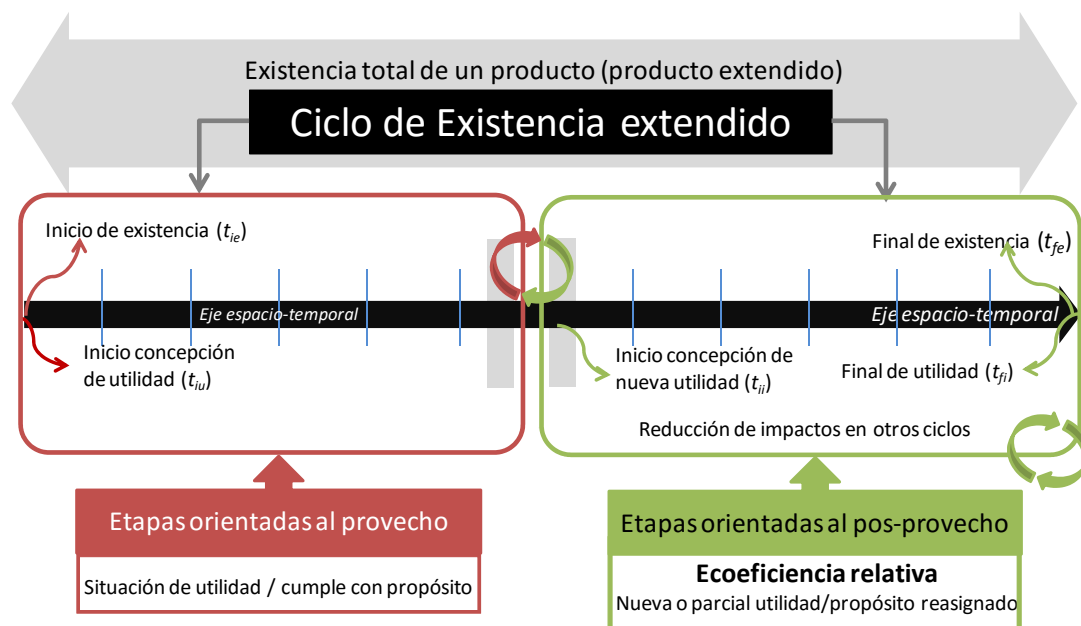


Figura 6.7 Relación de un ciclo de provecho con un de pos-provecho, como ciclo de existencia extendido.

Para el tercer caso, la figura 6.8 esquematiza la relación de un ciclo de provecho con otros ciclos, i.e. con ciclos naturales o biotrópicos. Al igual que en los anteriores casos, el producto tendrá un lapso de existencia con determinado propósito, así como con determinado tiempo de utilidad, considerado como ciclo de provecho. Pero en este caso, se debe plantearla ecoefectividad del producto como meta socio-tecnológica inicial por parte de las empresas y todas las 'partes interesadas' en el DDP. Como consecuencia, una vez finalizada su utilidad proyectada, entrará en otros ciclos (antrópicos o biotrópicos) con impactos neutros o positivos en el ambiente. A diferencia de los dos casos anteriores, productos proyectados hacia la ecoefectividad son aún muy pocos, si consideramos que dicho concepto apenas fue planteado a inicios del presente siglo, es decir sólo lleva 15 años. Adicionalmente, la definición de ecoefectividad no es compatible con el actual modelo económico, basado en la idea de que el bienestar humano depende directamente del desarrollo financiero, sin considerar el agotamiento de fuentes y

recursos terrícolas. Por esta razón, sigue siendo un reto socio-tecnológico considerar la ecoefectividad, ya no como una utopía sino como una característica ineludible frente a la sostenibilidad.

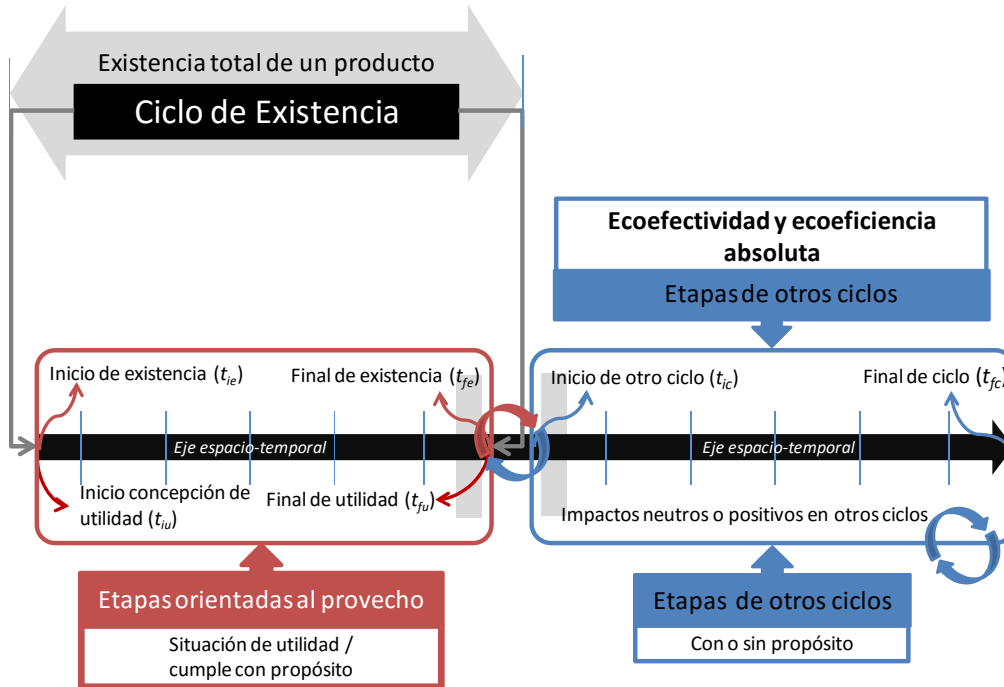


Figura 6.8 Relación de un ciclo de provecho con otros con ciclos biotrópicos o antrópicos.

6.3 Dinámicas de intercambio en los Cs-tP

Como se mencionó anteriormente, todo ciclo se relaciona o eslabona con otros ciclos del mismo o de distinta tipología. Dicho eslabonamiento permite compartir en cualquier momento y en cualquier etapa o proceso de cada uno de ellos, con diferentes entidades y fenómenos. Para el caso de los Cs-tP, este trabajo se centrará en los intercambios relacionados con: Energía, materia e información. De acuerdo con lo anterior, un “Ciclo socio-tecnológico de un producto” (Cs-tP) intercambia energía, materia, e información con otros ciclos (biotrópicos o antrópicos), de diversas formas y con diversos propósitos. La figura 6.9 simboliza los ciclos eslabonados con entradas, flujos y salidas de la energía, materia e información.

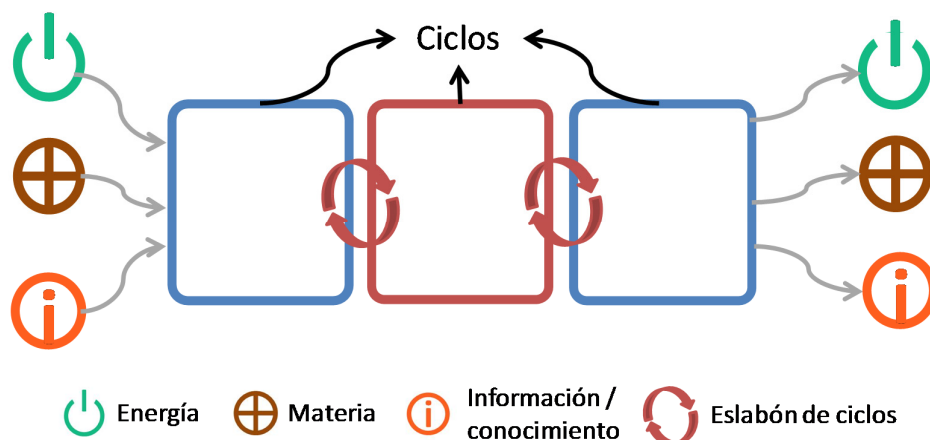


Figura 6.9 Ciclos eslabonados con entradas, flujos y salidas de energía, materia e información.

6.3.1 La energía

La energía, entendida como concepto genérico es “la capacidad de obrar o producir un efecto” (Riba i Romeva (2012) y extendida y adaptada a los productos, se puede entender como la capacidad que tiene un ente (recursos, materia o humanos) para producir un trabajo. La energía es utilizada de diversas formas en el Cs-tP, para al final obtener un producto (artefacto o servicio). La inclusión de ver y cuantificar el uso e intercambio de energía no es novedoso, pues ya se ha venido contemplando desde la conformación de la metodología de “evaluación del ciclo de vida” LCA desde los años 80 hasta la actualidad, para minimizar o reducir el uso de recursos energéticos y en especial el consumo de combustibles fósiles, con propuestas como las de Züst, Caduff et al. (1997); Hauschild, Jeswiet et al. (2005); Bjørn and Hauschild (2013). Sin embargo, es importante notar que la energía como medida estándar usada para describir los patrones de una actividad, como entradas y salidas calculables, se diferencian de la energía gris (emergy) que planteó (Odum, 1986, 1996b), citado por Ayres (2004) donde que se considera como “el trabajo previamente realizado para hacer un producto o servicio”. Esto implica reconocer que la escala del tiempo es geológica, para comprender por ejemplo, toda la energía incorporada en los recursos fósiles, pues, cuando eran biomasa incorporaron proveniente del sol. Ahora bien, Ayres da una alternativa prospectiva, para que no sea necesario calcular la cantidad de energía solar entregada en la tierra en el pasado, sino realizar la equivalencia de cuánta energía solar se requiere para sustituir una tonelada de carbón o un barril de petróleo en términos de un denominador común, el trabajo físico, que a su vez puede ser equiparado a la energía eléctrica.

Es a partir de los trabajos del alemán Zoran Rant (1956) quien introdujo dos nuevos conceptos técnicos: la exergía (exergy) entendida como la “cantidad de energía útil para realizar un trabajo”, o la “porción de energía que se transforma efectivamente en trabajo”; y la anergía (anergy) definida como “ la parte restante de energía que no tiene utilidad práctica y se considera pérdida”, o la “porción de energía que queda liberada y no es incorporada o útil como trabajo”. Dichas nociones se han ido aplicando lentamente como parte de la contabilidad energética de intercambio entre sistemas, como en los estudios de Sciubba, Bastianoni and Tiezzi (2008) que plantea un análisis de la contabilidad del flujo y balance exergético en

grandes sistemas complejos, para evaluar la eficiencia en el uso de la energía. Otro concepto planteado por el biólogo y ecólogo Norteamericano Howard T. Odum (1973, 1996a) es el de la energía incorporada o energía gris (emergy) entendida como la energía consumida y útil, en todas las fases de un ciclo ya sea de una entidad, viva, un producto o un servicio”, o “la porción de energía cuyo uso permite identificar las transformaciones necesarias que denotan determinadas cualidades de un ser, producto o servicio”, por ejemplo, un componente que es torneado, repujado o estampado adquiere determinada configuración (energía incorporada), hasta tanto no se someta a un nuevo proceso y se reconfigure, con nueva energía incorporada”. Para Odum (1973) la energía y la medición de su disponibilidad y uso, esta es el verdadero valor en la contabilidad económica y no los costos financieros, comúnmente utilizados como valor, en la economía tradicional. Sobre este enfoque direccionado por Odum, se han venido realizando trabajos para contrastar los enfoques de la economía ambiental –basada en los mercados y el valor financiero de los productos y el trabajo humano– y la economía ecológica –basada en el capital ambiental de la energía y el rol de la termodinámica– como los de Ayres (2004); Alvarez, Lomas, Martín, Rodríguez & Montes (2006) y Riba i Romeva (2012). Para los autores antes mencionados, el valor energético es el real y no el valor financiero o monetario, por ejemplo, el valor monetario por unidad de energía contenida en un diamante es inmenso, comparado con el ínfimo valor monetario por unidad de energía contenido en un trozo de carbón. En síntesis, se han planteado trabajos desde la perspectiva de la ecología industrial y la termodinámica, estableciendo un marco de referencia e integrando los llamados servicios ecosistémicos, la metodología LCA con la energía, la energía gris o incorporada (emergy) y la exergía, resultando una nueva metodología llamada EmLCA (Bakshi, 2000). También se encuentra software con código abierto como el emergy simulator desarrollado por R.Valyi & Ortega¹³ (2004). Adicionalmente se han propuesto métodos para mediciones cuantitativas de sistemas de tratamiento de basuras sólidas, analizadas desde la exergía (Dewulf & Van Langenhove, 2002).

Aunado a todo lo anterior, el Cs-tP plantea incluir de manera evidente la energía humana involucrada a lo largo del ciclo, pues en muchos casos se ha considerado despreciable o fácilmente reemplazable en los últimos 200 años, concentrándose en el uso de grandes cantidades de energía derivada de fuentes renovables como la hidráulica, solar, eólica, geotérmica, oceánica, y biomasa combustible; y no renovables como la de los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) y nuclear. Si bien es cierto que todas ellas hoy día son necesarias, debemos tomar conciencia tanto de sus límites disponibles, como su agotamiento. Es ineludible dirigir esfuerzos para cambiar el paradigma de desarrollo, racionando el consumo de combustibles fósiles y estimulando el uso de las renovables, así como de alternativas vernáculas (Riba i Romeva 2012). Si pensamos en la simetría de los actores-red tales como dispositivos, materiales y humanos, todos ellos son fuente de energía que es utilizada a lo largo del ciclo y por tanto la energía humana debe ser considerada. La energía humana se ha estado estudiando principalmente en nutrición y salud (Leonard, 2003) y (Hall, 2006) y en los deportes de alto rendimiento (van Beek et al.,

¹³ Disponible en el enlace: <http://sourceforge.net/projects/emsim/>

2011), para buscar la máxima eficiencia biomecánica y metabólica de un deportista con determinadas condiciones de nutrición, en actividades físicas altamente demandantes. Pero aún hay pocos trabajos publicados en donde el ser humano se tome como referencia energética en el campo de la ingeniería de diseño y desarrollo de producto. Una de las áreas con gran potencial es la ergonomía para la agricultura, en los llamados países en vías de desarrollo, como lo reportan Ismaila and Samuel (2014) al describir desde la ingeniería centrada en lo humano, los retos para la ingeniería en Nigeria. Los autores citan los estudios iniciales de la Tesis de Nwuba (1981) quien estudió la demanda energética humana por método indirecto (tasa cardiaca) al momento de usar varias herramientas, comparándolas con los límites de energía disponibles en el cuerpo y finalmente, se logró la modificación de las herramientas, de manera que se redujeron las demandas de energía humana. Otro ejemplo de tecnología vernácula para eliminar la dependencia a la energía de los combustibles fósiles y aprovechar la energía potencial (accionamiento de un teleférico por la gravedad), lo realizó el grupo de ingeniería y diseño del CDEI-UPC en Nepal (Riba i Romeva 2012).

En un trabajo inédito facilitado durante la estancia doctoral (C. Riba i Romeva, 2009), se establece la importancia del ser humano como referente energético para los Cs-tP. Desde el punto de vista histórico, el ser humano antes del periodo de industrialización, utilizaba mayoritariamente tanto la energía de algunos animales como su propia energía, para realizar sus diversas labores. En dicho documento se menciona que estableciendo como valor promedio a una persona de unos 70 kg, con una edad entre 25 – 50 años y con un desempeño físico medio, se puede tomar como referencia una potencia basal de 80W (1.659 kcal/día) y una potencia activa de 120W (funcionamiento activo, 2.475 kcal/día). La diferencia entre la potencia activa y la potencia basal es de 60W, que a su vez puede proporcionar un trabajo mecánico a lo largo del día de 18W, con rendimiento del 30% (C. Riba i Romeva, 2009).

Ahora bien, si esto lo relacionamos con la población económicamente activa¹⁴ entre 2010 – 2014 asumiremos: a) Para Colombia con 23.551.036 de personas, tendrían un potencial trabajo mecánico por día de 423,9 millones de W o 423, 9 Megawatts; b) Para España con 23.282.749 de personas, tendrían un potencial trabajo mecánico por día de 419 millones de W o el equivalente de 419 Megawatts; c) Para un país con gran densidad de población como China con 793.307.655 de personas, tendríamos un potencial mecánico por día de aproximadamente 14.280 millones de W o el equivalente a unos 14,2 Gigawatts. Según los datos proyectados a 2014, la población económicamente activa en el mundo era de 3.400 millones de personas, lo que implicaría un potencial trabajo mecánico por día de 61.200 millones de W o unos 61,2 Gigawatts.

¹⁴La población económicamente activa según la OIT, es la población que está en capacidad laboral, es decir, personas que desde los 15 años hasta la jubilación forzosa (70 – 80 años) pueden aportar trabajo para la producción de bienes y servicios. Datos tomados de: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.TLF.TOTL.IN>

6.3.2 La materia (recursos, materias primas e insumos)

El manejo de materias e insumos en todos los CVP-I está ampliamente desarrollado, aplicado y maduro, por tanto, en este apartado no se entrará en profundidad a ver sus aplicaciones, sino su enfoque y la implicación en la sostenibilidad ambiental. Lo que se señalará como relevante es cómo se ha concebido el manejo y uso de los recursos y materiales y qué perspectiva se debe asumir dentro de los Cs-tP.

En la práctica de la metodología LCA para el desarrollo de productos desde los años 80, se ha trabajado con múltiples inventarios de materias primas y sus cualidades, dichos inventarios siguen hasta la actualidad creciendo e incorporando no solo más materiales, sino más características de ellos, como por ejemplo las emisiones por kilogramo de material producido (Rebitzer et al., 2004). La aplicación del análisis o medición del flujo de materiales ha permitido a los diseñadores y desarrolladores de producto, seleccionar de un rango de posibilidades, el material que por un lado le ofrezca el mejor desempeño y prestaciones al producto, y por otro lado, sea el más adecuado a las tecnologías y procesos de producción disponibles (Keoleian, Menerey, & Curran, 1993). De acuerdo con lo anterior, la adquisición de materias primas y su entrada al ciclo en la etapa de producción para su procesamiento (proceso de manufactura), tendrán un tránsito de transformación como parte del producto final y será contemplado en su disposición final, ya sea como material de desecho o como material reciclable. De acuerdo con lo anterior, cualquier decisión sobre la selección del tipo de materiales a utilizar afectará no solo todas las etapas subsecuentes, sino que afectará o impactará el desempeño ambiental (suministro y demanda). En el proceso DDP aplicando el método LCA, cuando se define la meta y se tiene claramente identificada la función, por ejemplo empacar un sándwich, es posible prever y comparar cómo funcionarían diferentes materiales para dicho empaque y así tomar las decisiones de diseño más pertinentes (Guinée, Heijungs, de Haes, & Huppes, 1993). Pero cuando los profesionales que aplican el inventario de materiales del LCA, parten por ejemplo de comparar las alternativas de material del empaque sobre la base de 1m^3 de material y no toman en cuenta que la cantidad real de material puede variar por los calibres, las formas de presentación del material o incluso por los procesos de producción para obtener el empaque, la medición se vuelve inútil (Rebitzer et al., 2004). El análisis de la cuna a la tumba característico del método LCA estudia las entradas de energía y materiales, y al mismo tiempo las salidas de residuos y emisiones, en cada etapa y durante todo el ciclo de vida, pero también ven el flujo de todos y cada uno de los materiales como parte de la cadena de suministros (Horne, Grant, & Verghese, 2009). Para ello se tiene en cuenta desde la extracción de los materiales hasta su disposición final y así se puede determinar el uso eficiente de los recursos.

Ahora bien, las mediciones se complican a medida que convergen y se agregan en el producto diversos insumos con diversos procesos productivos. Como lo reconocía el propio Owens (1997), esta composición de insumos provenientes de diversos lugares del planeta, con diversos procesos de obtención y posteriores emisiones e impactos en diferentes países y sus sistemas naturales (aire, tierras y aguas), hace que la mayoría de evaluaciones sean o muy conservadoras o realmente inexactas. Lo anterior se

agudiza cuando se involucran materiales compuestos (plásticos y resinas), por ejemplo en la industria de automóviles, para obtener materiales livianos y así tener menores consumos de gasolina durante el uso del automóvil por su menor peso (Joshi, 2000), en este caso, la ambigüedad en términos de impacto ambiental queda en evidencia. Un problema adicional en la evaluación de impactos de los materiales es establecer las emisiones en términos de gas y lixiviados, pues en la práctica es difícil tener datos sobre las emisiones en los vertederos de los residuos y adicionalmente las emisiones en los vertederos pueden continuar por periodos muy largos (incluso milenios) y por tanto, el impacto ambiental de los contaminantes puede ser muy diverso, por ejemplo algunos estudios han planteado emisiones hasta por 100 años, pero esto es solo con base en los límites de responsabilidad legal, más no ambiental. Una solución propuesta ha sido modelar tanto las emisiones a corto plazo como a largo plazo y tratarlas por separado (Finnveden et al., 2009), aunque se mantienen los problemas de ponderación en diferentes escalas de tiempo. Una dificultad más es que los profesionales que desean utilizar el método LCA, desconocen comúnmente la procedencia exacta (originación) del recurso, debido a la globalización de los mercados de insumos y materias primas.

Todos los problemas mencionados hasta acá, definitivamente suman a la complejidad y la poca confiabilidad de las mediciones de los flujos de materiales a lo largo de un CVP-I. Sin embargo, contemplar globalmente el flujo de materiales desde el método LCA tiene como ventaja identificar la contaminación como emisiones derivadas de las operaciones de producción. Adicionalmente, la definición del alcance implica determinar los límites adecuados de análisis, por ejemplo, hasta dónde se pueden identificar todos los procesos de producción, disposición y reciclado de los materiales y servicios involucrados en el CVP-I (Horne et al., 2009).

Ahora bien, la robustez de las metodologías basadas en los inventarios de flujos de materiales continúan y continuarán, e incluso se apoyan en herramientas informáticas del método LCA para facilitar su compleja aplicación. Pero en todos los casos revisados, los autores se centran en los sistemas técnicos, y la preocupación por dichos flujos de materiales se ha concentrado en las formas de racionalizar tecnológicamente su uso y reducir el impacto ambiental durante sus procesos y disposiciones finales, lo que representa una orientación hacia la eco-eficiencia (reducir - minimizar consumos e impactos). Esta perspectiva tecnológica en los CVP-I ha dejado de lado, por un lado, el estímulo a la exploración de nuevos materiales con cualidades 100 % biodegradables e incluso, materiales bio-inspirados que actúen como nutrientes y bio-regeneradores, esto es, orientados a la eco-efectividad (no generar impactos, al contrario generar ciclos de nutrientes) (S. Lee & Xu, 2005) y (Michael Braungart, William McDonough, & Andrew Bollinger, 2007). Por otro lado, no se integran los estudios sobre la manipulación manual de los materiales como cargas y sus efectos en la salud y la seguridad de los seres humanos. Lo anterior no quiere decir que no existan trabajos en estas dos direcciones, evidentemente existen muchos trabajos, pero no están directamente engranados o articulados con los procesos de CVP-I. Los Cs-tP plantean incluir de manera evidente estos dos aspectos, para no ver los materiales y su manejo simplemente desde lo

tecnológico, sino desde lo socio-tecnológico. La ergonomía, que se apoya en la comprensión de los sistemas socio-tecnológicos, establece la manipulación manual de cargas (materiales e insumos) tanto desde lo productivo, como desde la salud laboral y la seguridad, lo que quiere decir que si solo interesara la dimensión tecnológica de los materiales, importarían la efectividad y productividad de su uso, pero la dimensión social en la cadena de valor del manejo de los materiales, muestra que las sociedades productoras (trabajadores) agregan valor, pero pueden tener consecuencias en salud y seguridad que ponen en peligro la sostenibilidad laboral, con implicaciones también en la responsabilidad social corporativa (Podgórski, Oleszek, Bojanowski, & Karwowski, 2007), (Bust, 2011) y (Raffler, Ellegast, Kraus, & Ochsmann, 2015).

6.3.3 La información

La información es el tercer aspecto de intercambio entre ciclos y dentro de sus fases, pero indudablemente el menos atendido o más bien, asumido tácitamente en todas las etapas y sus respectivos procesos. En la revisión sistemática de modelos de CVP-I, se hizo evidente que el tema de información se ha ido consolidando especialmente alrededor de la gestión de datos en los aspectos de diseño, desarrollo y producción asistida por computador CAD /CAE / CAM, que aunque se desarrollaron como aplicaciones desde los años 80, no se fueron integrando en una misma plataforma informática de gestión de datos y herramientas de visualización de producto hasta en los años 90. Esta integración evolucionó bajo la gestión integral de ciclo (PLM) incluyendo la planificación de recursos de la empresa, la gestión de relaciones con los clientes y la gestión de proveedores i.e. gestión de la cadena de suministros, todo esto al iniciar el siglo XXI (Cao & Folan, 2012). Posteriormente, se ha seguido trabajando en la compatibilidad e integración de los diversos programas y sistemas informáticos, para impulsar el diseño colaborativo desde finales de los años 90 hasta la actualidad, por ejemplo en: el uso de recursos de comunicación en red (Gay & Lentini, 1995), el manejo de la creatividad social para la solución de problemas complejos (Fischer, 2004) o estrategias y programas de co-modelado y co-simulación (Fischer, 2004; Fitzgerald, Larsen, & Verhoef, 2014).

No obstante todo el evidente y abundante trabajo con la gestión de la información, la gran mayoría se ha orientado a los datos que establecen especificaciones técnicas del producto de forma directa. En esta tesis se plantea extender la noción de información hacia la de gestión del conocimiento, de manera que se amplíe progresivamente la perspectiva socio-tecnológica, para que contemple las ‘partes interesadas’ y sus motivaciones a lo largo de todo el ciclo del producto. En este sentido, se pueden seguir diferentes perspectivas que mantengan lo ya mencionado desde la información, pero que incluyan la gestión del conocimiento tanto de las empresas, como de las diversas ‘partes interesadas’. Una primera perspectiva se aproxima con base en la teoría de la información, el conocimiento y la inteligencia unificada (Yixin, 2000), que está derivando por un lado en investigación en ‘minería de datos’ como información y conocimiento extendidos y de carácter mutante (Wenwei, 2006) o en extensión de ‘minería de datos’ en sistemas de bucle cerrado (Yang & Cai, 2009); y por otro lado, en procesos sistemáticos de gestión del

conocimiento en la manufactura (Chuang & Jun-biao, 2009) o sobre todos los tipos de conocimiento i.e. tácito y formal y en todo el proceso de diseño (Chandrasegaran et al., 2013). Una segunda perspectiva lo hace desde la gestión, esto es, sobre sistemas de conocimiento y aprendizaje organizacional (Pentland, 1995) y sobre la teoría del conocimiento organizacional (Nonaka, 1994; Nonaka & Von Krogh, 2009). Por último, está una tercera perspectiva emergente y muy promisoría, con más énfasis en los aspectos socio-culturales, que permite pensar tanto en la gestión de capacidades de las ‘partes interesadas’ como en las características del entorno de la ‘destinación’, con trabajos centrados en las tecnologías del lugar y en las posibilidades de bienestar y sostenibilidad social. Sobre esta perspectiva de mayor autonomía de las ‘partes interesadas’ en la destinación se pueden identificar el trabajo del equipo de DDP del CDEI - UPC en Nepal, donde desarrollaron un teleférico accionado por gravedad, para no tener dependencia de la obtención de energías derivadas del petróleo y utilizando al máximo las capacidades tecnológicas del lugar (Carles Riba i Romeva, 2012). Sobre la misma línea de acción está el trabajo del mejoramiento de los moldes de fabricación de una estufa de leña en la India, desarrollado por el centro de tecnologías sustentables, que reduce en más del 50% el uso de combustible, reduce el tiempo de cocción y elimina el humo en el interior de los hogares, por el aprovechamiento de la corriente de aire. Para este último proyecto, la metodología utilizada se denominó ‘diseño basado en las capacidades’, que se orientó a cómo diseñar para el bienestar, en lugar de solo preguntarse por los aspectos técnicos del diseño de la estufa, lo que llevó a ampliar el ámbito del diseño a acciones más responsables social y ambientalmente (Khadilkar, Lokras, Somashekar, Venkatarama Reddy, & Mani, 2015). El ‘diseño centrado en las capacidades’ gestiona la información a lo largo de todo el ciclo de existencia del producto distinguiendo entre medios disponibles y fines propuestos, para asumir la responsabilidad de encontrar y cumplir con los deseos de los usuarios finales a través del producto, sin limitarse a los aspectos funcionales, pues se tiene presente a todas las ‘partes interesadas’ y sus motivaciones, en cualquier fase del ciclo. Los autores plantean dentro de las capacidades el manejo de la información y el conocimiento, por una parte, de los recursos naturales, materiales, financieros, geográficos, educativos, psicológicos, sociales, culturales, en relación con los agentes humanos; y por otra parte, la estructura donde se enmarcan las capacidades representada en las políticas y programas, las leyes formales e informales, las instituciones y organizaciones, y las tecnologías e innovaciones disponibles. Khadilkar et al. (2014) reconocen que hay una ausencia de teoría que permita comprender los motivos que cada ‘parte interesada’ tiene detrás de la participación en alguna fase del ciclo del producto. Los conceptos de capacidad aplicados a cada grupo de interés pueden proporcionar conocimientos que lleven a un producto a ser capaz de responder a las expectativas de todos las ‘partes interesadas’. El diseño centrado en las capacidades de la destinación, abre nuevas oportunidades para manejar la información y el conocimiento, de manera que se integre la realidad del contexto y no el ideal de la visión desde la originación.

6.4 Partes constitutivas de los Cs-tP

Una vez realizada la revisión sistemática descrita en un capítulo anterior y sumada a la revisión sistemática realizada por Cao and Folan (2012) se concluye que no existe aún una propuesta de consenso general de las partes constitutivas de los CVP-I. Por esta razón, a continuación se presenta una propuesta de partes constitutivas que surgió, por un lado, de la deducción de conceptos como consensos del estado del arte en las revisiones sistemáticas enunciadas y, por otro lado, de la inclusión de conceptos necesarios para configurar un modelo socio-tecnológico integral.

La figura 6.10 agrupa las cuatro categorías que conforman los Cs-tP. De lo más general a lo más específico tenemos, en primer lugar, la noción de ‘ciclo’, ampliamente tratada tanto en el capítulo de revisión sistemática de modelos de CVP, como en la introducción y características generales del presente capítulo. En los esquemas aparecerán en color terracota los ciclos antrópicos (Cs-tP), como marcos rectangulares, que tienen bucles de retroalimentación con otros tipos de ciclos. Como ya se ha mencionado, se pueden identificar diversas taxonomías o categorías de ciclo tales como: ciclos naturales, biogeoquímicos o biotrópicos, de recuperación o restauración natural, ciclos socio-tecnológicos o antrópicos, de existencia, de provecho y sin provecho.

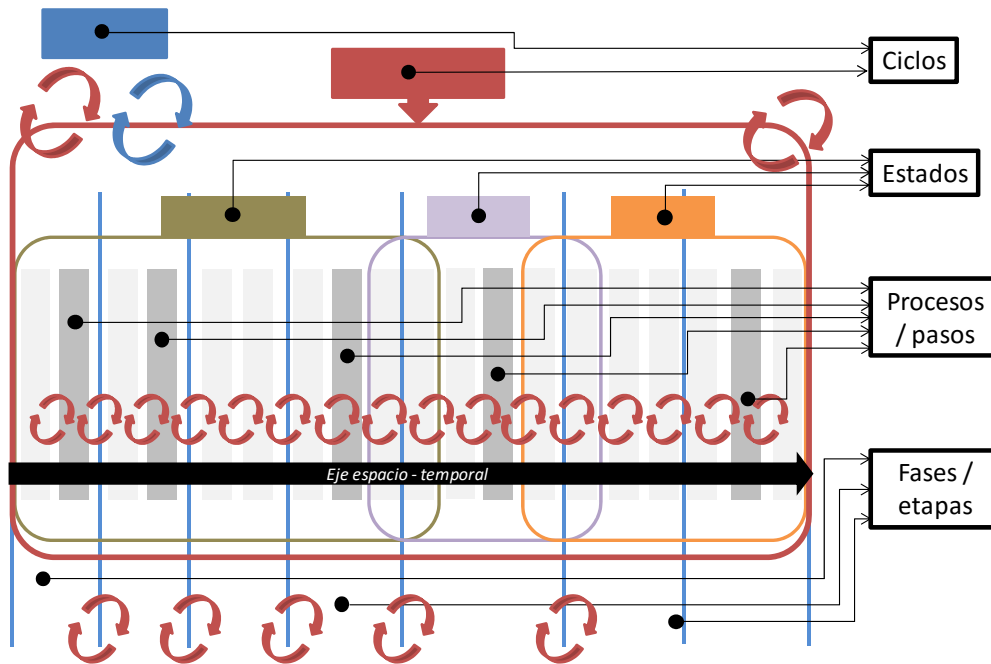


Figura 6.10 Categorías que conforman los Cs-tP. Ciclos, estados, fases/etapas, procesos

En segundo lugar están los ‘estados’ que se representan en unos casos como rectángulos traslapados (ver también figura 6.11) y en otros casos como rectángulos consecutivos (ver figura 6.12). Normalmente agrupan y contienen tanto fases como procesos o pasos. Los estados son una categoría que permite identificar cómo las particularidades socio-culturales de las ‘partes interesadas’ y de los lugares

geográficos condicionan el DDP. Por otra parte, los ‘estados’ posibilitan identificar, a lo largo del tiempo, las principales transformaciones del producto y sus valores agregados. En los esquemas de los Cs-tP, un primer grupo de estados aparece con color verde oliva, lila claro y naranja (ver figura 6.11), que se refieren a los conceptos planteados en el capítulo 3 por Riba, Llorens, Coll y Maury en el libro de Ingeniería Concurrente (C. Riba i Romeva, Llorens, Coll, & Maury, 2006), con relación a las principales ‘partes interesadas’¹⁵ que intervienen en el ciclo. En el segundo grupo de ‘estados’ aparece con color rosa, verde grama, azul claro y café claro (ver figura 6.12), referida a la clasificación original realizada (Kiritsis, Bufardi, & Xirouchakis, 2003), adaptada por Cao and Folan (2012) y ahora replanteada en la actual tesis.

En tercer lugar se definen e identifican las fases que en el esquema son las franjas que se forman entre las líneas verticales azules. Siete fases conforman todo el Cs-tP y más adelante se detallarán, pero tienen como característica común, que agrupan determinados procesos y pueden producirse bucles de realimentación entre una y otra fase. Este es el concepto más utilizado en todos los modelos de CVP-I, pero no se ha tenido precaución para diferenciarlas con la categoría anterior (estados) o con la última categoría (procesos o pasos). De hecho, Cao and Folan (2012) en su revisión sistemática mencionan como ‘fases’ diferentes niveles de descripción, es decir, no hacen distinción por ejemplo entre fases y estados. En los Cs-tP todas las fases tienen una identificación con características y condiciones socio-tecnológicas, que permiten establecerlas diferencias en los valores agregados, acumulados a lo largo del tiempo.

Finalmente, en cuarto lugar están los procesos representados en los esquemas como barras consecutivas de color gris claro y que hacen parte como conjunto de cada una de las fases. Los procesos son el conjunto de acciones específicas y diferenciables que se ejecutan en cada fase y donde se toman decisiones socio-tecnológicas acumuladas. Dependiendo de la toma de decisiones para poder avanzar en el DDP, pueden existir bucles de retroalimentación entre uno y otro proceso, de manera que todos los participantes e interesados en el DDP estén seguros de cumplir unas mínimas exigencias para poder avanzar, tanto en cada proceso, como en cada fase. Es importante mencionar que los diversos autores estudiados en la revisión documental, no se ocupan en detallar y mucho menos en establecer consensos alrededor de la cantidad y los nombres de los diferentes pasos. Lo que se reconoce es que pueden variar dependiendo de la complejidad del producto, de las capacidades de los equipos de DDP y del tiempo disponible para crear y comercializar el producto, entre otros. Por lo tanto, en los Cs-tP se hará una propuesta de referencia, pero puede ser ajustada según las condiciones anteriormente mencionadas. Aunque las fases y los procesos/pasos tienen bucles de retroalimentación, de cualquier forma todos los Cs-tP se desempeñan en función de un eje espacio-temporal, es decir, con un inicio y un final.

¹⁵Aunque Riba et al. mencionan la noción de agentes, en esta tesis se asumen como ‘partes interesadas’ que se refiere más a lo que se conoce con el anglicismo ‘stakeholders’ y para no confundirlo con la noción de agentes, utilizada en la visión de la sociología simétrica.

La primera modalidad de ‘estados’ permite reforzar la idea de la ingeniería concurrente orientada al entorno, que se ocupa de profundizar más, tanto en los aspectos ambientales (sostenibilidad): consumos elevados, contaminaciones, fallos y problemática sobre el manejo del fin de ciclo, como en aspectos humanos (socio/culturales): la falta de seguridad y usabilidad, que anteriormente eran soportados por los usuarios e indirectamente por la sociedad (Riba Romeva, 2002). Los conceptos de originación, transferencia y destinación se plantearon inicialmente por (C. Riba i Romeva et al., 2006) en el tercer capítulo del libro, dedicado a familia, portafolio y gama de productos, como etapas generales del CVP. Para los autores, dichas etapas son útiles para comprender un producto desde la perspectiva de las ‘partes interesadas’. Esta concepción es el punto de partida, por un lado, para contemplar a todos los interesados a lo largo de todo el ciclo del producto, y por otro lado, para reconocer la complejidad de personas y contextos socioculturales por las que se despliega la existencia de un producto. (C. Riba i Romeva et al., 2006) mencionan que ya Hubka y Eder (1988) usaban el término de originación, para agrupar el conjunto de fases que dan origen a un producto, teniendo como principal agente al constructor. La noción de destinación, acuñada por (C. Riba i Romeva et al., 2006), incluye el grupo de fases a donde va destinado el producto, reconociendo como principal agente al usuario. También proponen el concepto de transferencia para indicar el conjunto de fases que permiten pasar el producto de los constructores a los usuarios finales y por consecuencia, las principales ‘partes interesadas’ serán los comercializadores. Incluso (C. Riba i Romeva et al., 2006), llegan a plantear una etapa preliminar como creación en donde su principal agente sería el creador y otra posterior como reciclado, en donde consecuentemente el principal agente sería el reciclador.

En la presente tesis se adoptan los tres conceptos originales, pero son asumidos como tres estados que se traslapan, para no establecer confusión con las fases que sí se asumen consecutivas. En los Cs-tp, las ‘partes interesadas’ son una compleja red de actores humanos, con diferentes intereses, diversas culturas e incluso ubicados en distintos lugares, pero todos ellos actuando hacia el mismo propósito con sus opiniones y preguntas dentro del proceso de DDP. Esta compleja red de actores humanos se modela y auto-regula, de acuerdo con las organizaciones a las que pertenecen y además participa y toma decisiones en relación con la complejidad del producto. Ahora bien, las ‘partes interesadas’ como red compleja de actores no tiene categorías absolutas, ni limitaciones de actuación o influencia a lo largo de todo el ciclo, al contrario, hoy día las responsabilidades asumidas trascienden las fronteras de los estados y las fases del ciclo. De acuerdo con lo anterior, la propuesta de (C. Riba i Romeva et al., 2006) puede potenciarse, al asumir ya no solo cinco destacados conjuntos de ‘partes interesadas’ como pueden ser los creadores, constructores, productores, usuarios y recicladores, sino una heterogénea variedad como por ejemplo: los inversores, los diseñadores, los proveedores de servicios y materias primas, los ergónomos, los gestores de producto, los gestores de proyecto, los fabricantes, los transportadores, los empacadores, los instaladores, los que utilizan el producto, los que hacen mantenimiento, los que suministran insumos, partes y componentes, los acopiadores, los desensambladores y los transformadores, entre otros. En la

figura 6.11, pueden verse ubicados a lo largo de todo el ciclo –representadas con el ícono de diálogo– las voces de algunas de las ‘partes interesadas’ que tienen sus puntos de vista y sus preguntas particulares.

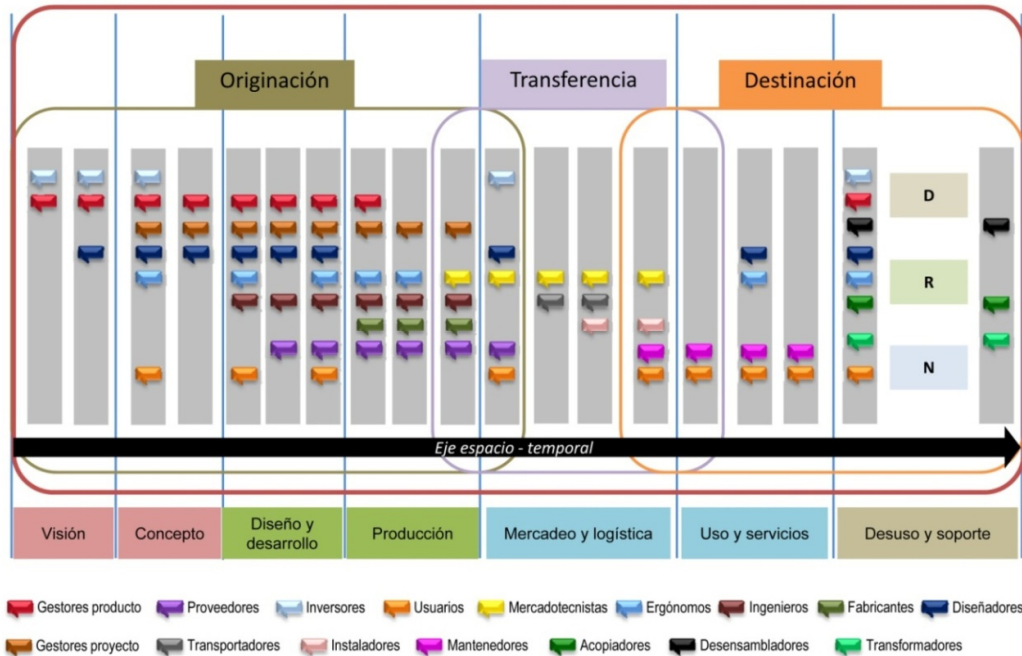


Figura 6.11 Los estados traslapados asociados a las partes interesadas y las fases/etapas

Se propone que la originación normalmente agrupe una serie de procesos, como se puede ver también en la figura 6.11, adicionalmente, el estado de originación se traslapa con el estado de transferencia, compartiendo algunos procesos, pertenecientes a diferentes fases. A su vez, el estado de transferencia también se traslapa con el estado de destinación, compartiendo algunos procesos también de diferentes fases. Los detalles de los procesos que hacen parte de cada uno de los estados, así como los que son compartidos, se describirán más adelante. Por último, es importante mencionar que para la propuesta de los Cs-tP, las ‘partes interesadas’ pueden verse involucradas en todos o algunos de los tres estados y no son necesariamente exclusivos de alguno de ellos. Por ejemplo, los usuarios que anteriormente eran excluidos en la originación, hoy día con la tendencia del ‘diseño centrado en el usuario’ y para garantizar mayor calidad y éxito de los productos, deben involucrarse desde la originación. La importancia socio-tecnológica de esta clasificación de estados fue explorada preliminarmente como un ejercicio dentro del curso de ingeniería concurrente del doctorado (G. García-Acosta & Flórez García, 2009), donde se muestra cómo se caracterizan los entornos con base en los factores Político-jurídicos; Económico-financieros; Ecológico-geográficos; Socio-culturales y; Tecno-científicos (PESTE), propuestos en (G García-Acosta, 2002). El ejercicio basado en la comparación de tres minipimers y una licuadora, mostró la importancia de comprender cómo los cambios del entorno y sus factores influyen y producen diferencias en los estados de originación y destinación. Se llegó a una propuesta de evaluación y ponderación del producto en términos de la usabilidad, mantenibilidad, obtenibilidad, fiabilidad y

reposición, que varían de calificación según tanto el entorno, como las ‘partes interesadas’ reconocibles en dichos entornos, por ejemplo en originación a los diseñadores y en destinación a los usuarios. Dicho ejercicio mostró la importancia de la ingeniería concurrente orientada al entorno, pues tanto los estilos de vida, como los conceptos de consumo de las ‘partes interesadas’ pueden establecer diferencias en el rol y el manejo de los productos.

De acuerdo con lo anterior, se abren otras oportunidades para comprender que el estado de transferencia ya no se puede considerar sólo como unidireccional y de países llamados desarrollados a países en vías de desarrollo en donde se producen islas antropotecnológicas para obtener materias primas o fabricar productos (Wisner, 1992), sino como lo proponen (C. Riba i Romeva et al., 2006), desarrollar una transferencia bidireccional, esto es, aprovechar el conocimiento local y gestionar el desarrollo de productos e innovación de acuerdo con los recursos disponibles, las culturas y los estilos de vida local. Sobre esta misma línea de pensamiento, los estados mencionados permiten reconocer unas características espacio-temporales, que pueden ser muy diversas y complejas, pues hoy día la originación ya no es solo local, sino globalizada y multi-espacial. De igual manera, la transferencia se soporta en una logística de comercio internacional y la destinación es compleja y mundial. Tampoco se puede concebir linealmente el estado de originación, pues los productos en procesos de diseño colaborativo, ocurren en una concepción, diseño y desarrollo en entornos simultáneos y con ‘partes interesadas globales’.

Adicionalmente, el estado de originación en cuanto a fabricantes, se ha ido concentrando en los últimos años en los países asiáticos, principalmente por costos financieros de fabricación, sin dar importancia real a los costos del capital natural como el uso energético para mover materias primas y productos terminados globalmente. En este sentido, el excesivo uso energético se ha venido concentrando en el estado de transferencia, para hacer llegar los productos por canales de distribución global. La demanda energética no es suficientemente valorada por tener aún bajos costos financieros para obtener por ejemplo combustibles fósiles, o asumir su subsidio, entre otros, por medio de mano de obra barata. En este caso, la ventaja de establecer los estados del ciclo ya descritos, es poder cuantificar el uso energético, no en términos financieros, sino en términos de obtenibilidad y por ende de disponibilidad de recursos (balance / desbalance). Independientemente de los bajos costos de los combustibles que indudablemente dan ventajas financieras globales, dichos bajos costos están siendo subsidiados desde otros lugares y por otras ‘partes interesadas’, impactando negativamente en la equidad, calidad de vida y el bienestar de las personas que están en las zonas de extracción de los combustibles. Es un hecho que la diversidad de destinaciones ya comúnmente globalizada, hace costoso establecer una logística inversa para la recuperación de materiales, que actualmente están quedando en los vertederos de los lugares de destino final del producto obsoleto. Por esta razón, los mayores impactos ambientales están quedando tanto en los lugares de originación donde se extraen las materias primas e insumos energéticos, como en los lugares de destinación donde no se tienen programas o normas de recuperación o reciclaje. De hecho, en muchos lugares de destinación, una vez cumplen los productos su etapa de uso, son copiados y enviados a otros lugares de destinación (generalmente países financieramente pobres en Asia y Africa), como productos en

desuso, que convierten a algunas ciudades o distritos, en vertederos industriales con altas tasas de contaminantes y toxicidad que afectan a sus ciclos biogeoquímicos (tierras, aire y acuíferos). En línea con lo anterior, un estudio realizado por (Caravanas, Clark, Fuller, & Lambertson, 2011), muestra el impacto en el ambiente y en la salud pública de los recicladores de basura electrónica y en general de los pobladores de Accra en Ghana, pues las mediciones y análisis realizados indican que las formas de recuperar componentes como por ejemplo los cables de cobre, a partir de quemar los plásticos de recubrimiento, producen emisiones de sustancias peligrosas en forma de humos de hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos, que son reconocidos como sustancias cancerígenas.

La segunda modalidad de ‘estados’ parte del trabajo de Cao and Folan (2012) que después de estudiar la evolución del CVP de 1950 a 2009, concluyen que las partes más genéricas de las últimas propuestas de ciclo con bucles, pueden reconocerse en tres: ‘inicio de vida’ (en inglés ‘Beginning-of-life’ / BOL), ‘media vida’ (en inglés ‘Middle-of-life’ /MOL), y ‘fin de vida’ (en inglés ‘End-of-life’ / EOL). Ahora bien, los autores en la misma revisión tampoco hacen distinción entre fases y ciclos, dejando abierta la posibilidad de confusión con otros modelos que ellos refieren y que manejan otros términos como fases. Una vez confrontados los conceptos en la literatura de la revisión sistemática y analizada la información sobre los modelos de CVP, se propone replantear como una segunda modalidad de ‘estados’, lo que mencionan Cao and Folan como grandes etapas que contienen otras sub-etapas, para de esta manera evitar confusión de categorías. Adicionalmente, se ubica un estado inicial y se renombran los tres propuestos por Cao and Folan, de manera que se vuelvan conceptos afines a los ‘ciclos de existencia’ de un producto propuestos en la presente tesis. Como se muestra en la figura 6.12, en total se proponen cuatro estados consecutivos nombrados como: a) gestar o GOL, b) realizar o BOL, c) operar o MOL y c) cerrar o EOL. Estos cuatro estados hacen énfasis en los hitos del DDP, esto es, que marcan las diferencias significativas en la cadena de valor agregado del producto, pero para el modelo que aquí se propone son comprendidas desde la perspectiva socio-tecnológica.

Así por ejemplo, en el estado ‘gestar’, el valor agregado que se destaca es lo que algunos autores denominan como establecer el ADN de la empresa (Pineno, 2012), es decir, más que las políticas, los valores incorporados que tienen todos los miembros de una compañía frente a los productores, proveedores y usuarios, entre otros, pero también frente al medio ambiente. Desde el estado ‘gestar o GOL’ es donde al producto se le imprime una identidad y unas cualidades particulares, que son las diferenciadoras respecto de otros productos similares e incluso, aspectos como la calidad, la responsabilidad social y ambiental, deben ser un contenido de referencia como valores agregados. En el estado ‘realizar o BOL’ se mantienen los valores agregados de la anterior etapa, pero se agregan otros, durante los momentos tanto de diseño y desarrollo, como de producción. En este caso, para el estado ‘realizar o BOL’ el valor agregado más significativo es ver materializado el producto en todas y cada una de sus partes por medio de la fabricación, la calidad y las demás propiedades esperadas por todas las ‘partes interesadas’. En el estado ‘operar o MOL’ la capacidad de responder con calidad, precio, garantía

funcional, logística de mantenimiento, logística de insumos, facilidad de uso y diferenciación, entre otros valores agregados, se verá reflejado en el reconocimiento y éxito en el mercado y como consecuencia de todo lo anterior se tendrá un tiempo de vigencia en el que se considera socialmente útil. Finalmente y no por ello menos importante, en el estado ‘cerrar o EOL’ es donde la mayoría de las cualidades pensadas y la cadena de valor agregada desde el estado ‘gestar’ terminan, o son transformadas o en nuevos valores y cualidades. Es en este último estado donde se verá el impacto de los valores de inicio, así por ejemplo, si no se incorporó como valor el poder reciclar o reutilizar, probablemente se irá a desechar, a no ser que ‘partes interesadas’ asuman el reto de reciclar o reutilizar, dando un valor agregado no previsto o planteado desde la gestación.

Ahora bien, puede ser que desde el estado ‘gestar’, por orientación hacia el desarrollo sostenible, se tenga presente la importancia de reciclar y reutilizar en el estado ‘cerrar’, planteando estrategias de soporte para cumplir con esta promesa del producto. Adicionalmente, si desde el estado ‘gestar’ se estableció como valor último la sostenibilidad, entonces seguramente en el estado ‘cerrar’ se alcanzará a obtener ya no la contaminación, sino la nutrición de alguno de los ciclos naturales. Es importante insistir que el estado ‘cerrar’ es tal vez el que más atención y trabajo socio-tecnológico requiere, pues tanto la responsabilidad social y ambiental como la realidad de la problemática asociada lo exigen cada vez más. En la actualidad, el DDP se ha orientado a los valores agregados intangibles, por ello se habla cada vez más de desmaterialización y los sistemas producto - servicio (Boada Ortiz & Mont, 2005), e incluso del diseño de solo servicios, o del producto/servicio extendido, de la logística de suministros y mantenimiento, y más recientemente, de la logística inversa (Dat, Linh, Chou, & Vincent, 2012), de acuerdo con lo anterior, entre más valores agregados se den a los intangibles, mayores ventajas socio-tecnológicas tendrán los productos. Ahora bien, infortunadamente uno de los valores agregados que aún se consideran optativos es el de no producir impactos ambientales.

De otro lado, como se puede observar en la figura 6.12, de esta segunda modalidad, al no ser traslapados los estados, sino consecutivos, hace que las fases contenidas –que se describirán a continuación– tengan hitos a ser alcanzados como condición necesaria para pasar de determinadas fases a otras y consecuentemente, a los siguientes estados. Por último, es importante mencionar dos ventajas socio-tecnológicas en esta modalidad de estados: a) reconocer y caracterizar los bucles de retroalimentación y establecer determinados criterios de logro, hasta alcanzar a superar determinada fase y así continuar con la siguiente; b) establecer los circuitos o flujos de información, como generadores de conocimiento socio-tecnológico (Know How).

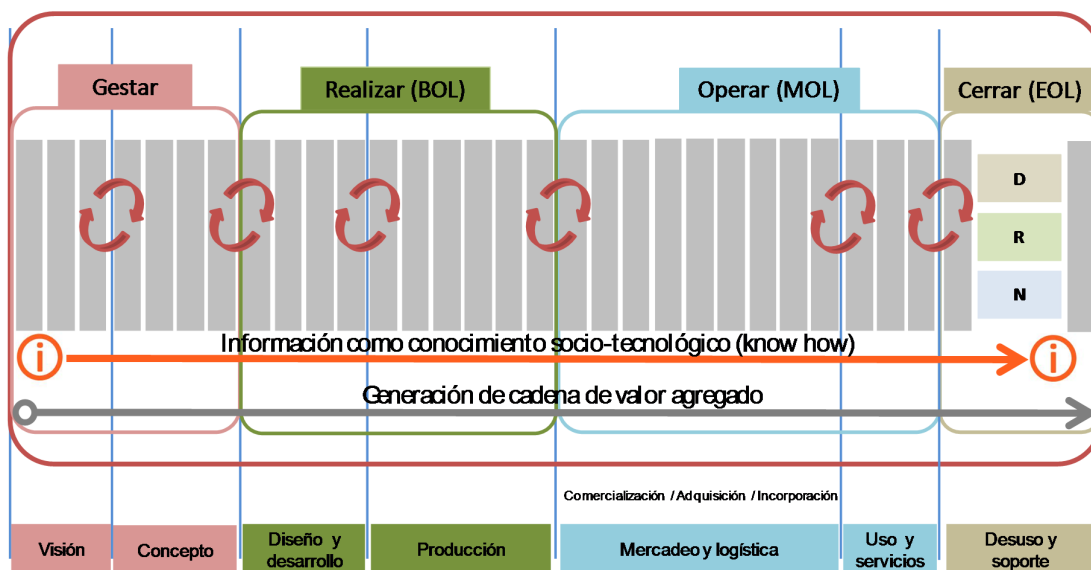


Figura 6.12 Los estados consecutivos asociados a la cadena de valor agregado y las fases/etapas

Las fases que se proponen como componentes de los Cs-tP son resultado, por una parte, del proceso de análisis deductivo de la revisión de la literatura sobre modelos CVP-I, por otra parte, de la necesidad de incluir y ordenarlas con una perspectiva socio-tecnológica. La revisión de Cao and Folan (2012) incluye una sistemática referencia a los modelos de CVP-I que parten desde Ishii, Eubanks & Di Marco (1994) y Kriwet, Zussman, & Seliger (1995), pasando por los modelos de gestión del ciclo propuestos por Westkämper, Alting & Arndt (2001), hasta llegar a las versiones más genéricas como la propuesta por (Kiritsis et al., 2003). Comparando las fases en todas las propuestas, aunque no existe consenso en la ingeniería de producto sobre el número y denominación de las fases, se puede concluir que hay al menos cuatro fases comunes así: El diseño, la producción –que algunos mencionan como manufactura y ensamble–, el uso y el fin de vida. Westkämper, Alting & Arndt, mencionan como fase importante el concepto y otros autores como (Alting, 1993) incluyen la distribución –también interpretado como mercadeo. En donde menos acuerdos hay, es en lo que para unos es fin de vida y para otros, disposición final, o incluso un trío de procesos optativos como re-uso, reciclaje y disposición final. Adicional a todo este panorama diverso de denominaciones, tampoco hay acuerdos si categorizarlas como fases o como etapas. Por otro lado, ningún modelo de los incluidos en la revisión sistemática ha dado importancia a la dimensión socio-tecnológica de los valores en el ciclo, más allá de los reconocidos valores agregados como ventajas comparativas del producto desde el punto de vista económico, vistos arriba, no se hace referencia a los valores fundamentales desde el punto de vista ético. Esta consideración se ratificó en el trabajo de campo sobre los casos que se han incluido en la iniciativa EQUID (Lange-Morales, García-Acosta, & Bruder, 2014), en donde se dedujo la importancia de incluir una fase que permita ubicar dichos valores y posteriormente verificar en qué otra parte del ciclo están influyendo en la toma de decisiones.

En primer lugar, se plantean siete fases asumiendo el acuerdo encontrado en la literatura respecto a cuatro, agregando otras dos también mencionadas por algunos autores y que efectivamente se convierten

en importantes eslabones del ciclo y por último, se generó una nueva etapa, que surgió como indispensable para establecer los valores éticos y acordar las acciones y aspiraciones iniciales de las partes interesadas. Como se ven en la figura 6.11, y 6.12, dichas etapas son: 1) visión, 2) concepto, 3) diseño y desarrollo, 4) producción, 5) mercadeo y logística, 6) uso y servicios y, 7) desuso y soporte. Las siete etapas se han agrupado a su vez de acuerdo con los cuatro colores de la segunda modalidad de estados.

Ahora bien, cada una de estas siete fases tiene la capacidad de contener determinados procesos específicos, –que más adelante se detallarán–, y que le confieren unas propiedades que permiten reconocer por qué situación específica de existencia está pasando el producto en determinado espacio-tiempo. Como colofón, pareciera que llegar a establecer estas fases como búsqueda de un consenso para la comunidad que investiga y practica la ingeniería de diseño y desarrollo de producto no tiene mayor importancia, pero en realidad, a diferencia de los modelos consensados en la economía y el mercadeo, la falta de consenso en los modelos de CVP en ingeniería, ha significado una pérdida en construcción acumulada de conocimiento y consecuentemente, la mayor madurez conceptual y metodológica en el campo de la ingeniería y el diseño de productos.

Antes de terminar con la descripción de los procesos como partes constitutivas de los Cs-tP, se mostrará la relación entre dos ciclos antrópicos, como se ve en la figura 6.13, un ciclo de producto y un ciclo de materiales. En la revisión sistemática de literatura, se notó una permanente mezcla de los contenidos de diversos ciclos antrópicos, por ejemplo, las materias primas que hacen parte del ciclo de materiales, se tienden a incluir como parte del ciclo de productos, como en el modelo de Ishii, Eubanks & Di Marco (1994). Otros autores como Kriwet, Zussman, & Seliger (1995) establecen tres ciclos antrópicos en paralelo y sobre la misma base de tiempo, estos son: ciclo de producto, ciclo de proceso y ciclo de logística. Sin embargo, hasta donde se conoce, no se establecen ciclos interdependientes, con una clara identificación tanto de los bucles de retroalimentación, como de las fases y procesos en los que se relacionan.

En la representación de la figura 6.13, se observa un ciclo de producto con sus siete fases, interactuando con un ciclo de materiales. El ciclo de materiales tienen una fase de extracción u obtención, por ejemplo desde una mina, luego pasan a otra fase donde son procesados y elaborados para obtener en una siguiente fase un material virgen disponible, posteriormente, dicho material es transformado en otra fase, con unas presentaciones y propiedades determinadas como materia prima. Finalmente, este circuito –marcado en azul– se conecta con el ciclo de producto, más exactamente con la fase de producción, en donde la materia prima concretamente es utilizada en el proceso de manufactura, así por ejemplo, para fabricar un automóvil, se requiere de chapas de acero como materia prima, con su correspondiente energía incorporada o embebida que se irá acumulando a lo largo de su construcción. Hasta el punto que las diversas materias primas transformadas para obtener el producto final, tendrán un alto porcentaje de energía gris o incorporada.

Ahora bien, si en el ciclo de producto se tiene un proceso de reciclado, se puede crear un circuito con un bucle de retroalimentación hacia el ciclo de materiales –marcado en verde– donde entrará a una fase de acopio y clasificación de material reciclado, para dar o recuperar nuevamente determinadas prestaciones y propiedades como materia prima y posteriormente volver a conectarse con el ciclo de producto en la fase de producción y en concreto en el proceso de manufactura. Algunos autores denominan el circuito representado en verde como metabolismo técnico (M. Braungart, W. McDonough, & A. Bollinger, 2007), siempre y cuando los materiales desarrollados y que entren en dicho circuito mantengan sus propiedades como materias primas, pero necesariamente cumplan con no ser cancerígenos, ni mutágenos, ni teratógenos, ni afectar el sistema inmunológico, no contener metales pesados y además si no se pueden reciclar, entonces deben ser biodegradables y, entonces verdaderamente se pueden considerar para reciclar y no se convertirán en desperdicios o contaminantes tóxicos para el ambiente y todas sus especies, sino en nutrientes técnicos en el ciclo de producto. Lo anterior es muy importante, pues al conocer las características y propiedades de las materias primas, entonces se puede establecer por un lado, unos requerimientos de calidad de las materias primas a toda la cadena de proveedores y sus suministros y por otro lado, se puede establecer un proceso de logística inversa en toda la cadena de distribución y con todos los usuarios finales.

Adicionalmente, el ciclo de los materiales puede ser analizado de manera integral y con las implicaciones de sus transformaciones al ir usando tanto energía gris que se incorpora (emergy) gradualmente en la configuración de los productos, como la exergía o energía útil para realizar el trabajo y la anergía o energía que es disipada o desperdiciada. Todas estas formas de energía se usan en los diversos procesos a lo largo de toda la fase de producción e incluso tanto en la fase de uso y servicios (mantenimiento), como en la fase de desuso y soporte (recuperar, reformar, reensamblar, re-manufacturar o reciclar, entre otros). Comprender simultáneamente el ciclo de materiales y el ciclo de producto (Cs-tP), permite tener una evaluación integral de los usos de energía y los consumos de materias primas, que al mismo tiempo, entrega un balance de dichos ciclos antrópicos y sus impactos en los ciclos biotrópicos.

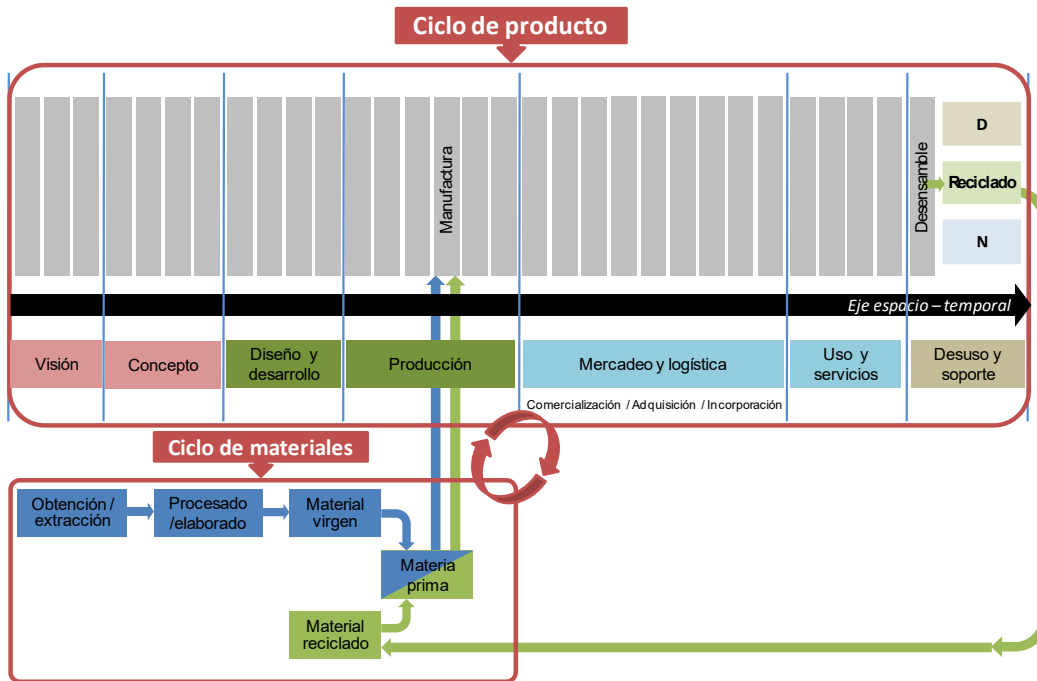


Figura 6.13 Relación entre dos ciclos antrópicos, un Cs-tP y un ciclo de materiales

Ahora se hará la descripción sucinta de los procesos como última parte constitutiva de los Cs-tP, representada desde la figura 6.10, como franjas grises sucesivas. Es importante indicar desde el principio que los procesos son relativos en número y tipo dependiendo de la complejidad tanto de los productos como de los equipos de DDP. En este capítulo, se plantean los procesos que se consideran como básicos y se describen asociados tanto a las fases, como a los estados.

Dentro del estado de originación y de acuerdo con la figura 6.14, el primer grupo de proceso/pasos que hacen parte de la fase de visión son: a) recoger todas las aspiraciones de todas las partes interesadas; b) establecer los valores éticos de todas las partes interesadas y finalmente; c) definir un propósito estratégico con base en los dos procesos anteriores. Para recoger todas las aspiraciones se debe asumir una actitud de total apertura, sin prejuicios que limiten las opiniones de las partes interesadas. Respecto a los valores éticos, normalmente en los modelos de ciclo o no se toma conciencia de su efecto o se dan por sentados, en función del paradigma de la economía dominante, sin embargo, una alternativa para resaltar y hacer explícitos los valores, es explorada en el siguiente capítulo. Lo que es claro al respecto, es que cualesquiera que sean los valores éticos establecidos o manejados, siempre estarán influyendo en cualquier toma de decisiones, por lo tanto, la visión junto con sus procesos, es la que marcará el derrotero de todo el DDP y sobretodo, todas las consecuencias de las decisiones.

El segundo grupo de procesos hacen parte de la fase de concepto y son: a) diagnóstico / problema / oportunidad; b) selección o ensamble de métodos; c) Establecimiento de requerimientos y determinantes y; d) generación de preconceptos, ideas o bocetos de alternativas. En este grupo es importante resaltar la selección o ensamble de métodos, pues dicha decisión marcará si el DDP se hará desde una perspectiva

simétrica, es decir, si se contemplan simultáneamente tanto lo ambiental, como lo humano. El ensamble metodológico puede estar apoyado en lo que se describió ampliamente en el capítulo 5 sobre tendencias y métodos y consecuentemente, marcará un carácter diferenciador al producto que se esté concibiendo, dependiendo de las decisiones tomadas al respecto.

El tercer grupo de procesos, conforman la fase de diseño y desarrollo donde aparecen: a) la configuración y el desarrollo del producto; b) el diseño a detalle; c) la generación de modelos reales o virtuales y; d) la construcción de prototipos y sus respectivas validaciones. No se hará más comentarios sobre dichos procesos, pues son ampliamente reconocidos, lo importante de recordar es que a medida que se acumulan los procesos, se va aumentando la cadena de valor agregado del producto y simultáneamente se producen bucles de retroalimentación, para verificar lo definido tanto en la fase de visión como en la de concepto i.e. valores, requerimientos y determinantes.

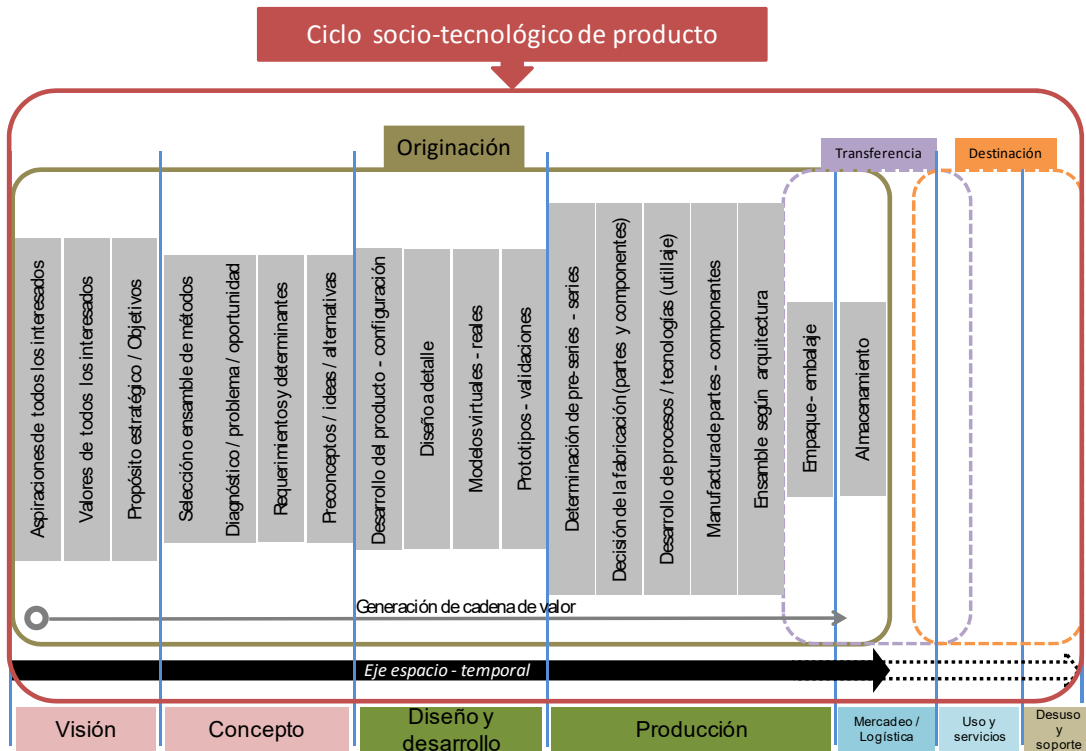


Figura 6.14 Grupo de procesos/pasos que hacen parte del estado de origenación

La mayoría de procesos del cuarto grupo, hacen parte la fase de producción, excepto uno, que hace parte de la siguiente fase que es mercadeo / logística. En la fase de producción están contenidos: a) la determinación de pre-series y series; b) la decisión sobre la fabricación, identificando cada uno de los procesos productivos que se requiere, tanto para cada parte o componente, como para su conjunto; c) el desarrollo de los procesos productivos y sus tecnologías asociadas, incluyendo por ejemplo el utilillaje; d) la manufactura o construcción de las partes y componentes. En productos muy complejos, en este punto es muy probable tener dichos procesos tercerizados, que son suministrados por otros proveedores

fabricantes; e) ensamble según arquitectura de producto definida y; f) empaque y embalaje que se puede asumir como último proceso/paso que hace parte de la fase de producción, para finalmente establecer; g) el almacenamiento, como el primer proceso/paso de la fase de mercadeo / logística. Como se ve en la figura 6.14, todos estos procesos hacen parte del estado de originación y en ellos participan diversas ‘partes interesadas’, todos y cada uno otorgando valor agregado bajo el mismo propósito definido. Por último, los procesos compartidos entre el estado de originación y el de transferencia son el empaque - embalaje y el almacenamiento.

En el estado de transferencia, la mayoría de procesos pertenecen a la fase de mercadeo / logística. Como se puede ver en la figura 6.15, y ya se mencionó anteriormente, en el traslape con el estado de originación se comparten dos procesos. En la fase de mercadeo / logística se pueden enumerar los siguientes procesos: a) almacenamiento, b) exhibición –oferta y, c) distribución / transporte, estos tres conforman el primer subgrupo de fases denominado comercialización. Los procesos de d) exportar / importar y, e) compra – venta hacen parte del segundo subgrupo de fases denominado adquisición. Finalmente, los procesos de e) instalación, f) verificación funcional y activación, g) entrenamiento y conocimiento de instrucciones de uso, hasta, h) oferta de servicios post-venta, hacen parte del tercer y último subgrupo de fases llamado incorporación y también coinciden los cuatro como procesos compartidos entre el estado de transferencia y el estado de destinación.

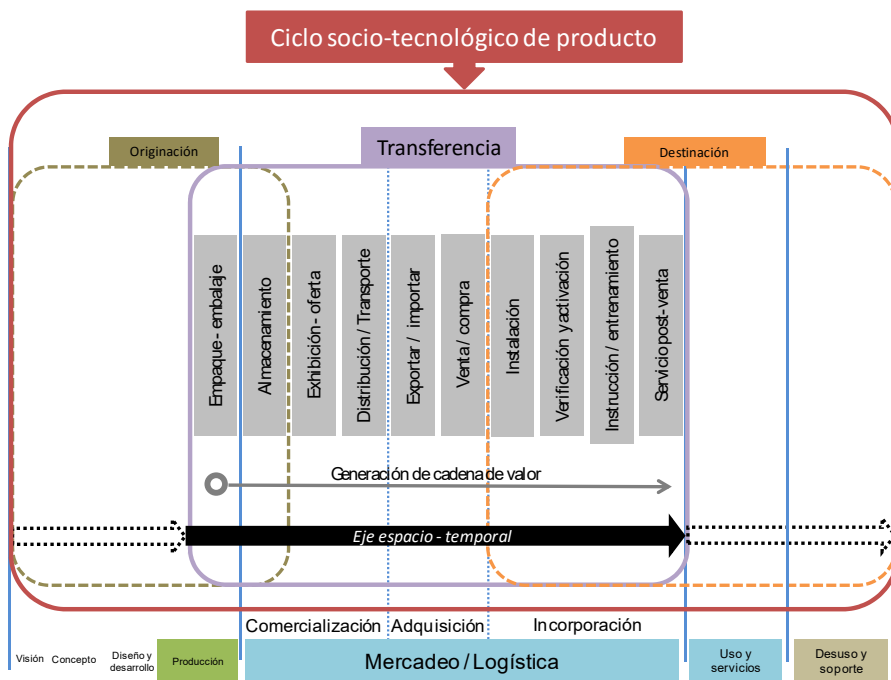


Figura 6.15 Grupo de procesos/pasos que hacen parte del estado de transferencia

Como en el anterior grupo de procesos, las ‘partes interesadas’ van agregando valor en cada proceso y desde una perspectiva simétrica, el producto con toda su logística se vuelve un actor no-humano que junto con los actores humanos se orientarán a un propósito de provecho tecnológico determinado. Finalmente,

es muy común que la fase de mercadeo / logística no sea tan valorada y tenida presente en los modelos de ciclo de producto desde ingeniería, pero si se quiere dar peso y establecer un equilibrio a lo largo de todas las fases del ciclo, es fundamental contemplar el estado de transferencia, sobre todo porque es así que se pueden caracterizar y establecer estrategias de comunicación según las diferencias entre los entornos y estados de originación y destinación. La meta es reconocer si las ‘partes interesadas’ que hacen parte de la destinación, pueden obtener no solo el producto sino el conocimiento asociado.

Ahora bien, en el estado de destinación, como se puede ver en la figura 6.16, hay procesos que hacen parte de tres fases que son: mercadeo / logística; uso y servicios y; desuso y soporte. Los cuatro procesos que hacen parte de mercadeo / logística ya se describieron arriba, por ello se mencionan a continuación sólo los que conforman tanto la fase de uso y servicio, como la fase de desuso y soporte. En uso y servicios están: a) activo, esto quiere decir por una parte, que el producto y sus servicios asociados funcionan como actores-red, pues es usable y por tanto, se utiliza. Por otra parte, el usuario como parte de los actores-red hace funcionar el producto, lo usa y por tanto, tiene utilidad, todo lo anterior hace que se cumpla con el principal propósito socio-tecnológico o programa que es ‘sacar provecho’. El proceso b) inactivo o latente, indica que momentáneamente los actores-red no están sacando provecho, o no cumplen con el propósito. A pesar de que esta condición latente es muy común, tiende a no ser contemplada por los desarrolladores de producto, que se concentran en la condición activa. El proceso c) en manutención, como su nombre lo indica, muestra a los actores-red, que buscan mantener el objeto con todas las prestaciones previstas, pero por sobre todo, asegurarse que la función, el uso y la utilidad siguen o se extienden espacio-temporalmente. El proceso d) suministro o provisión, hace referencia a que para seguir un normal funcionamiento, los productos deben de tener recambio de suministros o provisión de una fuente energética, así por ejemplo, una impresora requiere de recambio de cartuchos de tinta ya agotadas y adicionalmente, debe tener una toma de corriente para su funcionamiento. En muchos casos el suministro de insumos y la provisión de energía son condiciones indispensables para que el producto se considere en activo, por ello, para que un producto esté en activo, siempre dependerá del proceso regulado de suministros y provisión.

Es importante en este momento recordar cómo hace ya algunos años, muchos productos líquidos, en especial bebidas como agua, leche y cervezas, se envasaban en botellas o garrafas de vidrio retornables, que un camión distribuidor, al mismo tiempo que entregaba el producto envasado, recogía los envases desocupados, logrando una prolongación del ciclo de dichos envases de cincuenta o incluso más ciclos. Este concepto de ‘reusable’ de los envases de vidrio por varios ciclos de llenado de producto, se complementaba con el hecho de que el envase de vidrio podía ser reciclado (re-designado) en muchas ocasiones, pero infortunadamente fue desplazado en el mundo por los envases desechables de plástico (bolsas) y tetrapack_R que hoy día, representan un inmenso volumen de desechos que incluso no son reciclados o recuperados. Los envases de vidrio, se mantenían por largo tiempo en la fase de uso y servicios, en un continuo proceso de retroalimentación, bajo la idea de re-usar, mientras que los envases

desechables utilizados hoy día, pasan de una vez a la fase de desuso y soporte, donde generalmente son desechados y en algunos casos si su composición lo permite, reciclados.

En la fase de desuso y soporte, los procesos contenidos pueden tener tres alternativas, que dependen en gran medida de las condiciones y valores que se plantearon desde la visión. Así por ejemplo, si la fase de desuso y soporte inicia con el proceso obsolescencia, entonces todo lo que se haga, estará finalmente orientado a desechar y a la desintegración del producto, sin entrar a nuevos ciclos de provecho, o simplemente ir al vertedero. Por otro parte, si inicia con desensamble, entonces las acciones, al final se podrán dirigir a la re-designación y por tanto, a la revaloración, lo que quiere decir que la mayoría de partes, componentes y materiales se podrán recuperar para entrar en nuevos ciclos de provecho, logrando una serie de posibilidades que se mencionarán más adelante. Por último, si esta fase comienza con el proceso metabolismo, consecuentemente todas las acciones se orientarán a nutrir y por lo tanto a la regeneración de ciclos biogeoquímicos o naturales. En la literatura, normalmente esta fase de desuso y soporte como parte del estado de destinación es mencionada como fin de vida y se la ha dado poca importancia, pues no se asume con responsabilidad social y ambiental. En este modelo, la construcción de tres opciones es una alternativa que permite reconocer los diversos caminos con los que se cierra un ciclo de producto, por ello entraremos a detallar un poco más en cada una de las tres.

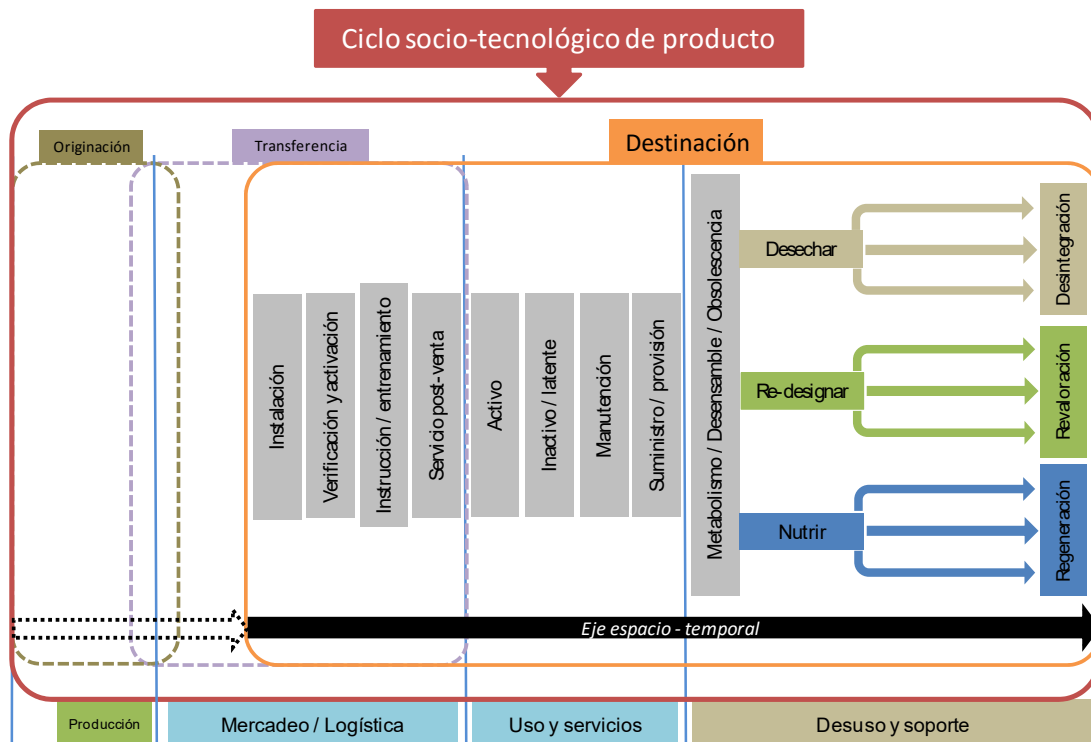


Figura 6.16 Grupo de procesos/pasos que hacen parte del estado de destinación

En el estado de destinación, el rol de los actores-red es fundamental para que se desarrolle alguna de las tres diferentes alternativas, como ‘programas de acción’ distintos por donde transita el producto en su última fase denominada acá como desuso y soporte. Adicionalmente, el ‘programa de acción’ que se

tome, se verá influido por los valores asumidos por las ‘partes interesadas’ en cualquiera de los tres estados y no solo en el de destinación.

Si desde el punto de vista socio-tecnológico, la primera alternativa es que los valores asumidos por los actores-red llevan a establecer que un producto entra en obsolescencia, quiere decir, que hay determinada condición social que designa un producto como descartable, por considerarlo anticuado o inútil tecnológicamente, incluso aun teniendo cualidades y prestaciones funcionales. Entonces sea la totalidad o las partes del producto descartado, ingresarán como ‘programa de acción’ al proceso de desechar, como se puede identificar en la figura 6.17. Pero las posibilidades de desechar son tres, una es confinar, muy común para productos o componentes con alta toxicidad ambiental y un peligro latente para la salud humana, como por ejemplo residuos peligrosos con condición radioactiva, que obligan a generar un confinamiento controlado y permanente. Otra posibilidad es rellenar, que en la mayoría de países de destinación con baja o mínima legislación ambiental es la alternativa dominante, por costos y mínima exigencia de responsabilidad ambiental y social, es importante mencionar que los desechos orgánicos pueden ser fácilmente reabsorbibles en la naturaleza, pero desafortunadamente muchos rellenos terminan con basuras mezcladas, esto es, residuos plásticos y metálicos que aún no son recuperados por falta de visión. De hecho, para las grandes ciudades latinoamericanas, la construcción de rellenos sanitarios ha sido el común denominador durante el pasado siglo y los años del presente, por ejemplo, en Bogotá se van al relleno sanitario diariamente 6.300 toneladas como basura, más de dos millones doscientas mil toneladas anuales. Pero referente a la basura de productos incluida la electrónica, se calcula que para el año 2018 habrá cerca de un millón de toneladas de residuos de productos de consumo, eléctricos y electrónicos, de los cuales en el 2014 sólo el 6% tenía un manejo adecuado y el 22% de los usuarios de teléfonos móviles simplemente lo tiran a la basura¹⁶. Si se tiene el registro que existen 50 millones de usuarios de la telefonía móvil en Colombia, el estimado de lo que va a los rellenos es impactante, pues alrededor de 11 millones de teléfonos móviles están yendo a la basura, para ver mayor información se puede consultar el informe final del estudio, gestión de residuos electrónicos en Colombia (EMPA- Blaser 2009). La tercera posibilidad es incinerar, que generalmente cubre residuos sólidos y líquidos derivados de hidrocarburos o combustibles no explosivos, maderas con adiciones de halogenados u órgano fosforados y en general residuos biológicos y hospitalarios, entre otros. Para el caso de Bogotá, en el año 2014 se inauguró la segunda planta de incineración tecnificada, con una capacidad de incinerar una tonelada de residuos hora¹⁷. Las tres posibilidades mencionadas, en el caso de participación de productos, finalmente implican como último proceso la desintegración o desactivación final. Todas las opciones

¹⁶ Referencia digital: <http://www.eltiempo.com/multimedia/especiales/toneladas-de-electrodomesticos-y-basura-tecnologica/14349515>

Informe final: Gestión de residuos electrónicos en Colombia. Diagnóstico de electrodomésticos y de aparatos electrónicos de consumo. 2009. Fabian Blaser (EMPA).

¹⁷ Referencia digital: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/manejo-residuos-peligrosos-colombia/20151>

anteriores son consideradas entonces como lo que se conoce en los ciclos de producto como ‘llegar a la tumba’.

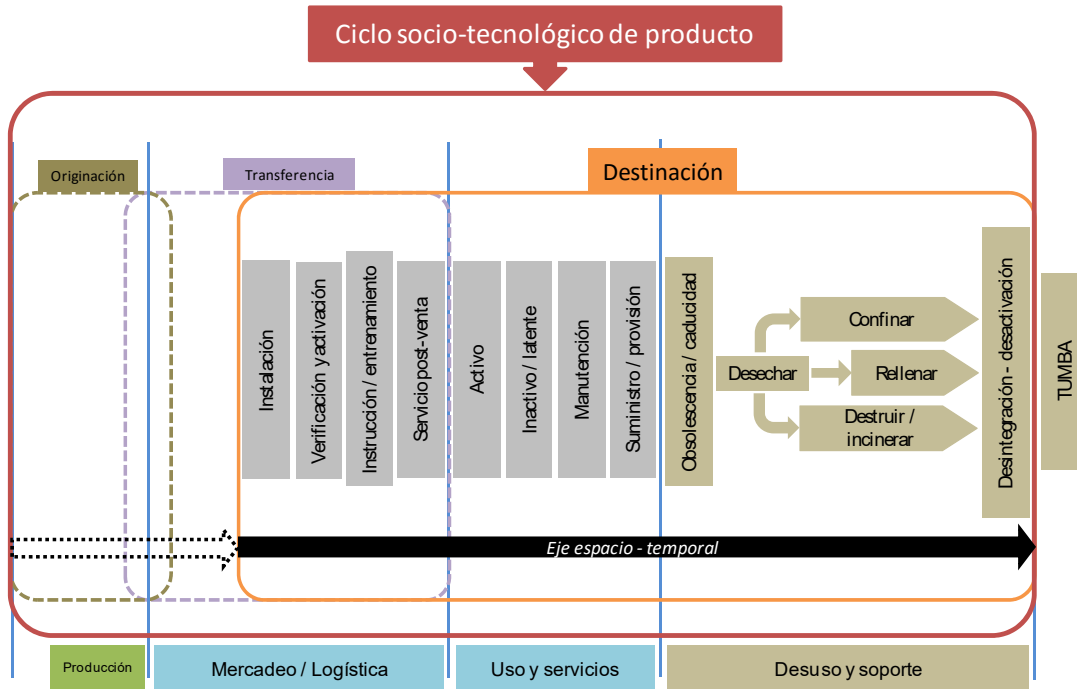


Figura 6.17 Grupo de procesos/pasos que hacen parte de la opción de la obsolescencia a la tumba

Ahora bien, para la segunda alternativa la perspectiva socio-tecnológica se sustenta en valores que llevan a asumir que un producto entra en desensamblable, o sea, que existe una aptitud social de las ‘partes interesadas’ o de los actores humanos y una potencial disposición de los actores no humanos, para seguir con el ‘programa de acción’ de sacar provecho. Para que se establezca el proceso de desensamblable de los productos en el estado de destinación, tiene que existir preferiblemente desde el estado de origenación, una intención clara, un propósito, unos valores y unas metodologías orientadas para lograrlo. Pero también, puede que dicha orientación del diseño para el desensamblable y ningún propósito o valor para lograrlo, se hicieran explícitos desde la origenación, pero ello no es impedimento para que ‘partes interesadas’ o actores humanos que actúan en el estado de destinación, no se propongan lograr el desensamblable con un nuevo ‘programa de acción’ de provecho. Lo último implica precisamente que independiente de la imprevisibilidad en el DDP, los actores-red¹⁸ en destinación, logren desarrollar una cualidad emergente del producto, que se denominará ‘adaptabilidad’, que se explicará más adelante en otra sesión. Ese potencial socio-tecnológico de adaptar los productos ha sido una oportunidad para que muchos entornos de destinación, en vez de considerar los productos obsoletos, sean re-designados, participando con la capacidad creativa y de gestión de las ‘partes interesadas’ del estado de destinación, de tal manera que se puedan desarrollar nuevas configuraciones de productos. Como se aprecia en la

¹⁸ Es importante mantener presente que los ‘actores-red’ son humanos y no humanos, a diferencia de cuando se mencionan las ‘partes interesadas’ que se refiere sólo a personas.

figura 6.19, la adaptabilidad forma un marco de referencia que coincide con la fase de desuso y soporte, cubriendo una serie de procesos característicos, que están orientados como ‘programa de acción’ hacia extensión o la generación de nuevos ciclos de provecho. La dinámica entre actores-red establece el potencial de re-designar en diferentes direcciones, dependiendo de qué características y condiciones tiene el producto para seguir ofreciendo provecho.

Así por ejemplo, si la orientación es hacia el proceso de reparar / re-ensamblar, estamos en un nivel en donde alguna de las partes del producto puede ser tomada para reparar productos que, por su tiempo de circulación en el mercado, ya no estén cubiertos por la logística del servicio de repuestos. Dependiendo de los entornos de destinación, los circuitos de productos de segunda mano re-ensamblados pueden ser de un gran potencial para enfrentar las oportunidades de utilización con mayor responsabilidad social y equidad. Los procesos de reparación y re-ensamble para prolongar la existencia y el provecho de muchos componentes e insumos, son una estrategia que ha estado presente desde hace mucho tiempo, solo que no estructurada como se hace en la presente propuesta.

Si la dinámica de los actores-red lleva a que la re-designación, sea el proceso de reformar / reacondicionar, la intervención implica mantener hasta cierto punto las características del producto, pero logrando que en el cambio de módulos o componentes, se obtengan mejoras en el desempeño o actualizaciones tecnológicas que prolonguen significativamente su ciclo de provecho. Como ejemplos muy comunes de procesos de reformar / reacondicionar están las actualizaciones de programas informáticos y aplicativos computacionales, que en vez de hacer cambios completos, generan paquetes o versiones de actualización. En el caso del hardware, muchos computadores con arquitectura modular, permiten desmontar y montar tarjetas con mayores prestaciones o desempeño i.e. más capacidad de memoria, mayor rapidez de procesamiento de imágenes, etc. Siempre y cuando la arquitectura del producto no sea cerrada, se dará la posibilidad de reacondicionar con las últimas actualizaciones. En Colombia, un ejemplo muy particular de adaptabilidad orientada a reformar / reacondicionar es el uso del Jeep Willys, diseñado para la segunda guerra mundial y que luego de terminada dicha guerra, fueron importados en Colombia para el entorno de la zona cafetera, para ser reacondicionados como elementos de transporte de carga de bultos de café y racimos de plátano. Como se aprecia en la figura 6.18, estos vehículos todo terreno, establecen la escala y capacidad de carga de una pequeña finca y aún siguen siendo utilizados en dicha zona.



Figura 6.18 Jeep Willys (YIPAOS) reacondicionado como vehículo de carga en la zona cafetera Colombia¹⁹

De otra parte, la orientación de la re-designación puede ser el proceso de recuperación, que también es conocido como desguace o canibalización y en donde los actores-red buscan rescatar el máximo provecho de los valores agregados, a lo largo del ciclo de las partes de un producto. El proceso de desguace de un pequeño número de materiales, partes reusables y módulos de productos usados, es muy importante porque lo recuperado pueden entrar en el circuito de otros procesos como la reparación, el reacondicionamiento y la re-manufactura. Los centros de acopio, formales e informales, tiene complejos procesos de recuperación, con grupos de valorización muy especializados, como en el caso de electrorecycling en Manresa²⁰, donde los productos se agrupan en 10 categorías: grandes electrodomésticos, pequeños electrodomésticos, equipos de informática y telecomunicaciones, aparatos eléctricos de consumo, aparatos de alumbrado, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes y equipos deportivos y de tiempo libre, aparatos médicos, equipos de vigilancia / control y máquinas expendedoras.

Por otra parte, si la re-designación se dirige hacia el proceso de re-manufactura, es claro que los actores-red se orientan bajo el propósito de potenciar aún por más tiempo las funciones y la utilidad de muchos de los componentes de los productos usados, llevándolos a una calidad estándar comparable a la de uno nuevo. Generalmente implica una renovación de partes modulares y componentes, tantos como sean necesarios, para lograr dicho estándar de calidad, reemplazando lo dañado o lo desactualizado. En ese sentido, es un proceso directamente relacionado con los procesos de recuperar y reparar / re-ensamblar. Existen compañías dedicadas a re-manufactura de partes, con cumplimientos de calidad, en sectores tan exigentes como la industria automotriz, por poner un ejemplo, la compañía multinacional Japonesa URW²¹, que entre la cartera de productos y partes se encuentran: cremalleras manuales e hidráulicas, juntas universales, bombas eléctricas e hidráulicas, cajas de dirección automotriz y ejes de transmisión, entre otros, todos ellos con exigencias de calidad homologables a partes totalmente nuevas.

Por último, la re-designación puede derivar hacia el proceso de reducir / reciclar, cuando los actores-red no tienen manera de mantener las funciones y utilidad de los productos, módulos o componentes, pero

¹⁹ http://www.cartavariada.com/fiesta-desfile-y-concurso-del-yipao-en-el-triangulo-del-cafe-colombiano#.VeZfo_I_Oko

²⁰ <http://www.electrorecycling.net/es>

²¹ <http://www.urw.nl/es/productos/>

pueden por lo menos a nivel de materiales, dar nuevos valores agregados. El proceso de reciclar busca reusar los materiales más valiosos y escasos como materia prima, por medio de una separación controlada, para que se conviertan en materia prima de productos en nuevos ciclos. Por su parte, el proceso de reducción se puede tomar como sinónimo, pero generalmente se asocia a la posibilidad de cambiar y homogenizar el tamaño del material triturándolo, tanto para reducir el volumen para su manejo, como para aumentar la calidad de su uso como material reciclado. Algunos ejemplos empresariales son los siguientes: la compañía strategic materials²² de Estados Unidos, que ha centrado su interés en reciclar grandes volúmenes de vidrio y plástico personalizado según los requerimientos del cliente, llegando a reciclar más de dos millones de toneladas por año; KW plastics²³, que ofrecen una alta calidad de sus materias primas recicladas, que pueden ser usadas con un 100% de concentraciones en diversos productos; y finalmente en Cataluña, la empresa Fisuber²⁴ que desde hace más de 25 años se dedica a reciclar diversos plásticos, materiales no férricos y otros materiales como ropa.

Los cinco procesos mencionados arriba y que hacen parte de la fase de desuso y soporte, tienen como común denominador el que los actores-red orientan sus ‘programas de acción’ hacia una revaloración ya sea para obtener un ciclo extendido o para retroalimentar un nuevo ciclo. Adicionalmente como se ilustra en la figura 6.19, la cualidad de la adaptabilidad que cubre los cinco procesos descritos, también es una oportunidad relacionada con el ‘desarrollo sostenible’ y la ecoeficiencia, que se ha encaminado a la reducción de impactos y a la racionalización de consumos de materias primas.

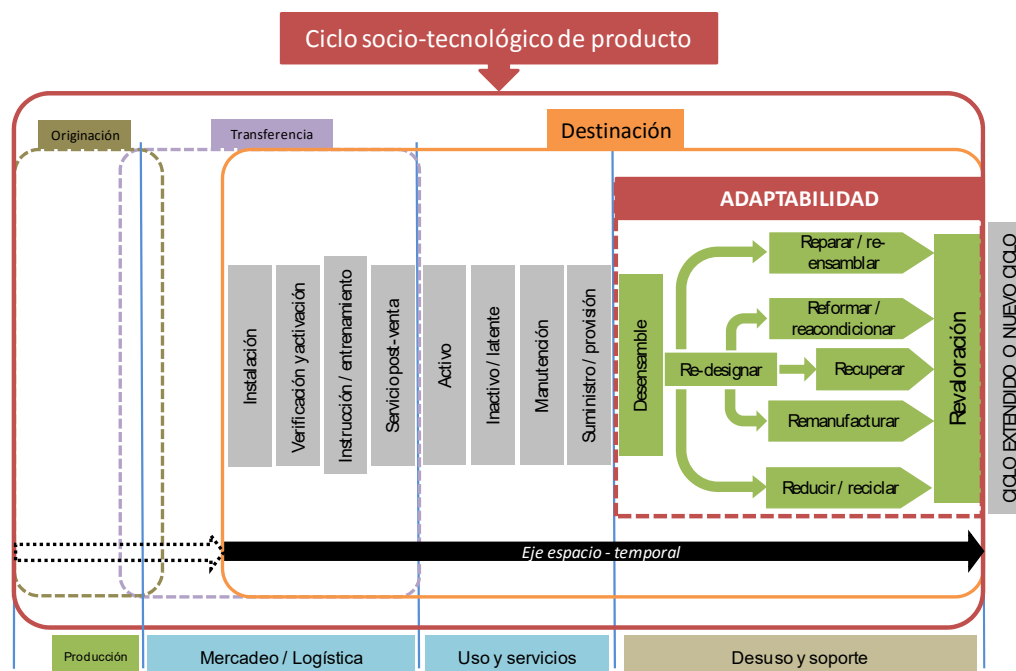


Figura 6.19 Grupo de procesos/pasos que hacen parte del desensamble a ciclo extendido o nuevos ciclos

²² <http://www.strategicmaterials.com/>

²³ <http://www.kwplastics.com/>

²⁴ <http://www.reciclaje-plastico.com/>

La tercera alternativa desde la perspectiva socio-tecnológica parte de unos valores éticos que incluso pueden ser vistos como opuestos a la economía financiera, al asumir que los productos no contaminen, los recursos no se agoten y, más aún, se produzca un proceso de metabolismo en dos vías, de manera que se preserve siempre el capital natural. Para que este ‘programa de acción’ de metabolismo industrial (Ayres, 1998) o sistemas metabólicos (M. Braungart et al., 2007) se alcance, es necesario que los actores-red tengan incorporada la idea que el único valor real son los recursos de la tierra, es decir, el capital natural representado en materiales y energías disponibles (Mauerhofer, 2008), mientras que el valor monetario debe ser comprendido simplemente como un equivalente relativo y muchas veces falso. Las ‘partes interesadas’ y los actores-red pueden orientarse a obtener o un metabolismo biológico o un metabolismo tecnológico (McDonough & Braungart, 2010), pero en ningún caso, considerarán los productos en obsolescencia. De acuerdo con lo anterior, los actores-red tendrán con su ‘programa de acción’ total empatía con los postulados de la ecología industrial que desarrollan los conceptos de biósfera y tecnosfera (Ayres, 2004; Debref, 2012; Van der Voet, Huele, & Stevers, 2001; Vezzoli & Sciama, 2006). Así por un lado, se puede asumir el proceso de metabolismo biológico como una guía de las ‘partes interesadas’ en el DDP, orienta el uso de materias primas como la madera sin tratamientos o acabados tóxicos, las fibras naturales, el papel, el cartón y sus derivados o los biomateriales, de manera que puedan bio-degradarse y convertirse en nutrientes biológicos que pasan a integrarse en la biósfera o los ciclos biogeoquímicos naturales. Por otro lado, se puede dirigir hacia el proceso de metabolismo tecnológico, en donde las ‘partes interesadas’ en el DDP sean conscientes que las materias primas no biológicas que se utilizan pueden ser recicladas como por ejemplo el vidrio, los metales y algunos plásticos no termoestables o compuestos, de tal suerte que puedan reutilizarse, manteniendo o incluso, mejorando sus propiedades, para transformarse en nutrientes tecnológicos que pasan a conformar la tecnosfera o a nuevos ciclos antrópicos. De acuerdo con lo anterior y siguiendo los lineamientos de la cuna a la cuna (McDonough & Braungart, 2010), las ‘partes interesadas’ en el estado de destinación y concretamente en la fase de desuso y soporte, podrán desarrollar un plan de gestión de nutrientes biológicos y tecnológicos, para no ser vistos ni valorados como residuos, sino asegurar que entrarán a ciclos naturales o antrópicos, sin generar impactos negativos. Sumado a lo anterior, si desde las fases de visión y concepción las ‘partes interesadas’ se ocuparon de usar s renovables, usar el agua en ciclos racionados y limpios y tener certidumbre de que todos los procesos por los que pasó el producto son seguros y saludables, se estará actuando tanto con responsabilidad social, como con responsabilidad ambiental. Como se observa en la figura 6.20, el proceso de metabolismo, permite hacer una distinción con la alternativa descrita anteriormente, en el sentido de que al hablar de nutrientes, no cabe la posibilidad de contaminar los ciclos naturales, ni de agotar las fuentes de recursos, sino de alimentar respectivamente la biósfera y la tecnósfera. Un ejemplo de productos que al final de su utilidad pueden ser manejados como nutrientes a la biósfera y a la tecnosfera están:

1. Como nutrientes a la biósfera, está la iniciativa de ‘green economy coalition’ que desarrolló ‘the pee poo project’²⁵ que busca enfrentar los problemas de salud pública y ambiental, derivados de que hay 2.6 billones de personas que no tienen acceso básico sanitario, y construir baños implica la construcción de un gran sistema de infraestructura de manejo de desechos, con afectación a aguas residuales que deben ser tratadas. La iniciativa ha desarrollado una solución de una bolsa higiénica y biodegradable para recoger orina y heces fecales que puede ser cerrada y luego enterrada. La bolsa contiene una capa de cristales de urea, que transforma los desechos en abono, destruyendo los componentes patógenos que producen enfermedades. Este proyecto se ha implementado en algunos barrios marginales en Kenia, usando el mínimo material y asegurando la máxima higiene.
2. Como nutrientes a la tecnósfera, están los desarrollos de productos de la compañía ‘Shaw contract group’²⁶ que produce tapetes con materiales 100% reciclables y posee un programa que declara que sus insumos están fuera de la lista roja de materiales, químicos o elementos conocidos, que poseen serios riesgos a la salud humana y a los ecosistemas. Por ejemplo, han logrado que sus fibras de materia prima sean totalmente libres de PVC y consecuentemente obtuvieron la declaración de uso de materiales saludables, que es el primer paso en la certificación. Adicionalmente han recibido la certificación cradle to cradle (EcoWorx) y en su declaración de reciclaje, indican que ellos reciclan sus alfombras, sobre la base de un programa de logística inversa y una cartera de alternativas de reciclaje que sustenta su responsabilidad ambiental.

Tanto el metabolismo biológico como el metabolismo tecnológico, que hacen parte de la tercera alternativa de procesos en la fase de desuso y soporte, tienen como principio orientador que los actores-red asuman su ‘programa de acción’ hacia una regeneración o restauración del capital natural. En este caso, las ‘partes interesadas’ se identifican con la noción de sostenibilidad y de ecoefectividad, orientada ya no a la reducción de impactos negativos, sino a su eliminación y más aún, a la concepción y producción de bienes y servicios que incorporen beneficio ambiental. De esta manera, con los procesos anteriormente descritos, se puede llegar de nuevo a la cuna, manteniendo la calidad y la productividad de los materiales concebidos como nutrientes, a través de subsecuentes ciclos (McDonough & Braungart, 2010).

²⁵ <http://www.greeneconomycoalition.org/node/29>

²⁶ <http://www.shawcontractgroup.com/>

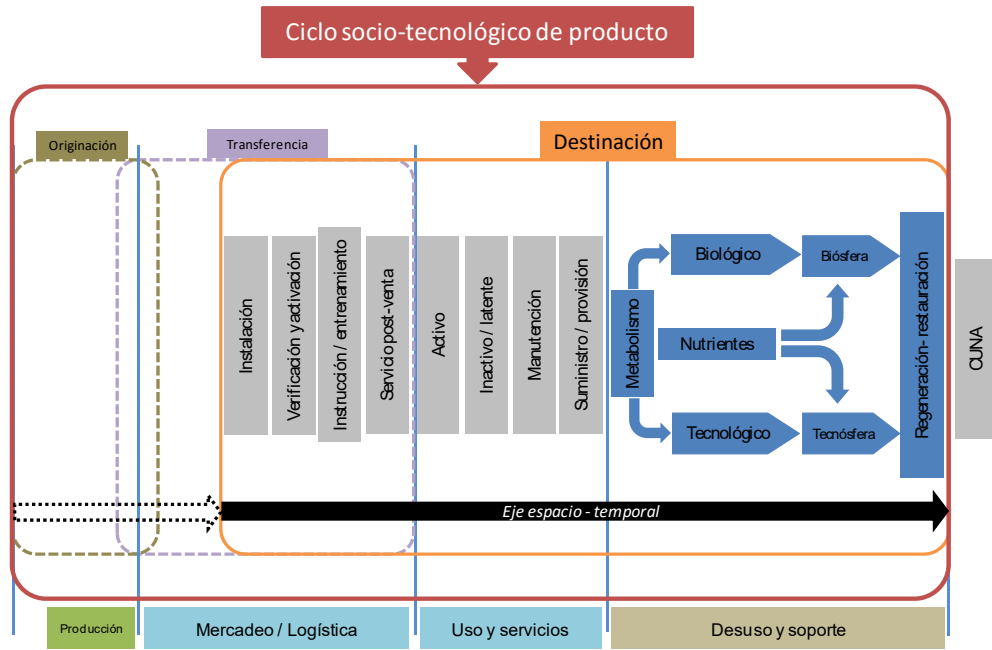


Figura 6.20 Grupo de procesos/pasos que hacen parte del metabolismo orientado a la regeneración y a la cuna

Ya descritas las partes constitutivas de los ciclos socio-tecnológicos de producto, que se resumen en ciclos, estados, fases/etapas, y procesos/fases, se desarrollará el último apartado describiendo los fundamentos y cualidades de los Cs-tP.

6.5 Fundamentos y cualidades en los Cs-tP

Los fundamentos de los Cs-tP se basan tanto en los postulados y principios de la ergoecología, como de la ergonomía verde (green ergonomics) que describen las implicaciones por un lado, del desarrollo de productos que no contemplaron de ninguna forma el desarrollo sostenible o sostenibilidad y por otro lado, el desarrollo de productos guiados bajo la premisa del desarrollo sostenible o a la sostenibilidad. El modelo dominante de DDP desde la revolución industrial y prácticamente hasta finales de la década de los años 90 era el estímulo y crecimiento del consumo, asumiendo al mismo tiempo tanto el acceso ilimitado de recursos y energía, como la falta de responsabilidad social y ambiental por los impactos generados por desechos de procesos y productos industriales. La visión dominante desde la economía financiera fue asumir que el desarrollo y bienestar humano eran un derivado, entre otros, de la mayor cantidad de productos y bienes de consumo adquiridos por una sociedad. Durante todos esos años, no se pensó siquiera en desarrollo sostenible, por tanto, los productos que salían al mercado se proyectaron sin la premisa de la ecoeficiencia. Aun así, muchos productos antes de los años 70, eran hechos con parámetros de calidad y mantenibilidad tan altos, que su tiempo de provecho superaba cualquier expectativa, hasta el punto que se podía pensar en heredar de una generación a otra. Pero al final, como se expresa en la gráfica 6.21, los productos que no eran proyectados desde la visión pensando en la ecoeficiencia, terminaban después de su utilidad, como desecho y finalmente, iban a parar a la tumba,

representada en los vertederos o zonas de la tierra, los mares y los ríos cargados con dichos productos como desperdicios y contaminantes. Ahora bien, a principios de los 90 el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, fundada por Stephan Schmidheiny (WBCSD en inglés), quien acuñó el concepto de ecoeficiencia (Schmidheiny, 1992) y que en esencia busca hacer más con menos, es decir, más productos o valor de servicios, pero con menos desperdicios, menos uso de recursos y menos contaminantes tóxicos. Al integrar desde la década de los noventa esta perspectiva, las ‘partes interesadas’ lo pudieron incorporar en el DDP, pensando en el desarrollo sostenible y generando paralelamente metodologías como la LCA, para evaluar impactos y reducir consumos. Hoy día la ecoeficiencia es un concepto reconocido y maduro, tanto para los investigadores como para los desarrolladores, lo que ha permitido en algunos casos tanto la prolongación del ciclo de provecho de productos, como el circuito de reparar, reacondicionar, re-manufacturar, así como la posibilidad de reciclar y recuperar materias primas, e incluso, aprovechar mejor la energía. Por lo anterior, la ecoeficiencia ha permitido la prolongación del ciclo de provecho y más aún, la generación de nuevos ciclos de provecho de partes, insumos y materiales, lo que indudablemente hace necesario dicho concepto como fundamento de la responsabilidad ambiental, pero indudablemente no es suficiente. Los valores relacionados en esta perspectiva siguen siendo el crecimiento financiero como condición suprema, por otro lado, la eficiencia en el ahorro de materiales y energía ha llevado a que se refuerce la paradoja de Jevons o el efecto rebote. Esto se puede enunciar brevemente como: a medida que se hace eficiente el uso de un recurso, inmediatamente se logra tener menos costos financieros tanto para los productores como para los usuarios finales, ampliando por un lado, el número de personas con capacidad monetaria para usar dicho recurso y por otro lado, intensificando el uso de dicho recurso por cada persona, lo que finalmente deriva en un incremento desmesurado del consumo total del recurso.

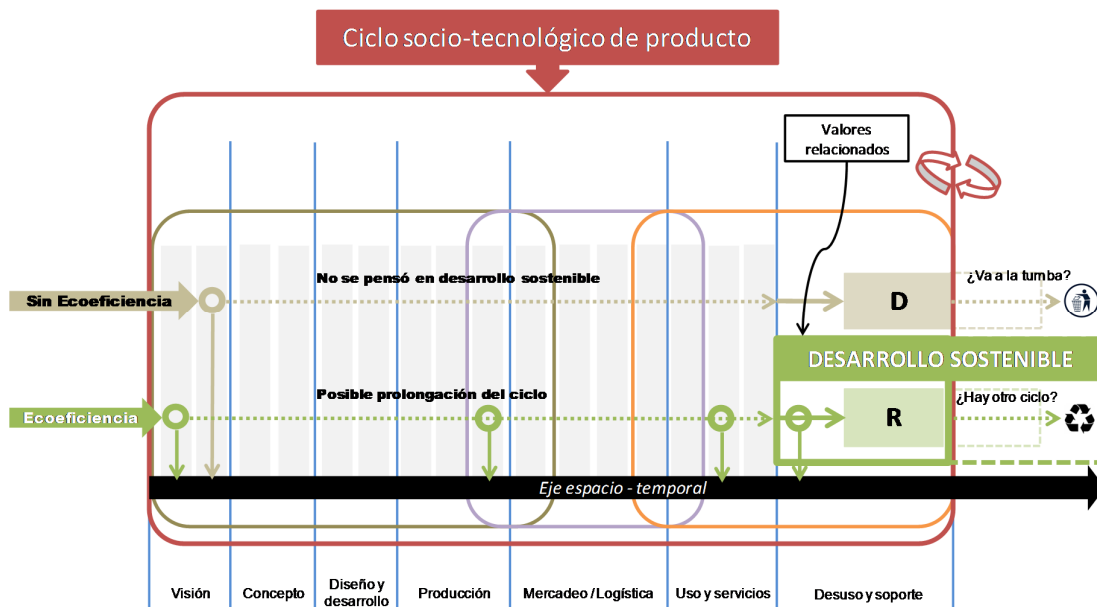


Figura 6.21 Enfoques del DDP sin ecoeficiencia y con ecoeficiencia orientada al desarrollo sostenible

La Ergoecología y la Ergonomía Verde asumen la ecoeficiencia desde una perspectiva sistémica, sin desconocer la tradicional definición de ecoeficiencia de hacer más con menos, reducir consumos y mitigar contaminación. Para el modelo de Cs-tP la ecoeficiencia tradicional se asume como un proceso necesario pero transitorio, para pasar del desarrollo sostenible ocupado de la estabilidad financiera, hacia la sostenibilidad, ocupada de la preservación del capital natural como condición básica (Mauerhofer, 2008). Para la Ergoecología, la ecoeficiencia es la gestión balanceada y racional de los recursos y capitales natural, social y económico entre los sistemas bióticos y antrópicos. Para obtener dicho desempeño balanceado propone si es necesario, un uso discontinuo y alternado de recursos, dependiendo de su disponibilidad y sobre todo, de sus posibilidades de renovación. A diferencia de pensar en un crecimiento centrado en lo financiero, la ecoeficiencia sistémica plantea un equilibrio entre sistemas naturales y sistemas socio-tecnológicos, que privilegie la conservación, la resiliencia y la equidad de todas las especies, incluida por supuesto la humana. Complementario a lo anterior y como se puede ver en la figura 6.22, la ecoefectividad es definida por (M. Braungart et al., 2007) como la capacidad de generar productos cuyos materiales y componentes al final se transformen en nutrientes en vez de desechos o contaminantes y con ello generar bucles de retroalimentación o flujos cerrados de materiales, como ya se ha mencionado, hacia un metabolismo biológico o hacia un metabolismo tecnológico. Todo lo anterior, busca preservar o restaurar el capital natural y generar ciclos que vayan de la cuna a la cuna en vez de la cuna a la tumba. Los valores relacionados con estos dos enfoques –la ecoefectividad y la ecoeficiencia sistémica– ya no se sustentan en el beneficio económico como la principal meta a alcanzar, sino la sostenibilidad ambiental a partir de la preservación del capital real, que son los recursos de la tierra, pero tampoco se oponen al beneficio económico, solo que lo condicionan a la disponibilidad y el mantenimiento del capital natural.

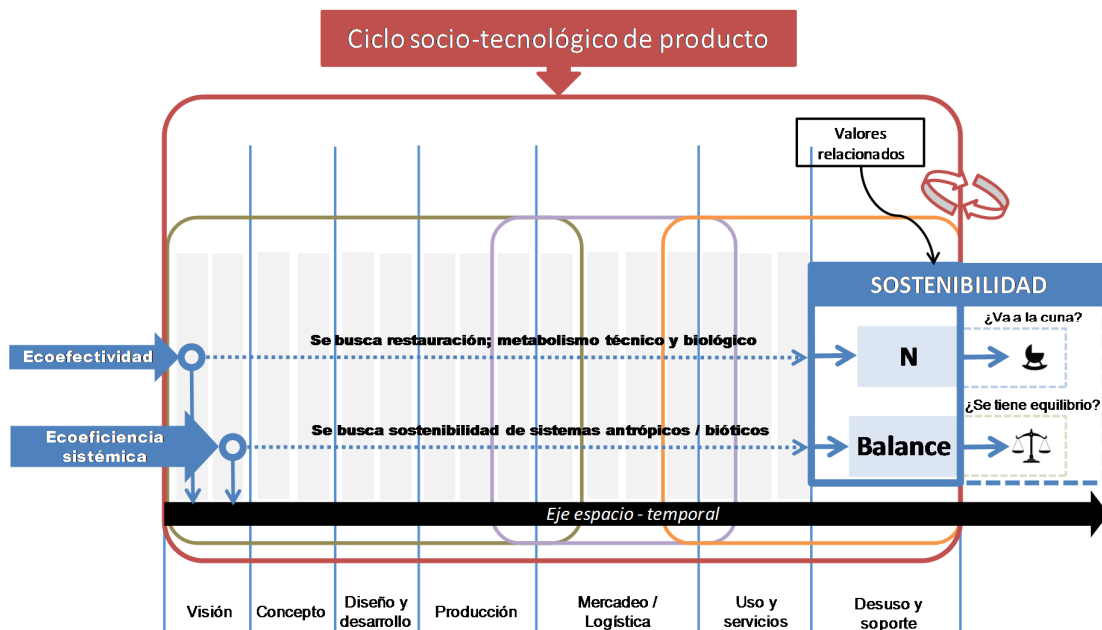


Figura 6.22 Enfoques del DDP con ecoeficiencia sistémica y la ecoefectividad orientada a la sostenibilidad

Otro concepto aportado por la Ergoecología y asumido por la Ergonomía Verde es el de ecoproductividad. Dicho concepto fue originalmente acuñado en el contexto de la ecología desde Royston (1978) hasta Moser (1995) que lo define como la habilidad de la naturaleza para producir biomasa. La extensión y ajuste del concepto de ecoproductividad desde el marco de la Ergoecología, es la capacidad de desarrollo y fabricación de productos y procesos ambientalmente amigables, a partir del uso de materiales, energía e información sostenibles a largo plazo (entre varias generaciones de seres humanos). La ecoproductividad por tanto, promueve el uso de energías y materiales renovables y se orienta en el tiempo a lograr ciclos regenerativos a largo plazo. Así por ejemplo, si se piensa en fabricar chapas o superficies derivadas de material vegetal, el tiempo de generación de biomasa de la guadua y el bambú es muy rápida, pues ya en medio año es maderable, por tanto, es muy ecoproductiva por su rápida regeneración. En cambio, el Roble requiere veinte años para ser maderable o el Olmo –ya en peligro de extinción–, necesita quince años como mínimo para ser maderable, pues puede alcanzar los 300 años, o el Nogal que requiere de veinte años para poder obtener la primera cosecha de nueces, como servicio ecosistémico complementario a lo maderable. Ahora bien, como se representa en la figura 6.23, es desde la fase de visión que uno de los objetivos en el DDP puede ser obtener la ecoproductividad, es decir, la habilidad para mantener un balance entre sistemas naturales y socio-tecnológicos, que contribuya durante sus relaciones dinámicas, a lograr las cualidades de los productos–que se explicarán más adelante–, sin derrochar la energía, los recursos y la información o generar impactos negativos en el ambiente. Para obtener un equilibrio entre dichos sistemas se requiere, por un lado, velar por la adaptación y el balance entre los niveles de salida de los sistemas naturales, que al mismo tiempo son la entrada a los sistemas socio-tecnológicos de DDP (energía, materiales e información incorporada en los productos), por otro lado, es necesario ver las salidas de los sistemas socio-tecnológicos, que a su vez pueden ser las entradas a los sistemas naturales, en términos de pérdidas no incorporadas en el producto (energía disipada, desperdicios de materiales e información no utilizada) o incluso la materialidad y energía incorporada en el producto cuando termina su ciclo de provecho. En otras palabras, es el resultado de que los sistemas antrópicos y biotrópicos no se queden sin recursos y adicionalmente se estimulen los ciclos regenerativos. Se requiere medir los usos a lo largo de todo el Cs-tP de energía, materiales e información para saber si hay equilibrios sistémicos y ecoproductividad, lo que, de conseguirse, consecuentemente permitirá alcanzar la sostenibilidad. Como en el caso anterior, los valores relacionados con la ecoproductividad y el balance inter-sistémico de energía, materiales e información, pretenden preservar el capital natural o real, representado en los recursos disponibles en la Tierra. De esta forma, el bienestar como especie humana no depende de la acumulación del capital financiero y del capital material, sino de la utilización únicamente de los recursos necesarios para satisfacer las necesidades fundamentales para subsistir, lo cual depende del respeto, la conservación y el bienestar asumido por el resto de especies planetarias (Mosquin & Rowe, 2004). Los sistemas naturales no toman más de lo que necesitan, y cuando lo hacen, es este mismo desbalance con respecto al resto del sistema que los lleva a la extinción.

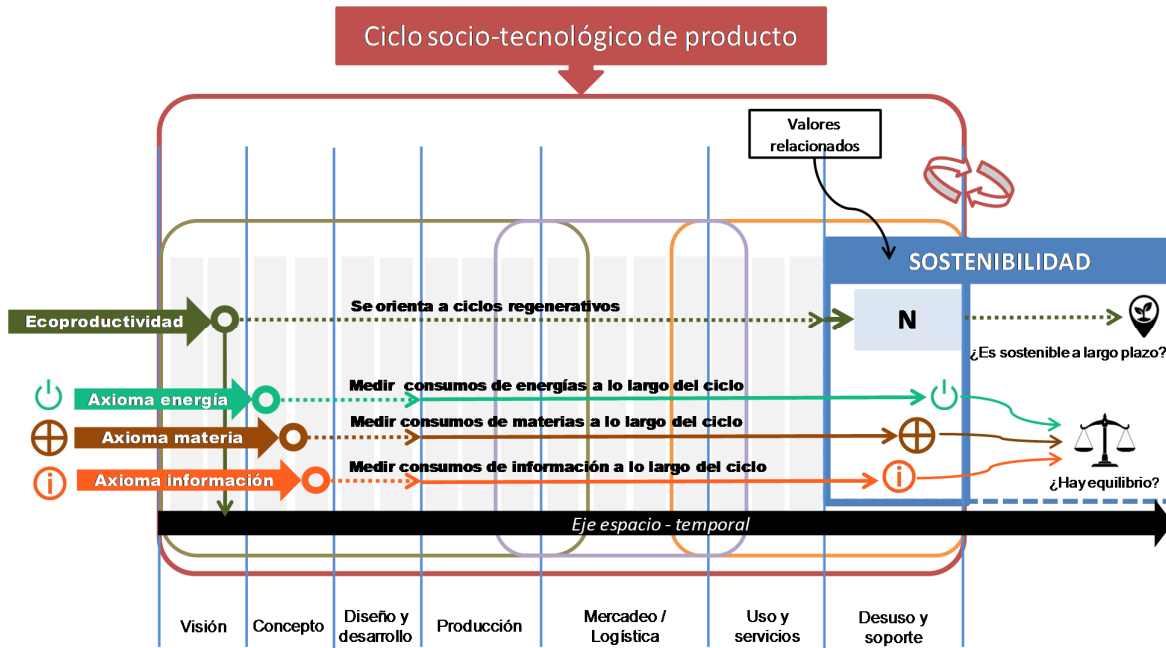


Figura 6.23 Enfoque de DDP con ecoproductividad y axiomas de energía, materia e información hacia sostenibilidad

Los ciclos socio-tecnológicos de los productos (Cs-tP) dan cuenta de una serie de cualidades básicas de los productos, que en su conjunto se agrupan en cualidades derivadas más globales.

A continuación se describirá el primer grupo de conceptos tanto como cualidades básicas (adjetivos) ‘funcionalidad’, ‘utilidad’ y ‘usabilidad’, como a manera de acciones (verbos) ‘funcionar’, ‘utilizar’ y ‘usar’, que se pueden llevar a cabo entre las partes interesadas y los productos. Estas tres cualidades básicas, consecuentemente constituyen una de las cualidades derivadas llamada ‘aplicabilidad’.

6.5.1 Funcionalidad

La ‘funcionalidad’ se puede empezar a comprender a la luz de tres definiciones de diccionario como: a) “el conjunto de características que hace que algo sea práctico y utilitario”; b) la cualidad de funcional, entendiendo funcional como “todo aquello en cuyo diseño u organización se ha atendido, sobre todo, a la facilidad, utilidad y comodidad de su empleo”; o como la cualidad para que algo este “eficazmente adecuado a sus fines” (Rae, 2001). Consecuente con lo anterior, en la ingeniería y diseño de productos se comprende como la capacidad de un objeto para actuar y cumplir con una tarea o un propósito preestablecido. Para la ingeniería y el diseño, la funcionalidad es la principal meta tecnológica a alcanzar, pues si no funciona o deja de funcionar un objeto, ni para el mercado ni para los usuarios tendrá valor alguno, por lo tanto, desde antes de la formalización de la ingeniería y luego en la llamada revolución industrial y hasta nuestros días, ha sido la cualidad básica, necesaria y que nunca puede faltar en un producto. La funcionalidad siempre ha estado en el centro de la ingeniería y el diseño y consecuentemente, es la cualidad mínima de base para poder hablar de que un producto cumple con unas

especificaciones funcionales y un propósito concreto (Stark, 2005). En la literatura especializada se encuentra abundante investigación sobre DDP, cuyo eje principal, explícita o implícitamente, es la función y el desempeño de los productos (Jianjun, Baiyang, Yifeng, Jinxiang, & Chenggang, 2008), o la predicción a lo largo de todo el ciclo para asegurar la funcionalidad junto con el precio, las estrategias de presentación y promoción, entre las principales características del producto (Eger & Drukker, 2010) y (Wiktorsson, 2012) o como grupos de componentes con lógicas funcionales, que permiten la construcción de arquitectura modular y que influyen en la manufacturabilidad (Chung, Kremer, & Wysk, 2014). Sin embargo, desde la perspectiva socio-tecnológica, si bien se reconoce que es necesaria y nunca puede faltar, no es suficiente, por lo que se deben incluir otras cualidades con énfasis en la dimensión social, para establecer una simetría, o lo que en sociología de la tecnología se conoce como ‘tecno-estructuras’ (Rammert, 1997). La funcionalidad es un adjetivo aplicable a los objetos para indicar que han sido diseñados para cumplir eficaz y adecuadamente el propósito que le da sentido a su existencia. Por ejemplo, la funcionalidad de un lápiz convencional está dada por la eficacia para trazar rasgos, líneas o formas sobre superficies con textura que retienen las partículas de grafito como el papel. Un lápiz de barra de grafito convencional no tendrá funcionalidad si no tiene punta o si se ha partido y no sobresale el grafito de su cubierta (generalmente de madera); tampoco tendrá funcionalidad sobre superficies vítreas, lisas o grasosas que no retengan las partículas de grafito. Ahora bien, si lo vemos como verbo, es decir, como acciones potenciales, un producto está en la capacidad de *funcionar*, si sus partes o componentes operan como un todo en el tiempo, sin fallar en el cumplimiento de los fines para los cuales se diseñó y se fabricó. Así por ejemplo, un lápiz está en la capacidad de funcionar para trazar líneas o rasgos, sobre una textura adecuada para recibir el grafito, siempre y cuando mantenga la punta de la barra de grafito. Adicionalmente, el porcentaje de existencia funcional se debe estimar asociado a que no existan daños, funcionamientos deficientes o presencia de fallos (fiabilidad). Por último, tanto el respaldo (i.e. logística de mantenimiento), como la vigencia tecnológica son aspectos que permiten continuar con la funcionalidad.

6.5.2 Utilidad

La ‘utilidad’ desde su definición de diccionario se comprende como: a) “la capacidad que tiene algo para servir y ser aprovechada con un propósito específico”; b) “la cualidad de útil”, esto es “el provecho, conveniencia, interés o fruto que se saca de algo” (Rae, 2001). Desde el enfoque utilitarista, es “la propiedad de un objeto para ofrecer beneficios, ventajas o satisfacciones a la sociedad”. De acuerdo con lo anterior, la utilidad de un producto se considera como un bien social o un bien común, porque conlleva una satisfacción de algo. En este sentido, las definiciones acá adoptadas no tienen nada que ver con la que se maneja en la economía financiera, que asume la utilidad, como la ganancia económica que tiene una empresa, derivada de una transacción comercial. En el modelo de Cs-tP se propone la utilidad como aspecto complementario junto con la funcionalidad, en la ingeniería y diseño de productos, por lo que se comprende como una cualidad socio-tecnológica que demuestra cómo un producto puede servir o puede ser aprovechado para algo, en un contexto sociocultural específico. Para buscar la simetría socio-

tecnológica, la noción de utilidad puede ser asociada al hecho de que las tecnologías son hechos sociales y temas de interés sociológico, en la medida en que son el resultado de las dinámicas sociales tanto en el presente como en el futuro, de manera que los productos pueden ser comprendidos como tecno-estructuras, es decir, como realidades construidas socialmente y no solo medios materiales separados de la sociedad y sus prácticas (Rammert, 1997). De acuerdo con lo anterior desde una perspectiva socio-tecnológica, todas las ‘partes interesadas’ participan en la construcción y reproducción como un colectivo social, que a su vez se fundamenta en sus diversas competencias orientadas a acciones creativas. Incluso los gobiernos y sus políticas públicas, tienen un papel en la conformación de las tecnologías que los ciudadanos usan en los espacios públicos (Brown, 2001). Entonces, la utilidad es una dimensión socio-tecnológica que puede ser comprendida como un adjetivo que tanto la sociedad en sus prácticas, como los objetos en sus desempeños le otorgan a los productos. Es el paso de una cosa inservible, que no es reconocida o aceptada socialmente, esto es, sin un fin determinado, a un objeto que es reconocido y mantiene una vigencia social, es decir que tiene el potencial de ser útil. El porcentaje de tiempo útil debe estar estimado por la vigencia social y tecnológica que respalda la subsistencia de un producto. Para seguir con el ejemplo, un lápiz puede tener utilidad como instrumento para comunicarse con lenguajes escritos y visuales. Ahora bien, si lo comprendemos desde la perspectiva de acciones potenciales, es decir como verbo, un producto tiene la posibilidad de ser útil, en la medida que la sociedad reconozca un valor más allá de lo funcional, pues de hecho, muchos productos con la totalidad de las cualidades funcionales, simplemente pasan a ser considerados como obsoletos, porque la sociedad no le confiere más ningún valor, esto es, no los van a *utilizar*. El final utilitario también depende del respaldo comercial y la logística de servicios post-venta, incluido por ejemplo el servicio de repuestos, insumos y mantenimiento. De acuerdo con lo anterior, un lápiz puede mantener su funcionalidad, pero no tendrá utilidad si la sociedad ha terminado por relegarlo, al empezar a utilizar para escribir o dibujar, dispositivos electrónicos como los “tablets” o móviles con sus respectivos aplicativos. En este sentido, la utilidad del lápiz (servir para algo en concreto) dependerá ya no de su potencial funcional, sino del valor utilitario –que es dinámico y cambiante– que la sociedad le confiera o no. Un lápiz perderá su utilidad si el contexto sociocultural se ha fortalecido solo al registro de escritura o dibujos digitales, o por el uso de otros dispositivos de registro como obturación de teclas o de ratones.

6.5.3 Usabilidad

La ‘usabilidad’ no es un concepto que se encuentra en las definiciones lingüísticas de diccionario, sin embargo, es un neologismo derivado del anglicismo *usability*, aplicado como noción técnica en el campo tanto de la informática como del diseño y desarrollo de productos. La usabilidad se puede entender como:

- a) “la facilidad con que una persona puede usar una herramienta, aplicativo informático u objeto determinado, con el fin de alcanzar un objetivo específico; b) es la capacidad que posee un producto para ser amigable y fácil de usar, es la simplicidad con la que un producto se deja manipular por las personas; c) de acuerdo con la norma ISO/IEC 9241 “usabilidad es la eficacia, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso

específico”. En línea con lo anterior, en la ingeniería y el diseño de productos la usabilidad es una cualidad básica que se ocupa de que un producto sea exitoso para las personas y los colectivos que se identifican con determinado uso. En la ingeniería y el diseño, la incorporación de la usabilidad ha permitido que el diseño pase de estar centrado en la tecnología a estar centrado en los usuarios, por lo tanto, es otra cualidad básica complementaria tanto a la funcionalidad como a la utilidad. Desde el punto de vista de las tendencias en EFH, la usabilidad es una de las siete tendencias identificadas y ha estado aplicándose para el DDP desde mediados de la década de los 90, sin embargo no de forma explícita en la gestión de ciclos de producto, por lo tanto en esta tesis, más que un enfoque metodológico o una tendencia, se reconoce como una cualidad básica, que debe ser necesariamente contemplada y no como algo optativo en los actuales productos. En la literatura especializada existen algunos estudios y aplicaciones del concepto de usabilidad en relación por ejemplo con la gestión de ciclos de costos (El-Diraby, 2006) o la relación entre eco-productos, planificación de ciclos de productos y el concepto adaptado de re-usabilidad (Kobayashi, 2005) o el desarrollo de ambientes de ingeniería integrados y en tiempo real (con tecnología ubicua), para mejorar la usabilidad de la gente que usa una gran y variada información de los productos en desarrollo colaborativo (J. Y. Lee, Choi, Kim, & Noh, 2011). Ahora bien, el carácter socio-tecnológico de la usabilidad está dado por la inseparabilidad de la dimensión funcional con la dimensión social del uso fácil y amigable, que responde a las investigaciones con los usuarios, para los usuarios y desde los usuarios (Ward, 2011) o incluso a una visión de la ‘usabilidad cultural’ que reconoce diferencias y dimensiones de las culturas en términos de supuestos básicos, normas y valores (Röbig, Didier, & Bruder, 2011). En síntesis, la usabilidad es un adjetivo que implica la capacidad de un producto para ser fácil de usar (usable) por los seres humanos. Es la cualidad que tienen los productos – servicios para que la interacción con los humanos sea amigable, es decir, que el empleo sea no solo funcional, útil y seguro, sino que los usuarios puedan lograr eficacia, eficiencia y satisfacción. En el caso del lápiz, éste cumple con la usabilidad si es fácil de usar por la mano, es decir, si el lápiz tiene una forma y unas dimensiones específicas que le permiten ser agarrado apropiadamente por la mano de un individuo en particular y por tanto, puede ser empleada no solo con éxito –eficaz y eficiente, sino sobre todo con satisfacción –cómoda y confortablemente. El usuario es quien directamente califica si determinado lápiz tiene la propiedad de usabilidad porque logra, más allá de su función, darle una sensación de comodidad, de estar a gusto cuando se utiliza. Desde la perspectiva de acciones potenciales que pueden realizarse con los objetos, esto es como verbo, un producto se puede *usar* en la medida en que el usuario se sienta satisfecho con su desempeño y encuentre que sus cualidades funcionales tienen un valor adicional que lo hacen más maniobrables o fáciles de manejar. El porcentaje de tiempo en uso está dado específicamente por la interacción humana, cuando el producto se aprovecha con un propósito específico. En consecuencia con lo anterior, un lápiz puede acumular cualidades, pues gozará de funcionalidad, pero adicionalmente tendrá usabilidad, en la medida en que el usuario pueda encontrar cómoda y compatible la forma y textura del lápiz, con la manera de realizar el agarre o la pinza tridigital, sin sentir fatiga o producir lesiones en sus dedos. Por el contrario, un lápiz no tendrá usabilidad si el

usuario no se siente satisfecho o peor aún, no puede desplegar sus destrezas de dibujar y escribir, por la forma y texturas carentes o incompatibles con las formas típicas de agarre de la mano.

6.5.4 Relaciones entre funcionalidad, utilidad y usabilidad

Los tres conceptos aquí enunciados, pueden ser vistos y comprendidos con similitudes y diferencias, veamos algunas de ellas.

Los verbos *utilizar* y *usar* un determinado producto se manejan como sinónimos, porque están íntimamente relacionados con la intencionalidad que le determinan la sociedad o le demandan los individuos, sin embargo, es importante establecer algunas distinciones.

Por una parte, cuando se habla de que un objeto se puede *utilizar* es porque, más allá de su valor funcional, en determinado contexto socio-cultural se asume que es apropiado para cumplir un propósito, se decide mantener vigente o no en el tiempo, y también se resuelve conservar o no el servicio (ser útil). Es decir, un objeto se va a *utilizar* o no, dependiendo de la respuesta a la pregunta ¿para qué sirve? Un lápiz, por ejemplo, sirve para dibujar, escribir o en general representar, registrar y transmitir ideas socialmente. De acuerdo con lo anterior, *utilizar* un lápiz implica que se empieza una interacción que consiste en trazar letras o dibujos sobre una superficie, con la intención de comunicar algo. *Utilizar* un lápiz es un acto humano que aprovecha que el grafito puede funcionar para trazar determinados rasgos sobre una superficie receptora, pero va más allá de lo funcional porque se dibuja o se escribe con determinados propósitos. Un lápiz se deja de *utilizar* cuando otro objeto puede cumplir con los mismos propósitos, pero se encuentran diferentes o novedosas prestaciones, tal es el caso de los porta-minas que tienden a ser más utilizados en ciertos contextos donde el trazo del dibujo requiere mantener el mismo calibre de línea y no depender de otro objeto (un taja lápiz) para mantener las cualidades funcionales de la punta. Ahora bien, un lápiz seguirá siendo útil en aquellos contextos donde el usuario requiere de las cualidades opuestas que ofrece un porta minas, como son variación del calibre e intensidad del trazo.

Por otra parte, cuando se habla de que un objeto se puede *usar* es porque más allá de su valor funcional y útil, determinado individuo al interactuar con dicho objeto tiene la comodidad, facilidad y satisfacción de emplearlo. El *usar* un producto es de la competencia del individuo quien lo califica y por tanto es quien responde a la pregunta ¿cómo o qué medios tiene el objeto para satisfacer las expectativas del usuario? Un lápiz por ejemplo puede funcionar y potencialmente utilizarse, pero se dará el uso continuo y satisfactorio solo si el usuario se siente cómodo al interactuar con el objeto. De acuerdo con lo anterior, *usar* un lápiz es un acto de un individuo específico en unas condiciones específicas de estudio o trabajo, entre otros y con una intención específica como comunicar pensamientos, explicar ideas o expresar sensaciones. Un lápiz es más cómodo de *usar* cuando deja libertad para establecer agarres diversos para escribir o para dibujar, en este último caso, un lápiz es más fácil de *usar* para controlar y regular la intensidad y grosor del trazo, como en el caso de los bocetos o dibujos artísticos, en donde la calidad de la

línea varía según la intención del artista. Y por último, un lápiz se deja de *usar* en un tamaño tal que la mano ya no tiene un adecuado agarre y se vuelve incómodo para manipular.

Las cualidades de *funcionalidad*, *utilidad*, *usabilidad*, así como las capacidades de *funcionar*, *utilizar* y *usar* pueden ser reconocidas a lo largo del Cs-tP. Son aspectos que se deben establecer desde la fase de ‘concepto’ del producto, sin embargo, es en el estado de ‘destinación’ hasta prácticamente la fase de ‘uso y servicios’, en donde se despliegan y activan completamente dichas cualidades y capacidades de acción del producto al interactuar con las ‘partes interesadas’. En la figura 6.24, la funcionalidad, utilidad y usabilidad son como los “signos vitales” que indican que un producto “está en provecho”. En la fase de ‘concepto’, se podrán formular, a grosso modo, preguntas que permitan asociar requerimientos y determinantes del producto, para cada uno de los ejes de las cualidades básicas como: ¿cuáles son los requerimientos para funcionar óptimamente?, ¿cuáles son los parámetros del contexto socio-cultural para que el producto sea considerado de utilidad?, ¿cuáles son los requerimientos para que el producto que se diseñará y desarrollará sea fácil de usar o produzca satisfacción al usuario cuando interactúe con él? En la fase de ‘diseño y desarrollo’ se tendrán en cuenta los criterios, requerimientos y determinantes asociadas a las preguntas mencionadas en la etapa anterior, pero también se desarrollarán modelos y prototipos para evaluar la funcionalidad, utilidad y usabilidad. En la fase de ‘producción’, una vez ensamblado y terminado el producto, se harán pruebas de calidad orientados sobre la función y el uso del producto. Durante la fase de ‘mercadeo y logística’ se podrá hacer una promoción con base en aquellas características funcionales, útiles y de uso, diferenciadoras y destacables del producto con respecto de otros similares, mencionando cómo es el funcionamiento óptimo, cómo se puede utilizar y qué tan fácil es de usar o qué ventajas de uso se están ofreciendo. Posteriormente, en la fase denominada como ‘uso y servicios’, es cuando realmente se confronta lo previsto en el proceso de diseño del producto (requerimientos de *funcionalidad*, *utilidad* y *usabilidad*), pues empieza la relación del usuario final con el producto. Por último, si las tres cualidades ya no se identifican en el producto, se considera que se llegó a la última fase denominada ‘desuso y soporte’, con tres escenarios posibles: a) en donde la obsolescencia hace desaparecer toda utilidad, b) en donde el desensamble permite re-designar la funcionalidad y la utilidad, a pesar de que se pierda la usabilidad, c) y en donde por un lado, el metabolismo biológico ya no asume ninguna de las tres cualidades, mientras que por otro lado, el metabolismo tecnológico podría eventualmente conservar ciertos aspectos de la funcionalidad o la utilidad de algunas partes o componentes del producto.

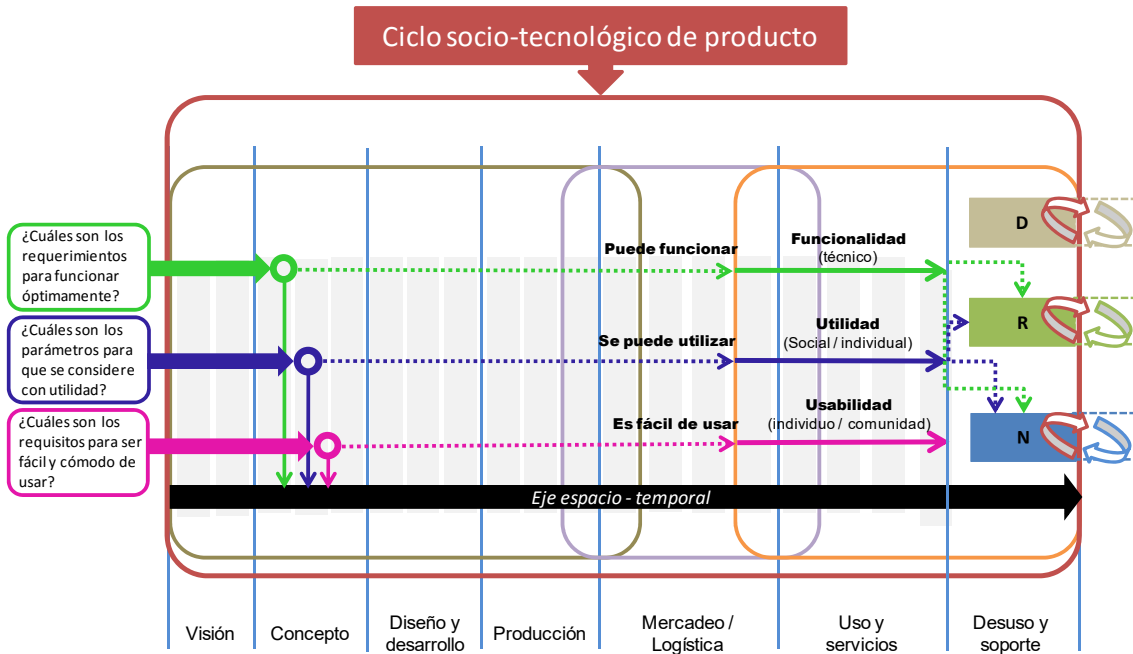


Figura 6.24 Las cualidades básicas de funcionalidad, utilidad y usabilidad de los Cs-tP

6.5.5 Aplicabilidad

Se propone usar la noción ‘aplicabilidad’ en la ingeniería y el diseño de productos para indicar una cualidad derivada, es decir, una consecuencia emergente de la existencia simultánea de la funcionalidad, la utilidad y la usabilidad.

El concepto de ‘aplicabilidad’ parte de la definición de diccionario, como “cualidad de aplicable” (Rae, 2001) y de allí se pueden derivar como: a) que es relevante o apropiado para algo; b) poner esmero y dedicación en hacer funcionar, emplear, usar o ejecutar algo. En el sentido socio-tecnológico y dentro del campo de la ingeniería y el diseño de productos, se establecen cuatro connotaciones complementarias a las definiciones antes expresadas. Aplicabilidad puede ser entendida como: c) la capacidad de poner en práctica o en uso algo, utilización y empleo para algo; d) la capacidad de cumplir con un papel (en inglés fulfil-ability); e) la capacidad de hacer realidad o alcanzar a desempeñar una actividad (función, uso) con satisfacción; f) la capacidad de demostrar y manifestar una cualidad de algo en determinado contexto (utilidad, usabilidad). Con estas últimas definiciones se hace evidente que la noción de aplicabilidad contiene perfectamente las tres cualidades básicas antes mencionadas y a pesar de que aún no es un concepto que se maneje en el lenguaje del DDP, es útil y necesario identificarlo como cualidad emergente. La aplicabilidad implica que un producto está en capacidad de interacción humana con un designio útil o en otras palabras, cuando un producto está en aplicación es cuando se reconoce que socialmente se generan las prácticas socio materiales. Por lo tanto, la aplicabilidad se convierte en un marco de referencia que se ‘activa’ por así decirlo, en el estado de ‘destinación’ y, dependiendo de la combinación y conservación de algunas de las cualidades básicas, se puede prolongar dicho marco. En la figura 6.25, se muestra cómo las tres cualidades básicas (funcionalidad, utilidad, usabilidad) convergen al

propósito por el cual fue desarrollado el producto y hacen emerger como marco a la cualidad de la aplicabilidad. Adicionalmente, se puede verificar a partir de una pregunta en cada una de las tres cualidades básicas, si dicho marco puede ser extendido, estas son: a) ¿mantiene o se adapta la función?, b) ¿aún es útil socialmente?, c) ¿aún es fácil su uso? En caso de ser afirmativas las respuestas, a las anteriores cuestiones, entonces la fase de ‘uso y servicios’ se podrá extender. El ideal es que un producto mantenga las tres cualidades básicas, pero se puede considerar que con el hecho de mantener al menos dos de las tres, el producto seguirá considerándose en aplicabilidad. Algunas de las combinaciones condicionadas de las cualidades básicas pueden ser: 1. Si está en funcionalidad, utilidad y usabilidad, consecuentemente estará siempre en aplicabilidad. 2. El porcentaje de tiempo útil, de tiempo funcional y de tiempo en uso conforman el tiempo de aplicabilidad. 3. Un producto pierde su aplicabilidad cuando deja simultáneamente la funcionalidad y la usabilidad. 4. Para que se hable de usabilidad se requiere de interacción, por lo tanto, no existirá usabilidad si no hay funcionalidad y utilidad. 5. Si se mantienen tanto la funcionalidad como la utilidad, también se mantendrá la aplicabilidad, aún sin usabilidad, es decir, que los productos se utilizan a pesar de tener dificultades de confort, satisfacción, eficacia y eficiencia. 6. Aún preservando la funcionalidad y la usabilidad, no es suficiente garantía para mantener la aplicabilidad, pues puede ocurrir que productos fuera de moda o declarados obsoletos ya no se les asigne ninguna utilidad. 7. Si hay utilidad y usabilidad, el objeto puede tener una reasignación funcional, como en el caso de una sombrilla al ser utilizada por un niño como un juguete (espada). En síntesis, existen dos grandes condiciones que operan como opuestos: a) los productos están en aplicabilidad, porque tiene sus facultades funcionales, de uso y utilidad en plenitud de capacidad; b) o por alguna circunstancia / condición de ausencia de determinada cualidad básica, los productos ya no pueden estar en aplicabilidad. En este último caso, con pérdida de la aplicabilidad, se generan tres caminos para los productos en el desuso: 1) se desechan y por ende se van al relleno o a la tumba; 2) se mantienen aspectos de funcionalidad y utilidad del producto –incluso sus partes, que se pueden re-designar y por ende orientar a la cualidad emergente denominada adaptabilidad por revaloración; 3) se desintegran y sus componentes entran a metabolismos biológicos o tecnológicos en la cuna de nuevos ciclos.

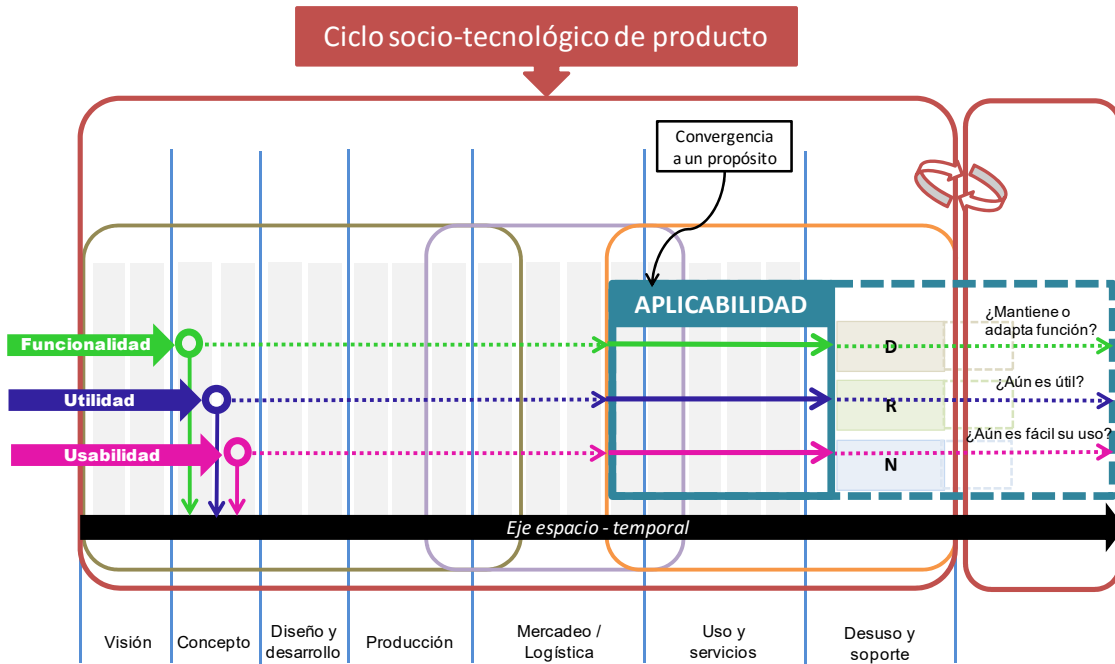


Figura 6.25 La calidad emergente de aplicabilidad donde convergen la funcionalidad, utilidad y usabilidad

En el siguiente apartado, se describirá el segundo grupo de conceptos, tanto como cualidades básicas (adjetivos) ‘*fiabilidad*’, ‘*mantenibilidad*’ y ‘*obtenibilidad*’, como en forma de acciones (verbos) ‘*confiar*’, ‘*mantener*’ y ‘*obtener*’, que hacen las ‘partes interesadas’ con los productos. Las tres nuevas cualidades básicas configuran una calidad derivada llamada ‘*disponibilidad*’.

Antes de desarrollar dichos conceptos, es importante mencionar que la *mantenibilidad* y la *obtenibilidad* no son cualidades exclusivas del producto, sino que son cualidades socio-tecnológicas interdependientes no solo de los productos, sino del entorno de destinación. Es decir, que al hablar de ellas necesariamente nos estamos refiriendo integralmente a cualidades que debe poseer un producto, tanto de manera intrínseca como extrínseca. Así, al mencionar la *mantenibilidad* y la *obtenibilidad*, se debe comprender la doble connotación intrínseco – extrínseco del producto y de su entorno de destinación. Un producto tendrá cualidades propias (internas) para la *mantenibilidad* y *obtenibilidad*, pero al mismo tiempo demandará las mismas cualidades (externas) a manera de servicios y soportes del entorno. De acuerdo con lo anterior, en la ingeniería concurrente orientada al entorno no es necesario crear dos conceptos diferenciados, por ejemplo hablar por un lado de ‘*obtenibilidad*’, para referirnos al producto y por el otro, de ‘*exobtenibilidad*’ para referirnos al entorno, pues un solo concepto tendrá la doble connotación socio-tecnológica.

6.5.6 Fiabilidad

La ‘*fiabilidad*’ desde la definición etimológica se comprende como: a) “la cualidad de fiable o la probabilidad de buen funcionamiento de algo (Rae, 2001); b) como una “probabilidad de que un elemento o sistema funcione correctamente después de un tiempo dado de utilización” (Larousse, 2013). En la

ingeniería y diseño de productos, la definición más cercana es “la probabilidad de que una máquina, un aparato o un dispositivo funcionen correctamente bajo ciertas condiciones y en un periodo de tiempo determinado” (Española, 2007). En la ingeniería y diseño es una cualidad técnica básica e interdependiente tanto con la funcionalidad, como con la mantenibilidad y la obtenibilidad, que se describirán a continuación. Sin incorporar la fiabilidad en los productos no hay manera de garantizar la funcionalidad, que es la meta tecnológica, el propósito y el valor fundamental que tiene la existencia de un producto. La fiabilidad es un campo que se ha desarrollado en la ingeniería y el diseño de productos desde los años 50, con trabajos pioneros en la electrónica, centrados por ejemplo en la confiabilidad de los tubos o válvulas de vacío termoiónicas para radios, previos a los transistores (Rowe, 1958) o sistemas fotovoltaicos (Elliott, 1959), su desarrollo continuó en la manufactura electrónica (Jowett, 1976) y se extendió a todos los campos relacionados con el aseguramiento de la calidad y de la seguridad tanto de productos como de procesos, por ejemplo, el aseguramiento de los reactores nucleares (Farmer & Beattie, 1976) o la industria aeroespacial (Brenan, 1976), hasta convertirse en una teoría estructurada basada en complejos modelos matemáticos, lógica difusa, estadística y probabilidad para estudiar modos de fallo, sistemas de evaluación de fatiga, garantías y tiempos de desempeño, funcionamiento crítico, mantenimiento y aseguramiento de la calidad, entre otros (Barlow & Proschan, 1977; Gnedenko, Belyayev, & Solovyev, 2014; Guedes Soares, 2002; Kai-Yuan, 1991; Pecht, 1995; Thoft-Christensen & Baker, 1982).

Ahora bien, desde un enfoque socio-tecnológico, al igual que la funcionalidad, la fiabilidad es una cualidad básica y necesaria, más no suficiente, por lo que debe ser acompañada o complementada de otras cualidades del producto y de un enfoque holístico, que contemple en la destinación las características y problemáticas socio-culturales. Por ejemplo, un estudio realizado por Fedrizzi, Ribeiro, & Zilles (2009) sobre el uso de bombas de extracción de agua con funcionamiento fotovoltaico, se asumió inicialmente que por su gran fiabilidad tecnológica, su desempeño estaba garantizado en cualquier contexto, sin embargo, el trabajo de campo mostró que la fiabilidad de la bomba no era suficiente, si el proyecto de abastecimiento de agua de comunidades rurales o apartadas, no contemplaba aspectos relacionados con el entorno, esto es, las especificaciones locales, los métodos de transferencia, las condiciones de gestión tecnológica, así como la obtenibilidad de los recursos (agua) y la estimación de la demanda. El éxito de un proyecto como la oferta de agua potable, no se puede reducir a la fiabilidad del producto –en este caso la bomba, sino que la fiabilidad tiene que extenderse a todas las características socio-tecnológicas de la destinación, es decir, contemplar todos los actores-red, y toda la disponibilidad que se tiene en el entorno de destinación en términos de logística y de recursos. Siguiendo con el ejemplo de un producto tan simple como el lápiz, no tendrá fiabilidad si cada vez que se saca punta la barra de grafito se cae, o la calidad de la barra no cumple con las especificaciones del trazo prometido (muy dura o muy blanda), o la madera no es fácil de tajar para exponer la punta de grafito. Pero la fiabilidad extendida al entorno, dependerá de que en la destinación exista algún instrumento que permita sacar la punta al lápiz y que se obtenga papel u otros insumos cuya superficie permita que el trazo del grafito quede adherido. En general, un producto

pierde su fiabilidad cuando ya no ofrece calidad funcional y se asocia a altos riesgos de fallo (independiente del mantenimiento), de esta manera, perder la fiabilidad significa que un producto dejará de ser eficaz y no se podrá garantizar que pueda seguir cumpliendo con el fin por el cual fue diseñado. Por lo tanto como ya se mencionó, la fiabilidad está directamente relacionada con la capacidad de mantener la funcionalidad de un producto. Continuando con las nociones asociadas a la fiabilidad, se pueden relacionar verbos como *confiar*, *asegurar* y *garantizar*, que evocan acciones potenciales de un producto. De acuerdo con lo anterior, un producto funciona si se tiene la posibilidad de *garantizar* que todas sus partes y componentes no fallarán durante determinado periodo, pero a su vez, se debe *asegurar* que las condiciones de la destinación no afectarán en el desempeño y el propósito por el cual se diseñó, porque se ha realizado una transferencia completa como lo propone el enfoque de la antropotecnología (Wisner, 1992) o incluso una transferencia bidireccional (Riba Romeva, 2002). Por último, la fiabilidad puede estar apoyada en estrategias de mantenimiento y logística, para extender la existencia del producto con garantía, el mayor tiempo posible. Sin embargo, también hay enfoques de fiabilidad orientados en la dirección opuesta, esto es, establecer obsolescencias programadas, con garantías funcionales delimitadas a lo que establezcan las normas, para usar y tirar, o usar hasta fallar, sin ninguna logística o respaldo de mantenimiento.

6.5.7 Mantenibilidad

Respecto a la noción de ‘mantenibilidad’ no existe etimológicamente como un adjetivo en el diccionario, existe el concepto de mantenimiento que se define como: a) “el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias etc., puedan seguir funcionando adecuadamente” (Rae, 2001); pero también se puede comprender como b) la cualidad de mantener algo funcionando durante determinado tiempo; o bajo la perspectiva normativa c) “la probabilidad de que una operación de mantenimiento dada, realizada en condiciones definidas y con la ayuda de procedimientos y medios especificados, pueda efectuarse en un intervalo de tiempo” (Norma CEI 60050-191). Para la ingeniería y el diseño de productos, la mantenibilidad es “la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos” (Asociación española para la calidad 2015²⁷). En línea con lo anterior, la cualidad básica de la mantenibilidad, generalmente actúa de forma sinérgica con la fiabilidad, para asegurar la funcionalidad de un producto. Con la mantenibilidad como disposición intrínseca del producto, aunado a los servicios de apoyo como condición extrínseca que la deben acompañar los sistemas socio-tecnológicos en el entorno de destinación, es factible asegurar el funcionamiento de un producto o incluso extenderlo por determinado lapso de existencia, superando incluso los tiempos de garantía.

²⁷ <http://www.aec.es/web/guest>

La mantenibilidad implica una gestión del conocimiento con las ‘partes interesadas’ en el entorno de destinación del producto y un despliegue de servicios de logística que soporte y respalde el cumplimiento del propósito fundamental que es funcionar. Como campo de estudio, la mantenibilidad se desarrolló de forma paralela a la fiabilidad y ligada a la naciente microelectrónica aplicada a los productos (Ryerson, 1962). La teoría sobre mantenibilidad se orientó hacia la responsabilidad de la seguridad de desempeño del producto (Houssin & Coulibaly, 2011; Rodriguez & Bogett, 1989), hacia pruebas y análisis digitales CAD e incluso, hacia sistemas inteligentes de seguimiento de desempeño (Hao, Yu, & Xue, 2002; Kiritsis et al., 2003). Los estudios más recientes sobre mantenibilidad se están orientando hacia la eficiencia energética de sistemas (Peruzzi, Salata, de Lieto Vollaro, & de Lieto Vollaro, 2014) y por último, hacia la eficiencia organizacional para evaluar integralmente los fallos, los accidentes, y los peligros desde una perspectiva socio-técnica, que integre la fiabilidad y la mantenibilidad. Sobre esta línea de investigación y desde una perspectiva ergonómica, el conocimiento del operador asegura que los procesos sean bien controlados y al mismo tiempo, sea capaz de conseguir sus metas (tareas). Estudios recientes plantean la mantenibilidad ligada a desarrollar nuevos modelos de organización y nuevos estilos de gestión socio-técnica, asegurando el éxito del desempeño del sistema humano-producto (Ávila, 2015). En el caso de un lápiz, la mantenibilidad es el hecho de sacarle punta cada vez que se requiera, para que siga dando la prestación de permitir escribir o hacer trazos. Ahora bien, esta acción de mantener la punta en algunos casos no depende de elementos externos, pues hay lápices que por decirlo de algún modo, se ‘auto afilan’, porque el grafito o carboncillo está envuelto en capas de papel, que se pueden mondar o ir desprendiendo en la medida que se requiera. En otros casos, el mantener la punta del lápiz dependerá de un tajalápiz o cualquier otro instrumento que permita sacar la punta. En cualquier caso, al agotarse el lápiz después de su continuo uso, también se agotará tanto la funcionalidad como la posibilidad de su mantenibilidad.

En productos más complejos y desde la perspectiva de las acciones potenciales, para mantener un producto en funcionamiento, tanto de sus partes como en su totalidad, se requieren de un programa y una logística de componentes, repuestos y servicios. La mantenibilidad requiere de actores-red que ofrezcan tanto la logística de repuestos e insumos, como de conocimiento experto para reparar y recuperar la funcionalidad con garantía, por tanto, si un producto deja su red de mantenibilidad, llegará un momento en donde deja de funcionar y consecuentemente, deja de estar disponible temporal o permanentemente. Finalmente, un producto puede mantenerse en funcionamiento siempre y cuando el programa de mantenimiento preventivo y las reparaciones se realicen con calidad y componentes originales, de esta forma, se crea una alternativa al enfoque de obsolescencia, en el sentido de un ciclo de existencia extendido con un continuum usar y reparar, e incluso, se deja la posibilidad de desensamblar para reparar, reensamblar, re-manufacturar, reformar o reacondicionar. De acuerdo con lo anterior, una adecuada mantenibilidad aportará hacia la re-designación y por lo tanto, hacia el enfoque del desarrollo sostenible.

6.5.8 Obtenibilidad

La ‘obtenibilidad’ no es un concepto aún manejado en el dominio de la ingeniería y el diseño de productos, dicho concepto en inglés puede ser traducido como *attainability*, que también puede connotar ‘*accesibilidad*’ o ‘*asequibilidad*’ y por lo tanto, responde más a la intención conceptual de esta cualidad que deben tener tanto los productos como sus sistemas de soporte de servicios, para tomar suministros del sistema socio-tecnológico en el que están insertos (destinación). Se propone este neologismo porque es más pertinente e integrador que *serviciabilidad* o *soportabilidad*, que son más reconocidos en la literatura en inglés, pero que tienen una connotación limitada y solo asociada al mantenimiento y la fiabilidad. La definición de partida puede ser ‘obtenible’ que significa: a) “que puede obtenerse” (Rae, 2001); o derivado de obtener b) “Alcanzar, conseguir y lograr algo que se merece, solicita o pretende” o “Tener, conservar y mantener” (Rae, 2001). En general se busca que para la ingeniería y el diseño de productos, la ‘obtenibilidad’ como neologismo socio-técnico, denote “la habilidad para adquirir el mínimo soporte logístico esencial para empezar a operar” (Karaağaç, Pakfiliz, Quagliotti, & Alemdaroglu, 2014) y por supuesto para continuar operando un producto a lo largo del tiempo, en la fase de uso y servicios. La obtenibilidad debe ser comprendida como una cualidad dual del producto y su entorno de destinación, que busca ser holística, cubriendo la capacidad de los productos para tomar energía, materia e información. De acuerdo con lo anterior, es el sistema socio-tecnológico de destinación el que provee los suministros al producto, pero al mismo tiempo, es el producto el que debe estar preparado para recibir dichos suministros. La obtenibilidad contiene la noción de *soportabilidad*, a la que se hará breve referencia a continuación.

La *soportabilidad* nació ligada a las tareas de mantenimiento y predicción de fallos en los años 60, especialmente en las actividades logísticas de los servicios de sistemas de armamento y continuó sobre este campo, integrando la noción al ciclo de costos en la industria militar (Morgan, 1978) y durante esta misma década se empezó a desarrollar la evaluación y medición de la logística de soporte (Jones & Mielec, 1978). En la década de los años 80 aumentó el interés por la *soportabilidad* y se empezó a trabajar sobre los procesos de evaluación y predicción del soporte y la logística asociada a la fiabilidad y la mantenibilidad, para comprenderlos como criterios y requerimientos de diseño a ser previstos sistemáticamente en la etapas tempranas del proceso de diseño, en industrias complejas como la aeronáutica y aeroespacial (Buche & Cohen, 1987), o como los costos de las estructuras de operación y mantenimiento de las estructuras de soporte (Goldstein, Owen, & Richter, 1989; Lappin, 1988). En la década de los años 90 se relacionó a *asequibilidad* de servicios de mantenimiento y a nivel normativo, se publicó por parte de la sociedad de ingenieros automotrices y aeroespaciales, la primera guía integrando la fiabilidad, la mantenibilidad y la *soportabilidad* (SAE – G-11:1990) y en esa misma década se publicó un handbook relacionado con la mantenibilidad y la *soportabilidad* (Pecht, 1995). Una definición de amplia cobertura y difusión sobre *soportabilidad* es dada por (Goffin, 2000) que la define como la capacidad para cubrir un producto en post venta, que requiere actividades de soporte como mantenimiento y reparación, así como de logística de instalación, entrenamiento, suministro de repuestos, productos

complementarios (accesorios), documentación técnica y de uso, consulta al cliente y esquemas de garantía. En los últimos años, el diseño para la soportabilidad sigue relacionado con la fiabilidad y la mantenibilidad, buscando incrementar el respaldo a los productos, para lograr un reconocimiento y posicionamiento mayor, a partir de la aplicación de diversas técnicas cualitativas (Tortorella, 2015a). Muchas de las técnicas se enfocan en el servicio extendido del producto como parte de las buenas prácticas de ingeniería, para gestionar y hacer seguimiento a los requerimientos de soportabilidad y por ende, de mantenibilidad y fiabilidad (Tortorella, 2015b). Adicionalmente, se han generado enfoques más cercanos a la sostenibilidad, en donde en primer lugar se comprenden la soportabilidad como la habilidad de tener ‘partes interesadas’ que realizan el soporte técnico y son capaces de identificar fallas de desempeño, analizar sus causas y proveer el respaldo y mantenimiento para resolver los problemas y restaurar el normal desempeño del producto. En segundo lugar, definen la ‘eco- soportabilidad’ como una aproximación para balancear las condiciones y prestaciones que ofrece el entorno con relación a la soportabilidad, es decir, reconocer si el diseño del producto y sus sistemas de soporte logístico, son capaces de ser eco-efectivos, eco-eficientes, eco-mantenidos y eco-soportados a lo largo de todo el ciclo (Popa & Popa, 2013).

Ahora bien, si se quiere reconocer que la cualidad de obtenibilidad –adicionalmente al carácter socio-tecnológico–, requiere de un enfoque más decidido hacia la responsabilidad ambiental, se deberán tener presentes aquellos autores que están empezando a establecer marcos conceptuales integradores y holísticos para el diseño sustentable de productos, donde se tengan actores-red con programas pensados en mejorar el servicio, la calidad, la eficacia, la sostenibilidad y el soporte del producto, para contribuir al seguimiento, gestión y control de la información sobre el uso y suministro de energía e insumos, a lo largo de todo el ciclo de existencia del producto. Sobre esta línea de pensamiento, en un estudio sobre eficiencia energética en negocios de aire acondicionado y sistemas de refrigeración de alimentos, Tan, Matzen, McAlone, & Evans (2009) insisten en que el propósito no solo es reparar y mantener los sistemas, sino ser un servicio fiable y disponible, para que no existan desperdicios energéticos, todo orientado a ofrecer mayor valor a los clientes. En síntesis, la obtenibilidad es la cualidad del producto y su entorno para alcanzar, procurar, tener asequible, o acceder fácilmente en la destinación y en todas sus fases cobijadas, la energía, los insumos, la logística y los servicios necesarios para mantener en desempeño un producto. Un lápiz por su baja complejidad y mínima dependencia de elementos externos para cumplir su función, no se hace evidente la cualidad de obtenibilidad, sin embargo, un lápiz requiere de un tajalápiz o una cuchilla para disponer de una punta afilada, y en caso de no obtenerse no se podrá usar bien sin punta. En cualquier caso, los insumos son los que dan sentido utilitario a un producto, pues a diferencia de la mantenibilidad, aunque sus partes estén funcionando en perfecto orden, independiente de sus propias partes funcionales, una cafetera expreso por ejemplo, requieren de café molido, de agua potable y de una fuente de energía para calentar. De acuerdo con lo anterior, como acción potencial, es fundamental que en la destinación se tenga la capacidad de obtener todos los conocimientos, insumos y energía necesarios, adecuados y suficientes para que un producto funcione con calidad y eficacia. Si un

producto pierde su red de obtenibilidad quiere decir, por ejemplo, que pierde el acceso a la fuente de energía para permanecer funcionando, o no se tiene acceso a la fuente de información necesaria para ser activado o usado, o no se obtiene el suministro de los insumos pertinentes que permiten el funcionamiento regulado y continuo. Si los productos en la destinación no tienen actores-red que suministren reguladamente conocimiento, insumos y energía, no importará que el producto en sí esté en condiciones óptimas de funcionar, no se le podrá sacar provecho. Por ello, para evitar la dependencia a suministros externos que en algunos entornos son difíciles o costosos de adquirir, se debe poner mucha atención a las ‘partes interesadas’ asociadas a la destinación, de manera que el producto tenga un ciclo de existencia y de provecho continuo y regulado. En conclusión, una adecuada obtenibilidad asegura la funcionalidad y por supuesto la utilidad de un producto, sin dejarlo caer en obsolescencias prematuras o forzadas.

6.5.9 Relaciones entre fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad

Los verbos mantener y obtener hacen más evidente que se requieren de acciones complementarias durante la fase de uso y servicios, pues se requiere que todas las partes y componentes de un producto estén en perfecto estado (mantenimiento), pero al mismo tiempo, se requiere que se puedan obtener fácilmente y a tiempo, los insumos y/o la energía para que se logre el pleno desempeño. Así, por ejemplo, una impresora que tiene un rodillo de alimentación del papel deteriorado, requerirá de la logística para conseguir el repuesto adecuado y del respectivo mantenimiento que certifique de nuevo su óptimo desempeño y mantener funcionando por el tiempo de garantía dicha impresora. Pero adicionalmente, será necesario obtener las tintas, el papel y la energía necesarios para su desempeño continuo. La obtenibilidad es esencial para la continuidad del provecho del producto, previendo el suministro regulado de insumos y energía necesarios para asegurar el funcionamiento. Ahora bien, tanto el mantenimiento como la obtención de insumos y energía es una condición necesaria mas no suficiente para que un producto sea usado, también se requiere de asegurar la calidad–fiabilidad, definida desde la originación, y ofrecida a los usuarios en la fase de ‘mercadeo y logística’. En este sentido ha habido esfuerzos por integrar la perspectiva del soporte logístico a las estrategias de mejoramiento continuo de operaciones, junto con la fiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad (Eti, Ogaji, & Probert, 2007).

Las cualidades básicas de fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad y sus respectivas capacidades asegurar/garantizar, mantener y obtener, se pueden identificar a lo largo del Cs-tP. Todos ellos son interdependientes y necesarios para el desempeño y provecho de los productos y deben ser establecidos desde la fase de ‘concepto’. Al interactuar con las ‘partes interesadas’, todas estas cualidades y capacidades de acción del producto, se ofrecen en el estado de ‘transferencia’ y se activan en el estado de ‘destinación’, más exactamente en la fase de ‘uso y servicios’, de manera complementaria a las cualidades ya descritas en apartados anteriores, que son: funcionalidad, utilidad y usabilidad. En la figura 6.26, la fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad son signos que confirman si un producto puede continuar en estado de provecho. En la fase de ‘concepto’ se puede formular una pregunta guía para estructurar los

requerimientos y determinantes que debe cumplir el producto, para cada uno de los tres ejes de las cualidades básicas aquí tratadas. Así, para la fiabilidad la pregunta es: ¿cuáles son los requerimientos para asegurar la calidad funcional?, en la mantenibilidad ¿cuáles son los requisitos para mantener en completo y óptimo desempeño un producto?, para la obtenibilidad ¿cuáles son los requisitos de insumos y energéticos para no dejar de funcionar? A partir de las posibles respuestas por parte de las ‘partes interesadas’ que participan en esta fase, se podrá estructurar una ruta de criterios, requerimientos y determinantes asociadas a las anteriores preguntas y que se tendrá en cuenta en la siguiente fase de ‘diseño y desarrollo’: En dicha fase se aplicarán las técnicas y métodos necesarios para asegurar la calidad del producto, determinar la garantía frente a fallos, asegurar los servicios de mantenimiento y el acceso a los insumos y demás condiciones para el óptimo desempeño del producto.

Durante el estado de transferencia y en específico en la fase de ‘mercadeo y logística’, sus ‘partes interesadas’ se deberán encargar de cumplir con las promesas expresadas como valores agregados al producto, que le permiten diferenciarse de otros, destacando entre otros aspectos: las garantías, la calidad, el respaldo de fábrica, y la infraestructura de servicios que le acompaña en determinada destinación. Una vez el producto llega a la fase de ‘uso y servicios’, es que los compromisos y promesas de los aspectos previstos en la fase de ‘concepto’ se hacen realidad. El usuario final y otras ‘partes interesadas’ verificarán si los requerimientos –transformados en propiedades– los ofrece el producto y sus servicios de postventa. Ahora bien, si se agota la fiabilidad, se pierde el respaldo de mantenimiento o ya no se pueden obtener determinados insumos, se pasa a la fase de ‘desuso y soporte’ bajo tres escenarios: a) se declara la obsolescencia porque no se cuenta con ninguna de las tres cualidades que respalden la continuidad del desempeño del producto, b) en el desensamble se podría sacar provecho de partes como repuestos (estrategias para segundas manos), sabiendo que se pierde la garantía dada de fábrica, esto es la fiabilidad, pero al mismo tiempo, se puede convertir en una nueva estrategia de actores-red para obtener componentes para otros Cs-tP, c) participar en el metabolismo tecnológico, para recuperar ciertos insumos y materiales difíciles y costos de obtener, por ejemplo, metales que requieren alta demanda energética para obtenerlos de las minas.

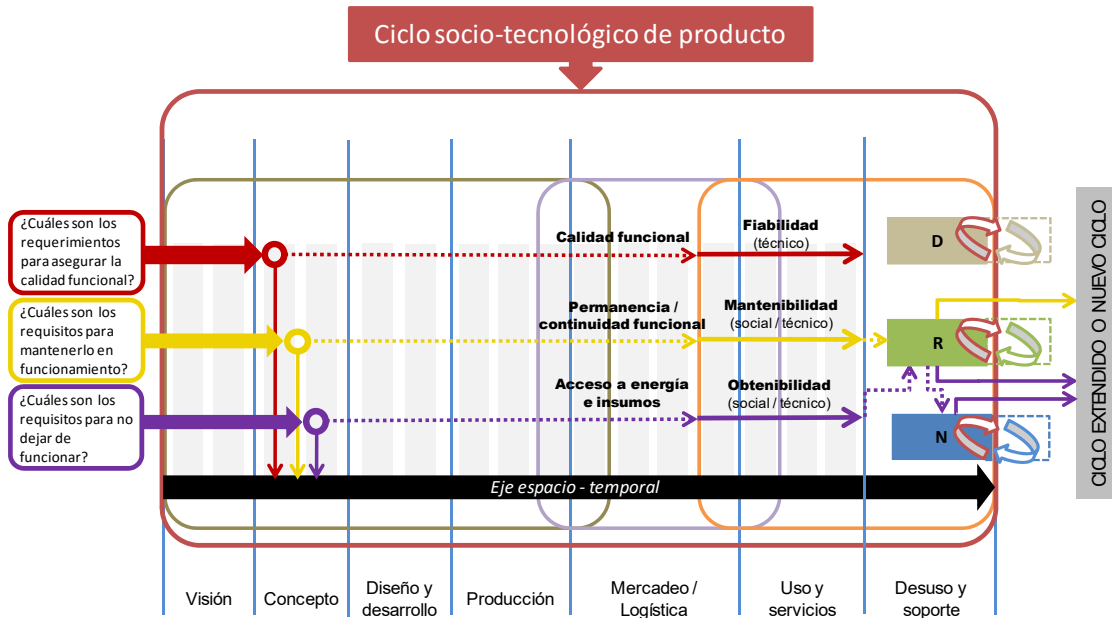


Figura 6.26 Las cualidades básicas de fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad de los Cs-tP

6.5.10 Disponibilidad

La noción de ‘disponibilidad’ en la ingeniería y el diseño de productos fue definida inicialmente como "la aptitud de un producto, máquina o sistema para cumplir su función o estar en condición de cumplirlo en un momento dado cualquiera" (Riba Romeva, 2002). A partir de la anterior definición, en esta tesis se plantea como una cualidad derivada y emergente de la existencia simultánea de la fiabilidad, la mantenibilidad y la obtenibilidad. Ahora bien, en la revisión sistemática, solo hasta la década de los años 90 se empieza a hacer mención sobre el concepto de disponibilidad dentro del campo de la ingeniería concurrente, para referirse a la ubicación y utilización de los recursos o materias primas en un determinado momento del ciclo de un producto (Kusiak & Park, 1990), se integró a la estructuración de previsión de problemas al mismo nivel de la seguridad y la fiabilidad (Scaravetti, Nadeau, Pailhès, & Sebastian, 2005) y continúa como tema de interés en la actualidad, asociado las posibilidades de reciclado y conservación de recursos materiales que afecta directamente las decisiones sobre la selección de materias primas disponibles (Dwek & Zwolinski, 2015).

La noción de ‘disponibilidad’ en las definiciones etimológicas, aparece como: a) “cualidad o condición de disponible” (Rae, 2001); b) “la cualidad de estar libre para ser usado en cualquier momento”. La definición ajustada de disponibilidad será c) la aptitud de un producto, en el sentido más amplio del término, para cumplir su propósito o estar en condición de cumplirlo en cualquier momento, gracias a su fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad. Por lo anterior, un artefacto cualquiera, en su etapa de uso, debe estar en posibilidad de cumplir las prestaciones que el usuario requiere. La disponibilidad debe ser entendida como la capacidad del producto para responder a las necesidades del usuario en cualquier momento (latencia en el espacio - tiempo), es decir, si el usuario tiene la intención de uso, debe estar disponible. Además, debe existir disponibilidad a lo largo de todo el Cs-tP, pero en concreto durante la

fase de ‘uso y servicio’. La disponibilidad es una condición que puede depender tanto de factores intrínsecos al objeto, como de factores intrínsecos al entorno, sobre todo si se refieren a la mantenibilidad y la obtenibilidad. Desde la perspectiva socio-tecnológica de la concepción del producto, se debe contemplar que éste tienda a cumplir el cien por ciento las necesidades de uso. Por lo tanto, pueden existir momentos de uso normal y momentos de ausencia de disponibilidad. Es importante diferenciar la no intención de uso de la no disponibilidad. En el primer caso, es el tiempo de no uso intencional por parte del usuario (él decide que no requiere de su uso). En el segundo caso, es que a pesar del deseo de usarlo, no puede hacerlo porque no se cumple cabalmente alguna de las cualidades básicas que conforman la disponibilidad, es decir: o falla el producto (fiabilidad), o no hay servicio de reparación (mantenibilidad), o no se consiguen los insumos necesarios para su funcionamiento (obtenibilidad). El tiempo en que un producto permanece en la etapa de disponibilidad es muy variable, pues puede depender de la tipología de productos, o puede ser relativo a la vida útil y funcional. Por ejemplo, el tiempo en que un vaso desechable es comprado hasta el momento en que termina de ser usado puede ser muy corto, desde un par de minutos hasta un par de horas y con mayor seguridad de un par de días a no más de un par de meses. Mientras que en el caso de un electrodoméstico, la disponibilidad será mínimo de un año como resultado del criterio de fiabilidad que debe establecer una garantía funcional mínima para el consumidor y usuario final. De acuerdo con lo anterior, la mayor vigencia de un producto y por lo tanto disponibilidad, debe ser consecuente con el esfuerzo, conocimiento y sobre todo, cantidad de energía y materiales invertidos para su existencia (vida como producto). En la figura 6.27 se esboza cómo las tres cualidades básicas (fiabilidad, mantenibilidad, obtenibilidad) convergen al propósito por el cual se creó el producto, y al mismo tiempo emerge como marco que contiene dichas cualidades básicas la cualidad de la disponibilidad. Tres preguntas para cada cualidad básica permiten cotejar si el marco de disponibilidad se puede extender, estas son: a) ¿aún es confiable?, b) ¿aún se mantiene en servicio?, c) ¿aún se obtienen los insumos y energía para operar? Si las respuestas a las anteriores preguntas son afirmativas, la fase de ‘uso y servicios’ también puede ser extendida. Un producto puede mantener su disponibilidad siempre y cuando como mínimo se continúe con la obtenibilidad y la mantenibilidad. Ahora bien, la disponibilidad tiene una fuerte relación no solo con sus cualidades básicas, sino también con la aplicabilidad y sus tres cualidades constitutivas, a saber, la funcionalidad, la utilidad y la usabilidad. Por lo tanto, a continuación se enumeran combinaciones y relaciones posibles entre ellas como: 1. Si un producto tiene fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad, consecuentemente estará en disponibilidad. 2. La mantenibilidad, la fiabilidad y la obtenibilidad posibilitan la disponibilidad, que a su vez es condición para que un producto esté en aplicabilidad. 3. Un producto estará disponible si la conjunción de cualidades permite que la interacción humana cumpla con el propósito para el cual fue diseñado. 4. La fiabilidad busca asegurar la disponibilidad por medio de la garantía de que no habrá fallos en un determinado tiempo y condición de uso que se prevén como normales. 5. A pesar de la buena fiabilidad, otros aspectos inciden negativamente en la disponibilidad, o sea, una alta fiabilidad es necesaria, mas no es suficiente para asegurar la disponibilidad. 6. La mantenibilidad también establece la continuidad de la disponibilidad previendo

acciones preventivas o correctivas a las posibles averías derivadas del desgaste por el tiempo y las condiciones de uso. 7. El porcentaje de disponibilidad está directamente relacionado al porcentaje de existencia en uso y al porcentaje de existencia funcional. Finalmente, dos condiciones puede tener un producto respecto a esta cualidad: a) que los productos estén en disponibilidad, porque tiene tanto las cualidades que hacen parte de la aplicabilidad, como sus propias cualidades, es decir, fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad, o b) los productos no se encuentran en disponibilidad, porque están faltando algunas de las cualidades estratégicas para que se produzca una condición de provecho. Consecuentemente, si un producto pierde su disponibilidad, entrará a la última fase del Cs-tP que es el ‘desuso y soporte’, repitiendo alguno de los tres caminos ya mencionados en la aplicabilidad.

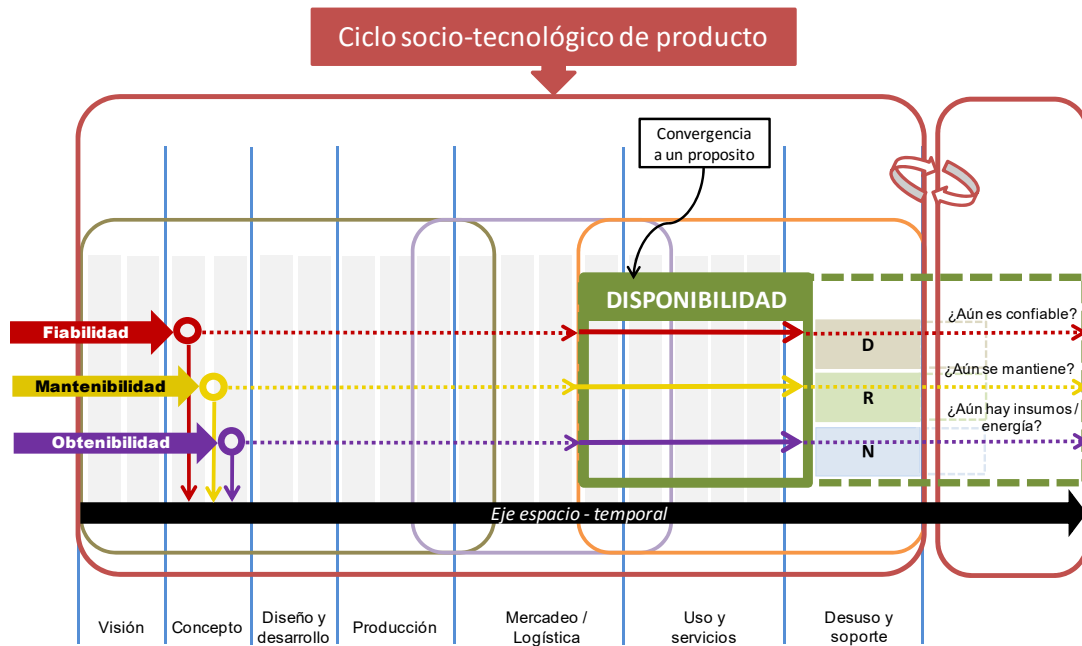


Figura 6.27 La cualidad emergente de disponibilidad donde convergen la fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad

6.5.11 Adaptabilidad

El concepto de ‘adaptabilidad’ se manejó en la literatura relacionada con la ingeniería y el diseño sin una base común y con diversas interpretaciones, por lo menos hasta mediados de la década de los años 90. Por ejemplo, en los años 60 en la naciente mecatrónica se asoció a la capacidad de desarrollar sistemas y robots ‘adaptables’ y con capacidad de aprendizaje desde el entorno. Más adelante, se indicará cómo se está comprendiendo este concepto en la literatura especializada actual.

Ahora bien, desde las definiciones etimológicas, la adaptabilidad se entiende como: a) “la cualidad de adaptable” (Rae, 2001), b) “la capacidad de una persona o cosa para adaptarse a un nuevo medio o situación”(Española, 2007), c) también se asocia a adaptación, que es “el cambio para que algo funcione en otra situación”. El verbo *adaptar* está relacionado con acciones como d) “acomodar o ajustar algo a otra cosa” o “hacer que un objeto o mecanismo desempeñe funciones distintas de aquellas para las que

fue construido” (Rae, 2001). En el campo de la ingeniería y el diseño de productos, la adaptabilidad ha sido definida como “la habilidad de un sistema para ser modificado por un agente local fuera del sistema, que hace que la configuración del sistema cambien en su ambiente” (Engel & Browning, 2008). De acuerdo con lo anterior, la adaptabilidad es el potencial de adecuación o modificación de ciertas características de un producto, para que continúe cumpliendo con determinadas prestaciones (funcional y útil).

La aparición y evolución del concepto no va más atrás de mediados de los años 80, pues apenas se ubican autores que incluyen la adaptabilidad como cualidades en la misma línea que la compatibilidad, la modularidad y la serviciabilidad en la teoría de ciclos (Peschel, 1987). Es solo desde los años 90 que los investigadores publican trabajos en donde el concepto de adaptabilidad es asociado directamente a los procesos de manufactura y remanufactura, en relación con otras cualidades como la durabilidad, la capacidad de reparación y de reuso (Bras & McIntosh, 1999). Complementando lo anterior, la valoración del tiempo de existencia de un producto, bajo lo que (Engel & Browning, 2008) denominan como ‘opciones arquitectónicas’, proveen un sentido cuantitativo de optimización de todo el sistema arquitectónico del producto y en consecuencia, se puede aumentar el valor de su tiempo de existencia y desempeño. Engel y Browning proponen tres grandes criterios para medir el valor de la adaptabilidad de la arquitectura del producto, a saber: a) factores de adaptabilidad de componentes, 2) valor de opción de componentes y c) factores de costo de interfaz. En los últimos 10 años se ha ido estructurando lo que ahora se conoce como el ‘diseño para la adaptabilidad’, continuando con el pensamiento de flexibilidad arquitectónica y la concepción de plataformas reconfigurables (Xie, Xu, & Tu, 2005), o incluso al asumir mayor valor de existencia a las partes constitutivas, la creación de productos multi-variables y a la integridad del producto, se obtienen diseños que responden más a la sostenibilidad (Kasarda et al., 2007). Adicionalmente, la adaptabilidad brinda ventajas a las ‘partes interesadas’ como usuarios y productores, al ofrecer un despliegue de funciones modulares, respaldados en productos fabricados con arquitecturas de módulos estratégicos multi-variables (Greisel, Kissel, Spinola, & Kreimeyer, 2013) y pensando en componentes que respondan a una arquitectura general, pero que al mismo tiempo se adapten y permitan otras formas de configuración (Kissel, Schrieverho, & Lindemann, 2012).

Ahora bien, todos estos enfoques siguen pensando en el control del DDP desde el estado de ‘originación’ con la perspectiva del determinismo tecnológico, predeterminando los requerimientos y especificaciones de adaptabilidad desde la fase de ‘concepto’, más no se está pensando en la libertad de re-diseñar e incluso redefinir las funciones y prestaciones en el estado de ‘destinación’, ya sea por los mismos usuarios, o por cualquier otra ‘parte interesada’ en el entorno de destinación. Este nuevo paradigma del DDP tiene un potencial socio-tecnológico mayor, en la medida que se orienta a la responsabilidad social y ambiental, al otorgar libertad de adaptabilidad a cualquier ‘parte interesada’ y de acuerdo con la condición socio-tecnológica de destinación. Sobre esta línea de pensamiento, apenas empiezan a aparecer autores que señalan la importancia y las ventajas de la flexibilidad de adaptación que realice cualquier

‘parte interesada’, en cualquier fase del ciclo de existencia del producto, por ejemplo, (Srinivasan, Schrieverhoff, Saavedra, Gürtler, & Lindemann, 2015) señalan como ventajas: a) ahorro en tiempo y costos por mejorar posibilidades de reuso, b) reducción de desperdicios, por mayores posibilidades de reconfiguración y reuso, reciclado y disposición final c) reducción de esfuerzos en diseño y producción al tener funciones básicas, d) alta valoración de las ‘partes interesadas’ a lo largo de todo el ciclo, e) prolongación del ciclo de existencia debido a las disposiciones para actualizar y reconfigurar el producto. Adicionalmente, los autores antes mencionados establecen tres tipos de adaptabilidad: a) basada en qué es adaptado, b) basado en cómo es adaptado por el productor, por el usuario o por lo que permite el producto en sí, y c) basada en la reversibilidad del efecto del cambio. Sumado a estos tres tipos de adaptabilidad se propone uno nuevo basado en: d) la libertad de redesignación y revaloración, parcial o integral del producto, por las ‘partes interesadas’ que pertenecen al estado de ‘destinación’.

De acuerdo con lo anterior, la adaptabilidad es una condición del Cs-tP que puede ser independiente de la concepción en el estado de ‘originación’ y en este sentido rompe con la idea de que la innovación solo puede darse de manera preestablecida en el entorno de origen. La adaptabilidad rompe con el determinismo tecnológico y se direcciona a una simetría socio-tecnológica, pues la utilidad y la funcionalidad la pueden replantear ‘partes interesadas’ en el estado de ‘destinación’ y se ‘sale’ por así decirlo, al control y la decisión en la ingeniería de concepción de origen. Como se puede ver en la figura 6. 28, si un producto mantiene posibilidades de preservar su funcionalidad y utilidad, podrían conservarse partes de dicho producto en buen estado, para ser reutilizados junto con partes de productos de otra marca o casa matriz, reconfigurando la arquitectura, recuperando o re-designando socio-tecnológicamente la funcionalidad y la utilidad. Esta condición aumentaría la existencia útil de un producto o generaría nuevos ciclos de provecho o ciclos extendidos, a partir de la re-designación y re-valoración, que incluso le otorguen nuevas capacidades de mantenibilidad y obtenibilidad. En línea con lo anterior, entre más desarrolladas las capacidades socio-tecnológicas de los entornos de destinación para realizar mantenibilidad y obtenibilidad, mayor la capacidad de adaptabilidad y consecuentemente, mayor la independencia tecnológica.

Por el contrario, si un producto pierde toda capacidad de ser adaptado, significa que deja de tener verdaderamente posibilidades para cumplir determinada funcionalidad y utilidad, es decir, que transformarse o reconfigurarse no tiene ya ningún sentido objetivo. De esta manera la reutilización como partes funcionales y útiles deriva como última posibilidad, la reutilización como materiales reciclables, o la designación como desechos irrecuperables y por tanto, el ingreso a otros ciclos. Finalmente, un producto pierde su adaptabilidad cuando pierde toda la funcionalidad, es decir, independiente de la fiabilidad (por ejemplo la garantía de origen) un producto que ya no es re-potenciable u opere en una segunda existencia, bajo las mismas funciones y usos, o ya no es reconfigurable o transformable en un ‘nuevo’ producto con diferentes funciones y usos.

En síntesis, las empresas que se orienten sin temor hacia la libertad y apertura del diseño para la adaptabilidad con dominio e independencia desde el entorno, se abren a nuevas posibilidades de equiparar las diferencias tecnológicas y por lo tanto, se orientan a cumplir a cabalidad con la responsabilidad social. Las características del diseño para la adaptabilidad que se pueden explorar en futuros trabajos implican entre otras: a) una gestión del conocimiento abierta, b) un desarrollo de ‘bienes comunes creativos’ (creative commons), flexibles, con código abierto y cooperado (open sources and know how), c) una conciencia de la los productos durables y heredables (estabilidad den el tiempo de las inversiones), en términos de sostenibilidad tecnológica propuesta por la ergoecología, d) unas plataformas tecnológicas universales, con componentes, conectores, dispositivos e insumos de dominio público, e) una orientación hacia la compatibilidad en la multiplicidad tecnológica, más allá de lo meramente normativo, basados en la simplicidad y la estabilidad en el tiempo.

A continuación, se cierra este capítulo con algunas consideraciones finales respecto al Cs-tP propuesto y sus cualidades (básicas y emergentes), como una invitación para seguir trabajando en el modelo de Cs-tP propuesto.

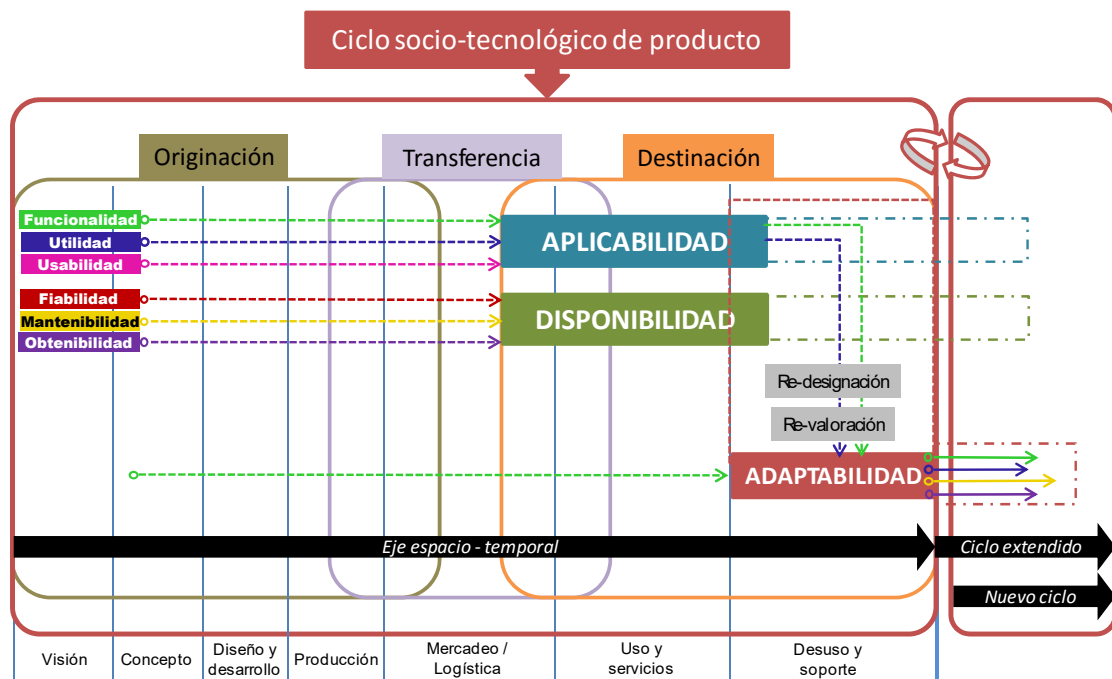


Figura 6.28 La calidad emergente de adaptabilidad alimentada por la revaloración de la funcionalidad y utilidad

6.6 Consideraciones finales

Los ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP) establecen una estructura guía para el DDP, que no solo contempla la dimensión económica (costos vs ganancias) y técnica (requerimientos funcionales), sino que integra y tiene en cuenta desde la perspectiva ergoecológica, a todos los actores-red y todas las

‘partes interesadas’ desde su dimensión socio-económica. El abordaje socio-técnico en la ingeniería y el diseño permite tomar consciencia de la interdependencia, la co-construcción y la imposibilidad de separar los hechos sociales y sus dinámicas de los hechos tecnológicos y sus transformaciones, pasando de una visión del ser humano “objetivada” como consumidor o como cliente, a un ser social lleno de deseos, expectativas y valores que le dan sentido a su vida, siendo consecuentes con la responsabilidad social, más allá de la visión corporativa. Adicionalmente, la doble simetría tanto social – técnica, como humana – ambiental, establece una visión de la sostenibilidad integral (política, social, ambiental, tecnológica y económica), lo que resulta también en una dimensión de responsabilidad ambiental que reconoce cómo los ciclos antrópicos afectan e interdependen de los ciclos bióticos y por tanto, para equilibrar estas relaciones, debe primar como eje rector el capital natural y no el capital financiero.

Respecto a las dinámicas de intercambio, se resalta que el dimensionar el flujo de la información como conocimiento dentro de las distintas fases del Cs-TP, permite involucrar y reconocer los valores aportados por todas las ‘partes interesadas’ y adicionalmente, mantener la simetría socio-técnica, documentando todos los procesos, bucles de retroalimentación, puntos de divergencia, consensos y decisiones sobre el producto.

Con respecto al planteamiento de las fases del DDP, concretamente en el estado de originación, es importante señalar la importancia de plantear tres opciones en la fase de ‘desuso y soporte’, ya que ayuda a reconocer sobre qué alternativas se proyecta el producto y qué valores lo direccionan, ya sea hacia la insostenibilidad, hacia al desarrollo sostenible o hacia la sostenibilidad.

Las seis cualidades socio-tecnológicas básicas que se proponen, forman a su vez dos cualidades emergentes. El primer grupo de cualidades básicas lo constituyen la funcionalidad, la utilidad y la usabilidad, todas ellas concebidas desde la fase de ‘concepto’ y que en el estado de ‘destinación’ conforman un marco que opera como cualidad emergente denominado aplicabilidad. El segundo grupo de cualidades básicas lo componen la fiabilidad, la mantenibilidad y la obtenibilidad, que al igual que el anterior grupo, se contemplan desde la fase de ‘concepto’ y posteriormente en el estado de ‘destinación’ hacen parte y operan bajo la cualidad emergente llamada disponibilidad. Por último, se reconoce otra cualidad emergente denominada adaptabilidad, que aunque puede ser contemplada desde el estado de originación y la fase de concepto como una cualidad funcional prevista, adquiere más potencial si se deriva desde el estado de destinación, aprovechando actores-red y ‘partes interesadas’ que redesignen y revaloren la funcionalidad y la utilidad.

El determinismo tecnológico busca por medio de teorías y métodos como la ingeniería concurrente y el “diseño para X” prever y en lo posible asegurar que la configuración de un producto tendrá la aplicabilidad prevista (control de la aplicabilidad). Sin embargo, en la etapa de uso y servicios, se pueden dar re-designaciones, re-valoraciones y reconfiguraciones que modifican parcial o totalmente la aplicabilidad, por medio de una cualidad de la innovación social aquí denominada como adaptabilidad. La

re-designación y reconfiguración se logra a partir de la interacción social en el estado de destinación, de todas las ‘partes interesadas’ y de todos los actores-red que se conformaron. En el estado de destinación con la re-designación de la función, el uso y la utilidad se puede establecer la conexión con la ergonomía, la ergoecología y la ergonomía verde, para ofrecer un enfoque no determinista de la tecnología y sustituirlo por un enfoque constructivista - social de la tecnología, donde los actores sociales que la construyen no solo pertenecen al ámbito de las empresas o de la originación, sino que se establecen en la destinación y no son vistos como simples usuarios, pasivos o receptores, sino como generadores e innovadores del producto, la tecnología y toda la logística y el soporte de servicios asociados y extendidos.

Para abordar la simetría humano- ambiental, dos aspectos se deben destacar, en primer lugar la necesidad de incorporar al inicio la fase de ‘visión’, pues es allí donde se establecen los valores que direccionarán el DDP. La responsabilidad social y ambiental obliga a que una vez las ‘partes interesadas’ establezcan los valores rectores, de manera que en la fase de concepto se tenga un proceso para definir, bajo unas pautas de selección y ensamble, los métodos de DDP desde las dos perspectivas, esto es, los factores humanos y los factores ambientales. Estas acciones de ensamble simétrico de los métodos, les dará por un lado robustez a los procesos y por otro lado, sostenibilidad política, económica, social, tecnológica y ambiental, como lo propone el marco de la ergoecología.

Por último, para que se defina con consciencia y desde el inicio, los efectos del producto y las consecuencias en los ciclos biotrópicos, desde la fase de visión son planteados valores fundamentales propuestos desde la ergoecología y la ergonomía verde, como bases axiológicas que guían la toma de decisiones. Como consecuencia, se propone cambiar la prioridad del DDP hegemónicamente pensada en los modelos económicos y con una visión predominantemente antropocéntrica de explotación, por una prioridad emergente, que se ocupe de ir más allá de dichos modelos y reconocer los límites del capital natural y por tanto, con una visión ecosférica que reconozca la interdependencia de todas las especies. Para dar fundamento a este aspecto, se plantea en el siguiente capítulo, la cuarta y última parte del modelo que trata sobre las bases axiológicas.

6.7 Referencias

- Alting, L. (1993). Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. In A. Kusiak (Ed.), *Concurrent engineering: automation, tools, and techniques* (pp. 1-17). New York: Wiley.
- Álvarez, S., Lomas, P., Martín, B., Rodríguez, M., & Montes, C. (2006). *La síntesis emergética (“energy synthesis”)*. Madrid: Laboratorio de Socio-ecosistemas. Departamento Interuniversitario de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid.
- Ávila, S. (2015). Reliability analysis for socio-technical system, case propene pumping. *Engineering Failure Analysis*, 56(October), 177-184.

- Ayres, R. U. (1998). Industrial metabolism: work in progress. In J. Van-den-Bergh & M. Hofkes (Eds.), *Theory and Implementation of Economic Models for Sustainable Development* (Vol. 15, pp. 195-228): Springer Science and Business Media, B.V.
- Ayres, R. U. (2004). On the life cycle metaphor: where ecology and economics diverge. *Ecological Economics*, 48(4), 425-438.
- Bakshi, B. R. (2000). A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2), 1767-1773.
- Barlow, R. E., & Proschan, F. (1977). Techniques for Analyzing Multivariate Failure Data. In C. P. T. N. Shimi (Ed.), *The Theory and Applications of Reliability with Emphasis on Bayesian and Nonparametric Methods* (pp. 373-396): Academic Press.
- Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2013). Absolute versus relative environmental sustainability. *Journal of Industrial Ecology*, 17(2), 321-332.
- Boada Ortíz, A., & Mont, O. (2005). *Desmaterialización Sistema producto-servicio, una estrategia diferente de negocios*. (U. E. d. Colombia Ed.). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Bras, B., & McIntosh, M. W. (1999). Product, process, and organizational design for remanufacture—an overview of research. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(3), 167-178.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13), 1337-1348.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13-14), 1337-1348.
- Brenan, R. A. (1976). Implementation of the Anik satellite Product Assurance requirements by. *Microelectronics Reliability*, 15, Supplement, 93-107. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714\(76\)90623-5](http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714(76)90623-5)
- Brown, M. B. (2001). The civic shaping of technology: California's electric vehicle program. *Science, Technology & Human Values*, 26(1), 56-81.
- Buche, J., & Cohen, I. (1987). Translating supportability requirements into design reality. *Journal of Aircraft*, 24(8), 490-494.
- Bust, P. D. (2011). *Changing occupational health and safety practices in the manual handling of highway kerbs: cultural impediments and obstacles to innovation*. © Philip D. Bust.
- Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
- Caravanos, J., Clark, E., Fuller, R., & Lambertson, C. (2011). Assessing worker and environmental chemical exposure risks at an e-waste recycling and disposal site in Accra, Ghana. *Journal of health and pollution*, 1(1), 16-25.
- Chandrasegaran, S. K., Ramani, K., Sriram, R. D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R. F., & Gao, W. (2013). The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, 45(2), 204-228.

- Chuang, L., & Jun-biao, W. (2009). Systematic modeling method for manufacturing knowledge of process domain [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 8, 007.
- Chung, W.-H., Kremer, G. E. O., & Wysk, R. A. (2014). Life cycle implications of product modular architectures in closed-loop supply chains. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 2013-2028.
- Dat, L. Q., Linh, D. T. T., Chou, S.-Y., & Vincent, F. Y. (2012). Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, 39(7), 6380-6387.
- Debref, R. (2012). The paradoxes of environmental innovations: The case of green chemistry. *Journal of Innovation Economics & Management*, 9(1), 83-102.
- Dewulf, J. P., & Van Langenhove, H. R. (2002). Quantitative assessment of solid waste treatment systems in the industrial ecology perspective by exergy analysis. *Environmental Science & Technology*, 36(5), 1130-1135.
- Dwek, M., & Zwolinski, P. (2015). How can we predict the evolution of recycling chains? *Matériaux & Techniques*, 103(1), 102.
- Eger, A. O., & Drukker, J. (2010). Phases of product development: a qualitative complement to the product life cycle. *Design Issues*, 26(2), 47-58.
- El-Diraby, T. E. (2006). Web-services environment for collaborative management of product life-cycle costs. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(3), 300-313.
- Elliott, J. F. (1959). Design consideration for a high reliability photovoltaic solar energy converter. *Solar Energy*, 3(2), 34-35. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(59\)90087-8](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(59)90087-8)
- Engel, A., & Browning, T. R. (2008). Designing systems for adaptability by means of architecture options. *Systems Engineering*, 11(2), 125-146.
- Española, R. A. (Ed.) (2007) Barcelona: Larousse Planeta SA.
- Eti, M., Ogaji, S., & Probert, S. (2007). Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station. *Applied Energy*, 84(2), 202-221.
- Farmer, F. R., & Beattie, J. R. (1976). Nuclear Power Reactors and the Evaluation of Population Hazards. In E. J. H. J. Lewins (Ed.), *Advances in Nuclear Science and Technology* (pp. 1-72): Academic Press.
- Fedrizzi, M. C., Ribeiro, F. S., & Zilles, R. (2009). Lessons from field experiences with photovoltaic pumping systems in traditional communities. *Energy for Sustainable Development*, 13(1), 64-70. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2009.02.002>
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., . . . Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21.
- Fischer, G. (2004). *Social creativity: turning barriers into opportunities for collaborative design*. Paper presented at the Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices-Volume 1.

- Fitzgerald, J., Larsen, P. G., & Verhoef, M. (2014). *Collaborative Design for Embedded Systems*: Springer.
- García-Acosta, G. (2002). *La ergonomía desde la visión sistémica* (Vol. 1). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- García-Acosta, G., & Flórez García, L. (2009). *Ingeniería concurrente. Diseño para el entorno en función de la disponibilidad*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- García-Acosta, G., Pinilla, M. H. S., Larrahondo, P. A. R., & Morales, K. L. (2014). Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 15(2), 111-133.
- Gay, G., & Lentini, M. (1995). Use of communication resources in a networked collaborative design environment. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1(1), 0-0.
- Gnedenko, B. V., Belyayev, Y. K., & Solovyev, A. D. (2014). *Mathematical methods of reliability theory*: Academic Press.
- Goffin, K. (2000). Design for supportability: essential component of new product development. *Research-Technology Management*, 43(2), 40-47.
- Goldstein, S., Owen, D., & Richter, K. J. (1989). Product Supportability Issues in the Early Design Phases: DTIC Document.
- Greisel, M., Kissel, M., Spinola, B., & Kreimeyer, M. (2013). *Design for adaptability in multi-variant product families*. Paper presented at the DS 75-4: Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Design for Harmonies, Vol. 4: Product, Service and Systems Design, Seoul, Korea, 19-22.08. 2013.
- Guedes Soares, C. (2002). Recent advances in reliability theory: methodology, practice and inference: Limmios, N., Nikulin, M. (Eds.), Birkhäuser Verlag AG, 2000, 514 pages. *Reliability Engineering & System Safety*, 76(1), 105-106. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00144-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00144-2)
- Guinée, J. B., Heijungs, R., de Haes, H. A. U., & Huppes, G. (1993). Quantitative life cycle assessment of products: 2. Classification, valuation and improvement analysis. *Journal of Cleaner Production*, 1(2), 81-91.
- Hall, K. D. (2006). Computational model of in vivo human energy metabolism during semistarvation and refeeding. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 291(1), E23-E37.
- Hao, J. P., Yu, Y. L., & Xue, Q. (2002). A maintainability analysis visualization system and its development under the AutoCAD environment. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1-3), 277-282. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00665-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00665-9)
- Hauschild, M., Jeswiet, J., & Alting, L. (2005). From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54(2), 1-21.
- Horne, R., Grant, T., & Verghese, K. (2009). *Life cycle assessment: Principles, practice, and prospects*: Csiro Publishing.
- Houssin, R., & Coulibaly, A. (2011). An approach to solve contradiction problems for the safety integration in innovative design process. *Computers in Industry*, 62(4), 398-406.
- Hubka, V., & Eder, W. E. (1988). *Theory of technical system: a total concept theory for engineering design*. Alemania: Springer.

- Ishii, K., Eubanks, C. F., & Di Marco, P. (1994). Design for product retirement and material life-cycle. *Materials & Design*, 15(4), 225-233.
- Ismaila, S., & Samuel, T. (2014). Human-centered engineering: the challenges of Nigerian engineer. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 12(2), 195-208.
- Jianjun, Y., Baiyang, J., Yifeng, G., Jinxiang, D., & Chenggang, L. (2008). Research on evaluation methodologies of product life cycle engineering design (LCED) and development of its tools. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(8), 923-942.
- Jones, M., & Mielec, R. (1978). *Logistics supportability testing*. Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, Calif.
- Joshi, S. (2000). Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques. *Journal of Industrial Ecology*, 3(2-3), 95-120.
- Jowett, C. (1976). Reliability in the electronics manufacturing phase. *Microelectronics Reliability*, 15(6), 595-600. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714\(76\)90277-8](http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714(76)90277-8)
- Kai-Yuan, C. (1991). Fuzzy reliability theories. *Fuzzy Sets and Systems*, 40(3), 510-511. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114\(91\)90177-R](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114(91)90177-R)
- Karaağaç, C., Pakfiliz, A. G., Quagliotti, F., & Alemdaroglu, N. (2014). UAV Logistics for Life-Cycle Management *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* (pp. 2601-2635): Springer.
- Kasarda, M. E., Terpenney, J. P., Inman, D., Precoda, K. R., Jelesko, J., Sahin, A., & Park, J. (2007). Design for adaptability (DFAD)—a new concept for achieving sustainable design. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(6), 727-734.
- Keoleian, G. A., Menerey, D., & Curran, M. (1993) *Life Cycle Design: Guidance Manual*.
- Khadilkar, P., Lokras, S., Somashekar, H., Venkatarama Reddy, B., & Mani, M. (2015). *Using the Capability Approach to Detect Design Opportunities*. Paper presented at the Design for Sustainable Well-being and Empowerment, IISc Press and TU Delft.
- Kiritsis, D., Bufardi, A., & Xirouchakis, P. (2003). Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Informatics*, 17(3–4), 189-202. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2004.09.005>
- Kissel, M., Schrieverho, P., & Lindemann, U. (2012). *Design for Adaptability Identifying Potential for Improvement on an Architecture Basis*. Paper presented at the DS 71: Proceedings of NordDesign 2012, the 9th NordDesign conference, Aarlborg University, Denmark. 22-24.08. 2012.
- Kobayashi, H. (2005). Strategic evolution of eco-products: a product life cycle planning methodology. *Research in Engineering Design*, 16(1-2), 1-16.
- Kriwet, A., Zussman, E., & Seliger, G. (1995). Systematic integration of design-for-recycling into product design. *International Journal of Production Economics*, 38(1), 15-22.
- Kusiak, A., & Park, K. (1990). Concurrent engineering: decomposition and scheduling of design activities. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 28(10), 1883-1900.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., & Bruder, R. (2014). The EQUID approach: improving ergonomics quality in product life cycle. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A.

- Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM XI - NES 46* (pp. 435-440). Copenhagen: IEA Press.
- Lappin, M. K. (1988). *Supportability evaluation prediction process*. Paper presented at the Reliability and Maintainability Symposium, 1988. Proceedings., Annual.
- Larousse, V. y. (Ed.) (2013) Larousse Diccionario Enciclopédico 2009.
- Lee, J. Y., Choi, S. S., Kim, G. Y., & Noh, S. D. (2011). Ubiquitous product life cycle management (u-PLM): a real-time and integrated engineering environment using ubiquitous technology in product life cycle management (PLM). *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(7), 627-649.
- Lee, S., & Xu, X. (2005). Design for the environment: life cycle assessment and sustainable packaging issues. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 5(1), 14-41.
- Leonard, W. R. (2003). Measuring human energy expenditure: what have we learned from the flex-heart rate method? *American Journal of Human Biology*, 15(4), 479-489.
- Mauerhofer, V. (2008). 3-D Sustainability: An approach for priority setting in situation of conflicting interests towards a Sustainable Development. *Ecological Economics*, 64(3), 496-506. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.011>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2001). The next industrial revolution *Sustainable solutions: Developing products and services for the future* (Vol. 139, pp. 139-150): Greenleaf Publishing in association with GSE Research.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. China: MacMillan.
- Morgan, C. (1978). *Planning for complete supportability (weapon systems life cycle cost)*. Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, Calif.
- Moser, A. (1995). Principia Ecologica: Eco-principles as a conceptual framework for a new ethics in science and technology. *Science and Engineering Ethics*, 1(3), 241-260.
- Mosquin, T., & Rowe, S. (2004). A manifesto for Earth. *Biodiversity*, 5(1), 3-9.
- Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization science*, 5(1), 14-37.
- Nonaka, I., & Von Krogh, G. (2009). Perspective-tacit knowledge and knowledge conversion: Controversy and advancement in organizational knowledge creation theory. *Organization science*, 20(3), 635-652.
- Nwuba, E. (1981). *Human energy demand of selected agricultural hand tools*.
- Odum, H. T. (1973). Energy, ecology, and economics. *Royal Swedish Academy of Science. Ambio*, 220-227.
- Odum, H. T. (1986). Energy in ecosystems. In P. Naked (Ed.), *Ecosystem theory and application* (Vol. John Wiley and Sons, pp. 337-369). New York.
- Odum, H. T. (1996a). *Environmental Accounting: Energy and environmental and decision making*. New York: John Wiley.

- Odum, H. T. (1996b). *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making*. New York: John Wiley and Sons.
- Owens, J. (1997). Life cycle assessment. *J. of Industrial Ecology*, 1(1), 37-49.
- Pecht, M. (1995). *Product reliability, maintainability, and supportability handbook* (M. Pecht Ed.). Boca Raton, London, New York, Washington: CRC Press LLC.
- Pentland, B. T. (1995). Information systems and organizational learning: the social epistemology of organizational knowledge systems. *Accounting, Management and Information Technologies*, 5(1), 1-21.
- Peruzzi, L., Salata, F., de Lieto Vollaro, A., & de Lieto Vollaro, R. (2014). The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings. *Energy and Buildings*, 68, Part A, 19-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.027>
- Peschel, A. (1987). *On project standards for Ada software quality specification*. Paper presented at the AIAA Computers in Aerospace Conference, 6 th, Wakefield, MA.
- Pineno, C. J. (2012). Simulation of the Weighting of Balanced Scorecard Metrics: Including Sustainability and Time-Driven ABC Based on the Product Life Cycle. *Management Accounting Quarterly*, 13(2), 21.
- Podgórski, D., Oleszek, B., Bojanowski, R., & Karwowski, W. (2007). Deliverable 5.1: A report on complementarities and gaps in OSH research programmes on new and emerging risk factors.
- Popa, V. N., & Popa, L. I. (2013). The role of ecoefficiency & ecoeffectiveness in electronics sustainability. *Global Journal on Advances Pure and Applied Sciences*, 1.
- Rae, R. A. E. (Ed.) (2001) Disponible en línea en <http://www.rae.es/rae.html>.
- Raffler, N., Ellegast, R., Kraus, T., & Ochsmann, E. (2015). Factors affecting the perception of whole-body vibration of occupational drivers: an analysis of posture and manual materials handling and musculoskeletal disorders. *Ergonomics*(ahead-of-print), 1-13.
- Rammert, W. (1997). New rules of sociological method: Rethinking technology studies. *British Journal of Sociology*, 171-191.
- Rant, Z. (1956). Exergie, ein neues Wort für ‘Technische Arbeitsfähigkeit’(Exergy, a new word for technical availability). *Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens A*, 22(1), 36-37.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., . . . Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
- Riba i Romeva, C. (2009). *L'èsser humà com a referència energètica*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Riba i Romeva, C. (2012). *Recursos energètics i crisi. La fi de 200 anys irrepitibles*. Barcelona: Octaedro.
- Riba i Romeva, C., Llorens, S., Coll, J., & Maury, H. (2006). Familia, portafolio y gama de productos. In C. Riba I Romeva & A. Molina Gutiérrez (Eds.), *Ingeniería concurrente. Una metodología integradora* (Vol. 175, pp. 37-47). Barcelona: Politext - Universitat Politècnica de Catalunya.
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente* (Vol. 126). Barcelona: Edicions UPC.

- Röbig, S., Didier, M., & Bruder, R. (2011). Ergonomics and Usability in an International Context. In W. Karwowski, M. M. Soares, & N. A. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Uses and Applications* (Vol. Uses and Applications). United States of America: CRC Press.
- Rodriguez, L., & Bogett, W. R. (1989). Societal considerations in scaling injury severity and effects. *Journal of Safety Research*, 20(2), 73-83.
- Rowe, E. G. (1958). On Some Aspects of Tube Reliability. In L. Marton (Ed.), *Advances in Electronics and Electron Physics* (Vol. Volume 10, pp. 185-238): Academic Press.
- Royston, M. (1978). *Eco-productivity: a positive approach to non-waste technology*. Paper presented at the Non-waste technology and production: proceedings of an international seminar organized by the senior advisers to ECE governments on environmental problems on the principles and creation of non-waste technology and production, Paris, 29 November-4 December 1976.
- Ryerson, C. M. (1962). *The reliability and quality control field from its inception to the present*. Paper presented at the Proceedings of the IRE.
- Scaravetti, D., Nadeau, J.-P., Pailhès, J., & Sebastian, P. (2005). Structuring of embodiment design problem based on the product lifecycle. *International Journal of Product Development*, 2(1-2), 47-70.
- Sciubba, E., Bastianoni, S., & Tiezzi, E. (2008). Exergy and extended exergy accounting of very large complex systems with an application to the province of Siena, Italy. *Journal of Environmental Management*, 86(2), 372-382.
- Schmidheiny, S. (1992). *Changing course: A global business perspective on development and the environment* (Vol. 1): MIT press.
- Srinivasan, V., Schrieverhoff, P., Saavedra, C. C., Gürtler, M., & Lindemann, U. (2015). Validation of Methodology and Tool for Design for Adaptability in Accomplishment of Project Objectives *ICoRD'15-Research into Design Across Boundaries* (Vol. 2, pp. 339-350): Springer.
- Stark, J. (2005). Making Progress with PLM. In J. Stark (Ed.), *A Manual to Support PLM Initiatives and PLM Projects*. John Stark Associates: <http://www.johnstark.com/prgrs.html>.
- Tan, A. R., Matzen, D., McAlloone, T. C., & Evans, S. (2009). *Strategies for designing and developing services for manufacturing firms*. Paper presented at the Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference.
- Thoft-Christensen, P., & Baker, M. J. (1982). *Structural reliability theory and its applications*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag.
- Tortorella, M. (2015a). Design for Supportability. *Reliability, Maintainability, and Supportability: Best Practices for Systems Engineers*, 396-418.
- Tortorella, M. (2015b). *Reliability, Maintainability, and Supportability: Best Practices for Systems Engineers*: John Wiley & Sons.
- Valyi, R., & Ortega, E. (2004). *Emergy simulator, an open source simulation platform dedicated to systems ecology and emergy studies*. Paper presented at the Proceedings of the IV International Biennial Workshop Advances in Energy Studies. Brazil.
- van Beek, J. H., Supandi, F., Gavai, A. K., de Graaf, A. A., Binsl, T. W., & Hettling, H. (2011). Simulating the physiology of athletes during endurance sports events: modelling human energy

- conversion and metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1954), 4295-4315.
- Van der Voet, E., Huele, R., & Stevers, R. (2001). *Industrial ecology: the biosphere—technosphere analogy applied to evolutionary processes*. Paper presented at the The First World Conference of the International Society for Industrial Ecology Proceedings. Leiden, The Netherlands.
- Vezzoli, C., & Sciama, D. (2006). Life Cycle Design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. *Journal of Cleaner Production*, 14(15), 1319-1325.
- Ward, S. J. (2011). User research by Designers. In W. Karwowski, M. M. Soares, & N. A. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Uses and Applications* (Vol. Uses and Applications). United States of America: CRC Press.
- Wenwei, C. (2006). Research on mining the mutative knowledge with extension data mining. *ENGINEERING SCIENCE*, 8(11), 70-73.
- Westkämper, E., Alting, L., & Arndt, G. (2001). Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 215(5), 599-626.
- Wiktorsson, M. (2012). Drivers for life cycle perspectives in Product Realization. *Acta Technica Corviniensis–Bulleting of Engineering*, 5, 81-86.
- Wisner, A. (1992). De la ergonomía a la antropotecnología: la organización de la empresa y del trabajo en las transferencias de tecnología. *Sociología del trabajo*(17), 3-72.
- Xie, S., Xu, X., & Tu, Y. (2005). A reconfigurable platform in support of one-of-a-kind product development. *International Journal of Production Research*, 43(9), 1889-1910.
- Yang, C.-y., & Cai, W. (2009). Recent progress in extension data mining. *Mathematics in Practice and Theory*, 39(4), 134-141.
- Yixin, Z. (2000). ; A Framework of Knowledge Theory: Toward a Unified Theory of Information, Knowledge and Intelligence [J. *ENGINEERING SCIENCE*, 9.
- Züst, R., Caduff, G., & Schumacher, B. (1997). Life-cycle modelling as an instrument for life-cycle engineering. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 46(1), 351-354.

7. BASES AXIOLÓGICAS

7.1 Introducción

En los capítulos anteriores se presentó el abordaje simétrico que da sustento al modelo, tanto desde la perspectiva teórica (capítulo 4) como desde la perspectiva metodológica (capítulo 5). A su vez, en el capítulo 6 se describieron los ciclos socio-tecnológicos de diseño y desarrollo de producto (Cs-tP), incluyendo sus partes constitutivas (estados, fases/etapas y procesos/pasos), finalizando con las características y las cualidades socio-tecnológicas de los productos: aplicabilidad, disponibilidad y adaptabilidad. En este capítulo se agrega un cuarto aspecto fundamental en el modelo, el cual orienta el proceso de toma de decisiones. Este es un proceso complejo que abarca todas las etapas del ciclo socio-tecnológico de producto y se fundamenta en los valores éticos, ya que son éstos los que constituyen los lineamientos de acción que guían la toma de decisiones en el DDP. En otras palabras, este cuarto elemento del modelo, las bases axiológicas, es el que define si el Cs-tP se orienta hacia la insostenibilidad, hacia el desarrollo sostenible o hacia la sostenibilidad, dependiendo tanto de los valores que se establezcan desde la fase de la visión, como del proceso y aseguramiento de la toma de decisiones a lo largo de todo el DDP. Es esta parte del modelo la que, en últimas, garantiza que el objetivo de desarrollar productos se dirija hacia resultados social y ambientalmente responsables.

Al igual que se ha hecho en los capítulos anteriores, la figura 7.1 representa las cuatro partes del modelo, resaltando la cuarta parte en color azul, denominada bases axiológicas.

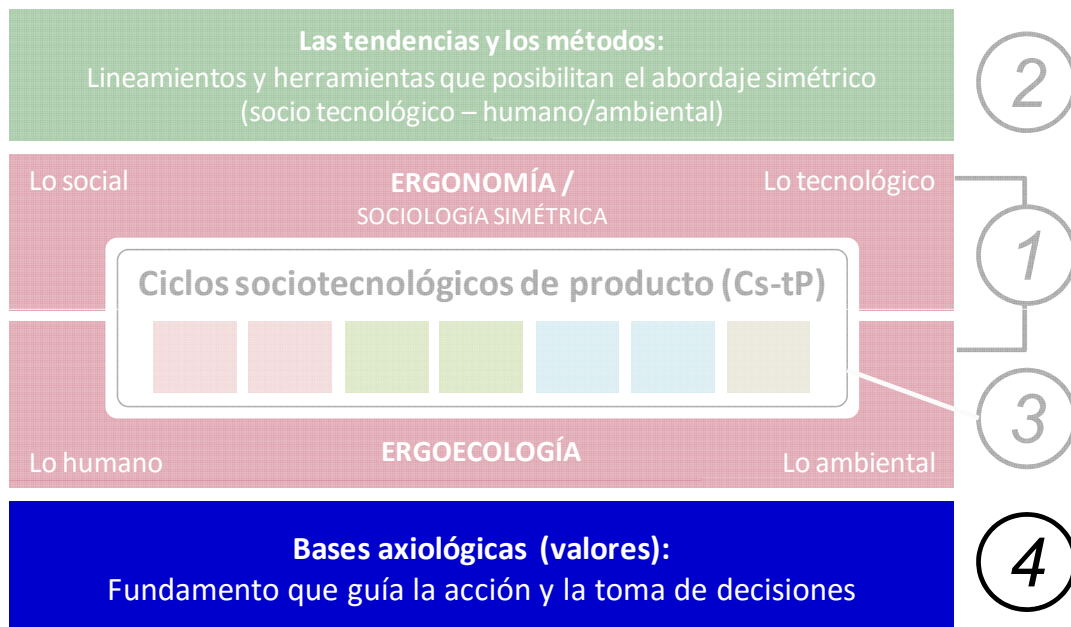


Figura 7.1 Partes del modelo, resaltando la cuarta parte i.e. las bases axiológicas.

Este componente, expresado en un grupo de valores, es el que establece el fundamento que guía la toma de decisiones a lo largo del Cs-tP. El desarrollo del capítulo se concentra en tres aspectos. En primer lugar se retoman los principios de la Ergoecología planteados en el componente teórico del modelo y, junto con los principios de otra corriente en la ergonomía que contribuye a una visión simétrica entre lo social y lo ambiental, la Ergonomía Verde, se presentan los valores deducidos de dichos principios, los cuales son desarrollados con más extensión en el artículo publicado que constituye la parte central este capítulo. En segundo lugar se relacionan los valores deducidos con las diferentes fases de los Cs-tP. Finalmente, en la tercera sección del capítulo se analiza la relación entre los valores, las fases y las diferentes ‘partes interesadas’ o stakeholders.

7.2 Los principios de la Ergoecología y la Ergonomía Verde como base para la deducción de los valores

La Ergoecología plantea tres principios básicos: Aproximación antropocéntrica pero con la capacidad de asumir una perspectiva ecosférica; enfoque hacia la sostenibilidad y aproximación sistémica. La aproximación antropocéntrica hace referencia a que, dado que el propósito de la Ergoecología está definido en función de las necesidades y acciones humanas, inevitablemente está pensando en y desde el ser humano. Sin embargo, considerando que la especie humana puede pasar de ser la especie dominante a una especie en peligro de extinción si continua con el modelo socio económico actual, explotando indiscriminadamente los recursos naturales e ignorando los impactos negativos, se plantea la necesidad de encontrar soluciones inspiradas en la naturaleza y compatibles con una visión ecosférica (García-Acosta & Riba i Romeva, 2010), adoptando los principios fundamentales del Manifiesto por la Tierra (Mosquin & Rowe, 2004) y reconociendo la codependencia y cooperación entre los recursos naturales como opuesto a la idea de explotación de recursos.

En cuanto al enfoque hacia la sostenibilidad, la Ergoecología la comprende no solamente desde la perspectiva del capital ecológico, social y económico (Elkington, 1998) sino incluye los capitales tecnológico y político. Respecto al abordaje sistémico, este es el punto central de la Ergoecología, donde se expande la consideración simétrica y el análisis dinámico de los sistemas sociotécnicos al reconocimiento y abordaje simétrico entre los diferentes sistemas sociotécnicos y los sistemas naturales. Esto lleva al planteamiento de la eco-eficiencia y la eco-productividad como indicadores de cómo está balanceada (o no) la relación entre sistemas. El énfasis se pone en mantener un equilibrio entre los elementos que interactúan, entendidos como energía, materiales e información, evitando la sobre-explotación y la generación de desperdicios.

Por su parte, la Ergonomía Verde (Thatcher, 2013) plantea cuatro principios: evaluación, diseño e innovación para la eco-eficiencia, la eco-efectividad y la eco-productividad; evaluación, diseño e innovación consistente con la resiliencia ecológica; evaluación, diseño e innovación para soluciones autóctonas; y reconocimiento de cómo los sistemas naturales valoran el “diseño” (Thatcher, García-

Acosta, & Lange-Morales, 2013). Los cuatro principios que plantea la Ergonomía Verde están orientados a un diseño y desarrollo de producto que reconoce la diversidad y la incertidumbre en el proceso de diseño, proponiendo un abordaje participativo y el reconocimiento de lo local, incluyendo materiales y conocimiento.

De estos principios es posible deducir los valores subyacentes, cuya importancia para el diseño de sistemas (Clegg, 2000) y para la EFH en general ha sido señalada por varios autores (Dekker, Hancock, & Wilkin, 2013; Wilkin, 2010). Para relacionarlos con el DDP y con el Cs-tP, se toma como punto de partida los principios sociotécnicos para el diseño de sistemas propuestos por Clegg (2000), 19 principios organizados en meta-principios, principios de contenido y principios de proceso. Tanto la Ergoecología como la Ergonomía Verde dirigen su atención hacia el respeto por los recursos que dan y sustentan la vida, reconociendo una responsabilidad ética en dos direcciones: hacia lo ambiental / ecosférico y hacia lo social. De esta manera, se reconocen como el sustento axiológico la responsabilidad social y la responsabilidad ambiental, resumidos en seis valores, a saber: Respeto por la Tierra, respeto por los derechos humanos, respeto por la toma de decisiones ética, respeto por la transparencia y apertura, apreciación de la complejidad y respeto por la diversidad, los cuales son descritos en el artículo que constituye la parte central de este capítulo. En el siguiente apartado se relacionarán estos valores con el Cs-tP.

7.3 Los valores y su relación con el Cs-tP

Los primeros dos valores, el respeto por la Tierra y el respeto por los derechos humanos, son los valores que orientan el DDP desde una visión simétrica. Son, por así decirlo, los pilares axiológicos de la toma de decisiones, estando los dos al mismo nivel: ni se debe sacrificar el ambiente, ni se debe sacrificar al ser humano. Estos valores deben ser comprendidos y aplicados por todas las personas involucradas en el Cs-tP y su manejo debe ser paralelo a lo largo de todas las fases/etapas. Dependiendo de si estos valores son aplicados o no en el DDP, así como del momento en todo el Cs-tP en que se apliquen, depende si el desarrollo del producto se orienta hacia la insostenibilidad, hacia la eco-eficiencia (desarrollo sostenible) o hacia la eco-efectividad (sostenibilidad). Como se representa en la figura 7.2, el tomar como punto de partida, es decir, desde la visión, el respeto por la Tierra y el respeto por los derechos humanos, orientará el DDP hacia la sostenibilidad o el desarrollo sostenible, dependiendo si se decide trabajar por la eliminación o por la mitigación de impactos. Los productos resultantes de estos Cs-tP contribuirán a resolver necesidades humanas sin dañar ni al ser humano ni el medio ambiente o, en el peor de los casos, generarán menores efectos negativos en el medio ambiente (no sobra decir que, la no aplicación de estos valores conduce a la insostenibilidad). Es importante señalar que se concibe la orientación hacia el desarrollo sostenible o la sostenibilidad solamente cuando se toman ambos valores, dado que tanto el desarrollo sostenible como la sostenibilidad no solamente tienen la dimensión ambiental, sino la dimensión social.

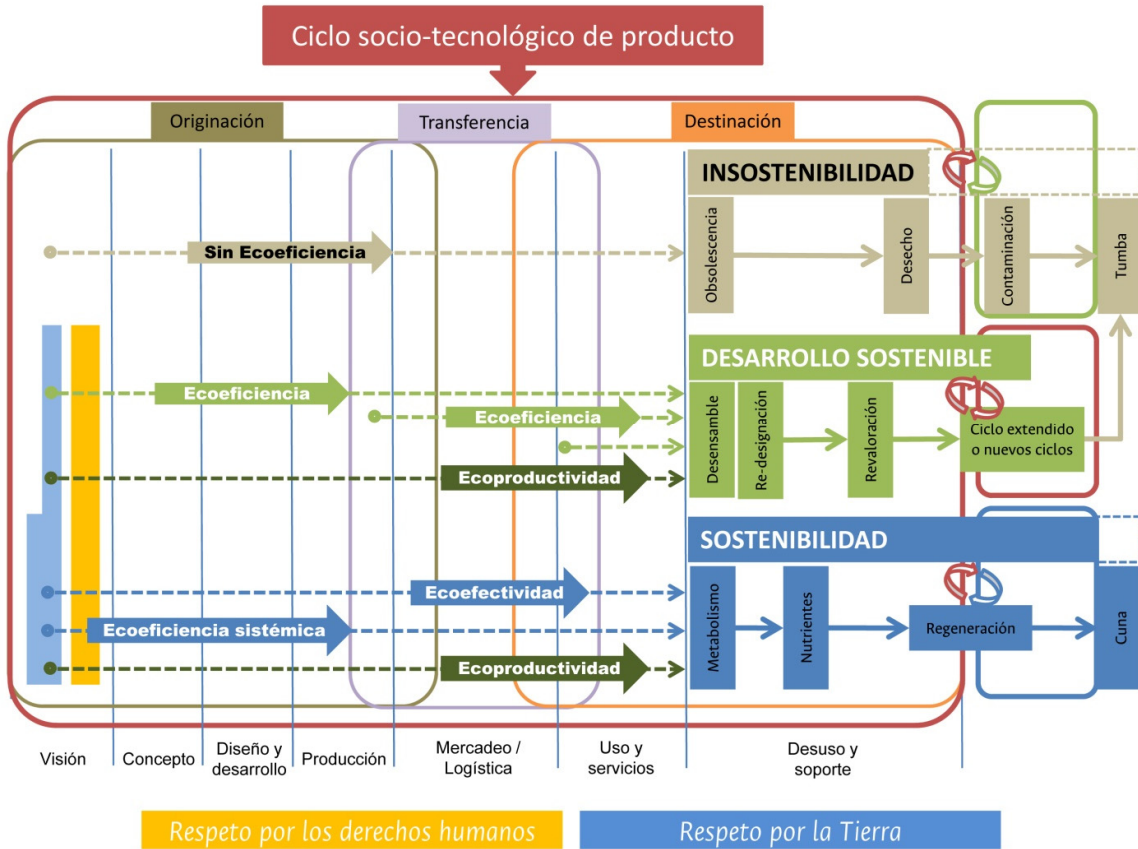


Figura 7.2 Relación de la aplicación de los valores fundamentales y el resultado del Cs-TP.

Ahora bien, aunque los dos valores anteriores establecen el norte, poco ayudan en el proceso cotidiano de diseño de productos, en el sentido de que no ofrecen unos lineamientos prácticos tanto durante las fases/etapas relacionadas con la comprensión de la problemática (visión, concepto), como durante las fases dedicadas a la configuración del producto (desarrollo, producción). Es aquí donde adquieren importancia los siguientes cuatro valores, los cuales están relacionados con los principios sociotécnicos para el diseño de sistemas señalados por Clegg (2000).

El tercer valor, respeto por la toma de decisiones ética, se relaciona con un meta-principio y con un principio de proceso: el diseño involucra la toma de decisiones y el diseño involucra procesos políticos. Durante todo el DDP los diferentes stakeholders deben tomar decisiones sobre el producto, incluyendo la forma, los materiales, los procesos productivos, etc. Cada miembro del equipo tratará que se elija la alternativa que más favorece a su área de competencia y es aquí donde reside el reto del valor de la toma de decisiones ética: ética significa que, por sobre todo, se respetarán los dos valores que dan el norte del DDP i.e. el respeto por la Tierra y el respeto por los derechos humanos. El equipo se verá forzado a pensar creativamente para lograr consensos que favorezcan –o en el peor de los casos no perjudiquen– el balance humano-ambiental del producto. Es aquí donde aparece el principio de proceso “el diseño

involucra procesos políticos”, ya que la toma de decisiones no es solo guiada por aspectos puramente técnicos, sino las decisiones involucran convencimientos e interacciones sociales. Así, si las ‘partes interesadas’ están convencidas de la importancia del abordaje simétrico, será mucho más fácil encontrar soluciones i.e. tomar decisiones que favorezcan el DDP social y ambientalmente responsable.

En cuanto al cuarto valor, respeto por la transparencia y la apertura, éste se relaciona con el principio sociotécnico de contenido, “los sistemas deben ser simples y hacer visibles los problemas”. Un proceso de DDP transparente y abierto es un proceso donde todos los involucrados son conscientes de las limitantes y las fallas, tanto del producto como del proceso. Esto se aplica tanto en el manejo de conceptos en general, como en el manejo del detalle del producto i.e. definición de requerimientos, diseño y ejecución de pruebas de producto (mecánicas, de usabilidad, etc), por ejemplo. La visión del producto debe ser clara y conocida por todos los participantes y todos los procesos deben ser guiados utilizando el máximo grado de información disponible.

El quinto valor, apreciación de la complejidad, se relaciona con un meta-principio sociotécnico, “el diseño es sistémico”, así como con un principio de contenido, “los componentes de un sistema deberían ser congruentes con el sistema que lo rodea”. El enfoque simétrico de la Ergoecología – socio-tecnológico por un lado y humano-ambiental por el otro – es un abordaje sistémico por excelencia, dando cuenta de una gran cantidad de variables inter-relacionadas que permite disminuir el grado de incertidumbre en el proceso del DDP.

Por último, el respeto por la diversidad es el valor que cierra la base axiológica del DDP y se relaciona con seis principios sociotécnicos, incluyendo tanto cuatro meta-principios como dos principios de proceso. Los meta-principios relacionados son los siguientes: el diseño debe reflejar las necesidades de múltiples ‘partes interesadas’, el diseño es un proceso social extendido, el diseño es conformado socialmente y el diseño es contingente, mientras que los dos principios de proceso son “los sistemas y el diseño deben pertenecer a los gestores y a los usuarios” y “el diseño involucra una educación multidisciplinaria.” En el Cs-tP aparecen una gran cantidad de ‘partes interesadas’, cada uno con perspectivas y necesidades distintas y es precisamente el respeto por la diversidad el valor que ayuda a armonizar esos intereses y resolver los conflictos que surgen inevitablemente. Uno de los aspectos que vale la pena resaltar son los mecanismos de integración de los sistemas de trabajo, entre los cuales se destacan la comunicación, la coordinación y el control. Para que estos mecanismos funcionen, es necesaria la educación multidisciplinaria, en donde se tejan lenguajes comunes y se valore el valor agregado que cada ‘parte interesada’ aporta en el DDP.

Finalmente, los valores mencionados no deben aplicarse única y exclusivamente en una de las fases/etapas del Cs-tP, sino deben integrarse a lo largo de todo el ciclo. La primera fase/etapa, la visión, es la primordial para establecer el “norte” en el DDP, ya que es aquí donde se define si estará orientado su desarrollo hacia la eco-eficiencia o hacia la eco-efectividad, como se dijo anteriormente, mediante la

incorporación de los valores de respeto a la Tierra y respecto a los derechos humanos de manera simétrica. A partir de la siguiente fase/etapa y a lo largo de todo el eje espacio-temporal de desarrollo, los otros cuatro valores deben acompañar todos los procesos de toma de decisiones, con el fin de garantizar que se mantengan los valores fundamentales, inclusive cuando aparecen los normales conflictos de diseño. La figura 7.3 representa gráficamente lo descrito en este párrafo.

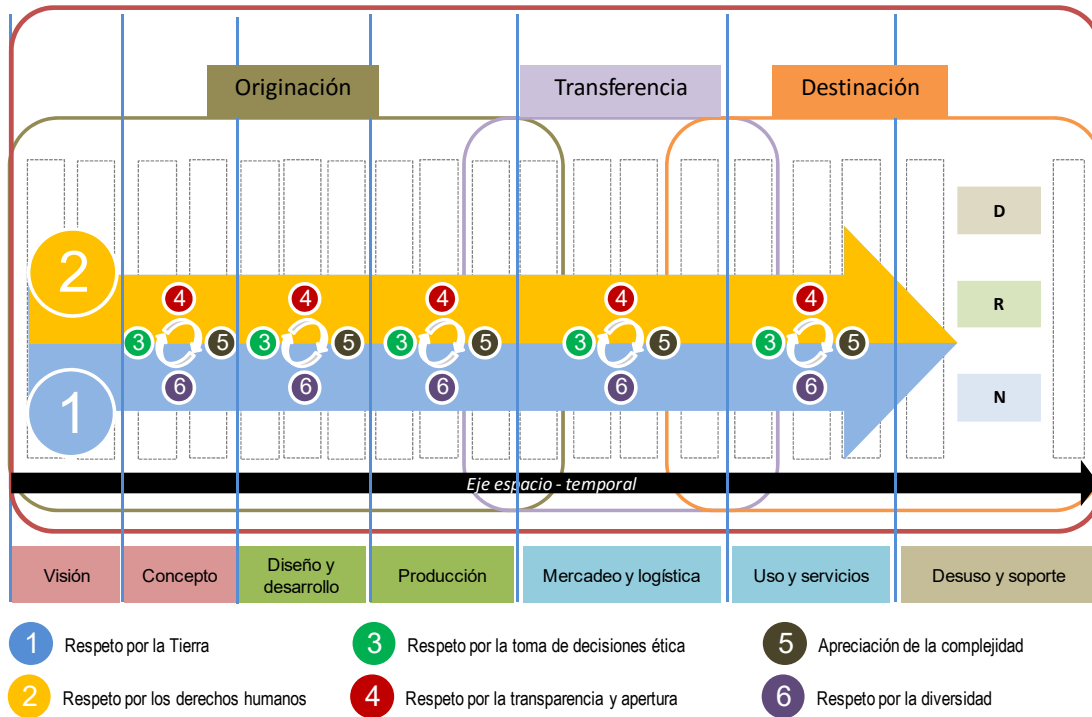


Figura 7.3 Aplicación de los valores a lo largo de todo el Cs-tP.

Con el fin de ejemplificar la aplicación de los valores en las distintas etapas del Cs-tP, la siguiente tabla ilustra algunas de las preguntas y decisiones que surgen al incorporar los valores en un caso concreto. Se toma como ejemplo el diseño y desarrollo del Opel Insignia, con base en las entrevistas realizadas para el desarrollo de ejemplos para la iniciativa EQUID (Vogler, 2012). Es de señalar que este producto, como todo vehículo, está inmerso dentro de un mercado y unos valores corporativos que lo que buscan es una mayor rentabilidad y dependen del consumo para subsistir, lo cual es contrario a la filosofía de la visión simétrica humano-ambiental en su sentido más amplio. Sin embargo, pese a las limitaciones dadas por el contexto general, el desarrollo y el resultado de este automóvil ejemplifica muy bien la aplicación de los valores orientados por lo menos hacia el factor humano.

Fase o etapa	Valor (es)	Ejemplo de cómo se aplicó en este proyecto
Visión	Respeto por los derechos humanos	El sentido del desarrollo del Opel Insignia se basó en una comprensión profunda del usuario, como estrategia para aumentar la satisfacción del cliente durante el uso del producto. Esta orientación inicial dio origen al proceso que denominaron “proceso de perfil de producto”, en el cual se estableció como línea base la consideración y respeto por las necesidades e intereses de los usuarios.

Fase o etapa	Valor (es)	Ejemplo de cómo se aplicó en este proyecto
Concepto	Apreciación de la complejidad y respeto por la diversidad	Se realizaron estudios de mucha profundidad en diferentes partes del mundo, con el fin de comprender las prácticas, los hábitos, las preferencias y las necesidades de las personas y del contexto donde se pretendía vender el vehículo. Esto llevó a la aplicación de estudios tanto cualitativos (con un fuerte componente etnográfico) como cuantitativos que permitieron caracterizar al usuario y el contexto, así como las interrelaciones entre éstos, reduciendo hasta cierto punto la incertidumbre inherente al DDP.
Diseño y desarrollo	Respeto por la toma de decisiones ética	Se generó un nuevo cargo denominado “ingeniero de perfil”, cuya función durante todo el desarrollo del vehículo fue velar por los intereses del usuario final. Estas personas se volvieron expertas en lo que el usuario final quiere y necesita. Durante las discusiones de los equipos de trabajo, los ingenieros de perfil representaban al usuario, con voz y voto. Si observaban que se estaban tomando decisiones que irrespetaran el perfil de producto definido inicialmente, podían escalar esta información a las directivas, ejerciendo así presión para que se respetaran las decisiones que favorecían el bien común del usuario.
Producción	Respeto por la transparencia y la apertura	Este valor está incorporado no solamente en el desarrollo de un producto específico en sí, como es el caso del Opel Insignia, sino es transversal al desarrollo los diferentes productos de la empresa (al menos en la sede observada). Consiste en el reconocimiento de los riesgos asociados al proceso productivo y su comunicación, tanto a quienes están realizando la labor como a la opinión pública en general.
Desuso y soporte	Respeto por la Tierra	Dentro de las limitaciones mencionadas en el párrafo introductorio, el desarrollo de este vehículo incorporó toda la normativa en materia ambiental existente a la fecha (2009), contribuyendo así hacia un producto orientado a la eco-eficiencia, por lo menos dentro del estándar del mercado.

7.4 Los valores y las partes interesadas

Para cerrar el tema de las bases axiológicas, es importante señalar que los valores no son una pieza más de información que debe transmitirse a las ‘partes interesadas’. Los valores no existen por sí mismos, requieren de un depositario y aparecen como cualidades que le confieren identidad a dicho depositario (Fronidzi, 1992), por tanto, hacen parte de la cosmovisión de las personas y, para que verdaderamente “funcionen” como valores, deben convertirse en parte de las creencias de las personas y no solo quedarse en el mundo de las ideas¹. Adicionalmente, los valores son comprendidos acá por un lado como relacionales, esto es, ni objetivos ni subjetivos y por otro lado, como situacionales, es decir, una cualidad que depende de las circunstancias y se hace relativamente más o menos potente, en función de ello. Por ejemplo, el agua será valorada y apreciada en épocas de sequía, mientras que será acusada y evitada en épocas de abundantes lluvias, por producir inundaciones y desastres. Los hechos y los argumentos en los que se apoya, son al final lo que establece el grado de valor, de tal manera, que las preferencias de las personas, se verán afectadas, de acuerdo a cómo perciben los opuestos i.e. seguridad - inseguridad; escasez - abundancia, por mencionar un par. Percibir e informarse que hay recursos energéticos suficientes o incluso abundantes, producen seguridad, por el contrario, estudiar e informarse sobre la

¹Como lo afirma Fronidzi: “la organización económica, jurídica, las costumbres, la tradición, las creencias religiosas, y muchas otras formas de vida que trascienden la ética, son las que han contribuido a configurar determinados valores morales, que luego son afirmados como existentes en un mundo ajeno a la vida del hombre”.

escasez y limitación de los recursos produce inseguridad y por tanto cambia la valoración y la actitud que se tiene sobre los recursos y el ambiente.

Durante la investigación sobre el diseño y desarrollo de producto realizada en el marco de la iniciativa EQUID (Ergonomics Quality in Design), se analizó en detalle el proceso de incorporación de la ergonomía y los factores humanos en un producto muy exitoso: el Opel Insignia. Este vehículo ganó una gran cantidad de premios internacionales, incluyendo el premio al Carro del Año 2009, siendo el primer automóvil de gama media que gana dicho galardón. Una de las cosas que caracterizó el desarrollo de este producto fue el manejo de cinco valores orientados al diseño centrado en el cliente (García 2009; Puentes et al 2013): a) respeto por la soberanía del cliente, b) comprensión profunda del cliente, c) competencia para traducir el lenguaje del cliente en especificaciones técnicas, d) persistencia para implementar el diseño centrado en el cliente en todo el equipo de trabajo y e) amor por el detalle (Vogler, 2012), documento inédito). Durante la entrevista, la Ing. Mariella Vogler, responsable en aquel momento de departamento de integración Humano – Vehículo (HVI), enfatizaba que el convencimiento profundo de los valores mencionados en el equipo de trabajo fue el punto clave del éxito del trabajo, más allá de los métodos y las herramientas empleadas desde la ingeniería, el diseño, la ergonomía y el control de calidad.

Es importante señalar, que la incorporación de los valores no se limita al equipo directo de diseño de producto. La comprensión y el convencimiento debe ir desde la junta directiva y la gerencia, quienes son los primeros que deben “enactuar” los valores que esperan guíen el desarrollo y se vean reflejados en el nuevo producto. Esto es especialmente importante en la toma de decisiones, en donde este enfoque demanda el respeto y la consistencia con los lineamientos tomados durante la visión, incentivando una aproximación creativa para la solución de los inevitables conflictos que surgen durante el DDP.

Finalmente, las posturas conceptuales sobre lo sostenible o no sostenible, lo ecoeficiente o lo ecoefectivo, entre otros, están sustentadas en determinados valores y muchas veces, esto pasa desapercibido por ser un a priori que no se involucra conscientemente en el supuesto mundo objetivo de la tecnología. La ventaja de asumir la postura socio-tecnológica es por un lado, insistir que no se puede desmarcar la dinámica de generación tecnológica de las dinámicas axiológicas socioculturales, y por otro lado, hacer explícitos y no apriorísticos, los valores sobre los que se parte y se toman decisiones en el DDP.

A continuación se presenta el artículo que cierra la cuarta y última parte del modelo de Cs-tP, que desarrolla lo hasta aquí introducido.

7.5 **Publicación. Towards a sustainable future through human factors and ergonomics: it is all about values.**

Lange-Morales K., Thatcher A. & García-Acosta G. (2014) Towards a sustainable future through human factors and ergonomics: it is all about values. *Ergonomics* 57, 11, 1603-1615.

[DOI:10.1080/00140139.2014.945495](https://doi.org/10.1080/00140139.2014.945495)

Recibido 4 Abril 2014; Aceptado 3 Julio 2014; Publicado online 14 Agosto 2014

ABSTRACT

In this paper, we analyse two approaches that attempt to address how a human factors and ergonomics (HFE) perspective can contribute to the sustainability of the human race. We outline the principles, purposes and fields of application of ergoecology and green ergonomics, and thereafter deal with their context of emergence, and the overlaps in purpose, and principles. Shared values are deduced and related to socio-technical principles for systems' design. Social responsibility and environmental/ecospheric responsibility are the leading threads of ergoecology and green ergonomics, giving rise to the values of: respect for human rights, respect for the Earth, respect for ethical decision-making, appreciation of complexity, respect for transparency and openness, and respect for diversity. We discuss the consequences of considering these values in HFE theory and practice.

KEYWORDS

Ergonomics; ergoecology; green ergonomics; sustainability; values

ATENCIÓN ¡

Las páginas 236 a 249 de la tesis, que contienen el artículo, pueden consultarse en el web del editor

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140139.2014.945495?journalCode=terg20>

7.5 Referencias

- Clegg, C. W. (2000). Sociotechnical principles for system design. *Applied ergonomics*, 31(5), 463-477.
- Dekker, S. W., Hancock, P. A., & Wilkin, P. (2013). Ergonomics and sustainability: towards an embrace of complexity and emergence. *Ergonomics*, 56(3), 357-364.
- Elkington, J. (1998). Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37-51.
- Fronzizi, R. (1992). *Introducción a la Axiología. ¿Qué son los Valores?* México: Editorial Fondo de Cultura Económica.
- García-Acosta, G., & Riba i Romeva, C. (2010). *From anthropocentric design to ecospheric design: questioning design epicentre*. Paper presented at the DS 60: Proceedings of DESIGN 2010, the 11th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.
- Mosquin, T., & Rowe, S. (2004). A manifesto for Earth. *Biodiversity*, 5(1), 3-9.
- Thatcher, A. (2013). Green ergonomics: definition and scope. *Ergonomics*, 56(3), 389-398.
- Thatcher, A., Garcia-Acosta, G., & Lange-Morales, K. (2013). Design principles for green ergonomics. In M. Anderson (Ed.), *Contemporary Ergonomics and Human Factors* (pp. 319-326).
- Vogler, M. (2012). *Customer centred vehicle development based on the example of the Opel Insignia*.
- Wilkin, P. (2010). The ideology of ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 11(3), 230-244.

8. CASO DE ESTUDIO – CORTE DE ROSAS

8.1. Introducción

El modelo de Cs-tP desarrollado en los anteriores capítulos, se utilizó como marco de referencia en el caso de estudio, bajo el proyecto titulado “(H - 16964) Optimización del corte intensivo de tallos de rosa desde una perspectiva ergoecológica”, que en su primera fase de recolección de información contó como co-investigador a Joshua Nieto Gamboa. Posteriormente en la fase de trabajo de campo y desarrollo, participaron como co-investigadores: Edwin Camilo Campos Mendieta, Vanessa Segura Duque y Jaime Andrés Sánchez Peralta. Institucionalmente, el caso de estudio contó con un apoyo financiero básico por parte de la ‘Dirección de Investigación y Extensión de la sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia’ (DIEB-UNC) y con la colaboración logística para el trabajo de campo, de un conglomerado agroindustrial que tiene alrededor de 40 empresas con cultivos de rosas en invernadero para exportación. El proyecto partió de los estudios previos realizados en Colombia y en el mundo, sobre problemática tanto osteomusculoarticular en miembro superior (Cordoba & Quintana, 2014) como tecnológica, relacionada directamente con las herramientas utilizadas para el corte intensivo (Ho, Squire, Sabe, Giles, & VanderGheynst, 2005). Se verificaron tanto estudios técnicos y publicaciones en revistas especializadas, como en patentes de herramientas de corte.

Se tomó de la primera parte del modelo la ergoecología y la ergonomía verde como marcos teórico/conceptuales, estableciendo un enfoque sistémico (sistemas bióticos – sistemas antrópicos), pero al mismo tiempo, como premisa permanente se buscó la doble simetría, esto es: lo social – lo tecnológico y lo humano – lo ambiental.

De la segunda parte del modelo, se acordó con todo el equipo de trabajo, a partir del reconocimiento de las tendencias y los métodos de DDP, tanto humanos como ambientales, utilizar por un lado, el método “Modelo Operativo de la Situación de Trabajo” (MOST) (Karen Lange-Morales, García-Acosta, Uruña-Téllez, & Pérez, 2012) centrado en la comprensión sistémica del trabajo de las operarias cortadoras. Por otro lado, se decidió manejar el método biomimético¹ centrado en la comprensión e inspiración de la naturaleza, siguiendo sus principios rectores de eco-efectividad, es decir, ‘sin intervención humana’, ya que en la naturaleza no se producen procesos bióticos contaminantes.

Con respecto a la tercera parte del modelo, se trabajaron las tres primeras etapas del Cs-tP y sus respectivos procesos, para actualmente estar en el proceso de pruebas / validaciones de prototipos, y por las novedades reconocidas por expertos de la DIEB-UNC, se decidió llegar a la redacción de patentes.

Una vez radicado el proceso de patentabilidad (que no hace parte constitutiva de esta tesis), se continuará con la etapa de diseño y desarrollo y se abordarán las siguientes etapas de producción, mercadeo y

¹ Enlace sobre el método biomimético. <http://biomimicry.net/about/biomimicry/biomimicry-designlens/>

logística, uso y servicios, hasta el desuso y soporte, ligados a un proyecto de emprendimiento universitario².

Finalmente, la cuarta parte del modelo se aplicó para la toma de decisiones, los primeros dos valores enunciados en el capítulo 7, que son orientadores y pilares axiológicos en el DDP desde una visión simétrica: el respeto por la Tierra y el respeto por los derechos humanos, de manera que se alcanzara el objetivo de desarrollar productos con resultados ambiental y socialmente responsables, esto es, sin dañar ni al ser humano ni al medio ambiente y, consecuente, con sostenibilidad integral.

El alcance del caso de estudio fue llegar hasta los primeros pasos de la fase de diseño y desarrollo de una herramienta de corte, que incluyó la elaboración de prototipos de comprobación / validación. Dentro del manejo de los procesos de diseño existieron aspectos ajenos al ámbito académico, relacionados con equipos y logística del trabajo de campo, que alargaron los cronogramas del proyecto e influyeron de muchas maneras en el desarrollo del mismo.

Adicionalmente, debido a la condición de confidencialidad impuesta por el proceso de patente, la fase de diseño y desarrollo sólo hará referencia a algunas alternativas preliminares trabajadas, que ya no son parte constitutiva y han sido modificadas, hasta el punto que evolucionaron sustancialmente hacia nuevas características mecánicas y futuras reivindicaciones.

El cultivo de flores para exportación se ha convertido en la segunda agroindustria que más aporta al PIB colombiano después del café, pero al mismo tiempo, las formas socio-tecnológicas del corte de rosas han derivado en un problema de salud pública, pues quienes realizan el corte de tallos –en su gran mayoría mujeres– efectúan movimientos repetitivos, esfuerzos mecánicos concentrados en mano y muñeca, que provocan enfermedades laborales (i.e. síndrome del túnel del carpo). Por tanto, el objetivo principal del proyecto consistió en explorar soluciones objetuales frente a los problemas asociados con el corte intensivo de rosas, utilizando la biomímesis y el uso de energía humana en condición saludable. Cabe resaltar que durante el desarrollo, el trabajo también permitió evidenciar tres características: a) el uso de nuevas estrategias metodológicas relativas al diseño e inspiradas en la naturaleza, b) conocer las ventajas y desventajas respecto a otros métodos convencionales y c) abordar un problema de diseño desde una perspectiva simétrica e integral. La biomímesis, como metodología usada en el desarrollo de este proyecto, permitió a los investigadores conocer nuevas maneras de diseñar objetos, más creativas y ambientalmente responsables.

Se espera que este trabajo pueda brindar una óptima solución a la problemática asociada al corte intensivo de rosas, y por otra parte, abra las puertas de la academia a la biomímesis y otras disciplinas bioinspiradas, de manera que las aplicaciones aquí expuestas puedan ampliar las bases de una nueva

²La Universidad Nacional de Colombia tiene una unidad de emprendimiento, que ha empezado el acompañamiento con este proyecto. <http://www.emprendimiento.unal.edu.co/>

disciplina universitaria, con el fin de incorporarla a los procesos de diseño, incentivar estrategias diferentes de innovación y dar a conocer esta admirable filosofía de vida.

El contenido del presente capítulo muestra el DDP siguiendo el modelo Cs-tP propuesto, centrado en el estado de originación y cubriendo las tres primeras fases que son: Visión, concepto, diseño y desarrollo, con sus respectivos procesos/pasos, que se resaltan en la figura 8.1.

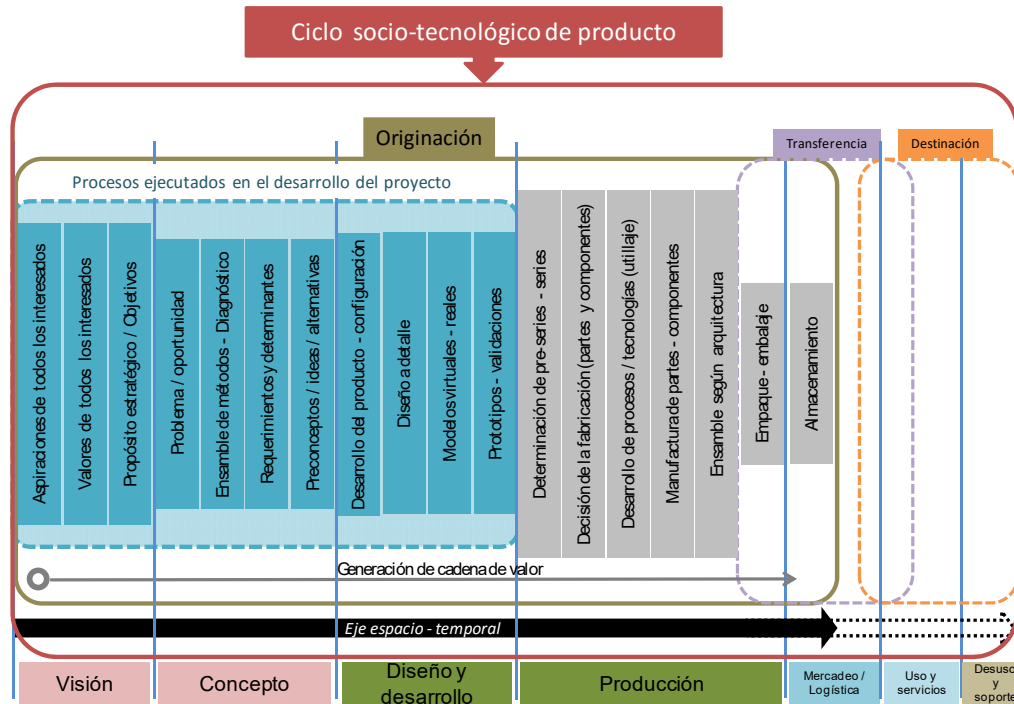


Figura 8.1 Etapas de visión, concepto, diseño y desarrollo de productos, cubiertas en el caso de estudio.

A continuación se describen, en la fase de visión, los tres procesos/pasos que la conforman: a) las aspiraciones de las partes interesadas, b) los valores compartidos por las partes interesadas y c) el propósito estratégico, así como los objetivos. Inmediatamente después, en la fase de concepto, de manera sucinta se explican los procesos/pasos constitutivos: a) selección y ensamble de métodos, b) diagnóstico y problema, c) requerimientos y determinantes y d) preconceptos, ideas o alternativas. Finalmente, en la fase de diseño y desarrollo se manejan como procesos/pasos: a) desarrollo del diseño - configuración, b) diseño a detalle, c) modelos virtuales – reales y d) prototipos – validaciones.

8.2. Fase de Visión

Se realizaron sesiones de trabajo y talleres con las 'partes interesadas', en donde a través de una 'puesta en común' se expresaron abiertamente los roles e intereses, hasta llegar a comprender las diversas aspiraciones, valores asociados y expectativas. Finalmente se estableció un propósito estratégico y se acordaron los objetivos, general y específicos. Es importante recalcar que, a partir de este momento, en la fase de visión se inició la generación de la cadena de valor y adicionalmente con la confluencia de los valores, se estableció la orientación para trabajar simétricamente la solución de la problemática en salud

laboral y al mismo tiempo, preservar las condiciones ambientales, es decir, no demandar energía adicional o crear nuevos circuitos de manejo de materiales o insumos post-consumo. De acuerdo con lo anterior, las aspiraciones y valores se orientaron hacia la sostenibilidad.

8.2.1 Aspiraciones de los interesados

Actuaron como ‘partes interesadas’ en diferentes momentos del Cs-tP las siguientes personas:

1. Un gestor de proyecto (Investigador principal).
2. Un ergónomo (Investigador principal).
3. Cuatro gestores de producto (investigador principal y tres co-investigadores).
4. Una Estrategia de inversión (Departamento administrativo de Ciencia y Tecnología / Colciencias).
5. Dos emprendedores, fabricantes / comercializadores / mantenedores (dos de los co-investigadores).
6. Ingenieros (un ingeniero mecánico y dos ingenieros agrícolas).
7. Un grupo de estadísticos para procesamiento y definición de variables de diseño.
8. Una antropóloga para revisión del enfoque etnográfico.
9. El gerente de producción del grupo industrial (40 cultivos).
10. El médico de Seguridad y Salud en el Trabajo del grupo industrial.
11. La directora de Seguridad y Salud en el Trabajo del grupo industrial.
12. Los cuatro gerentes generales de las agroindustrias (cultivos) donde se realizó el trabajo de campo.
13. Los cuatro directores de producción de cada cultivo (programa de productividad Meteoro y programa ambiental Flor verde).
14. Las cuatro directoras de talento humano (programa de Salud Ocupacional).
15. Cuatro supervisores de invernadero, uno por cada cultivo.
16. Usuarios finales, trabajadores líderes de cosecha en cada cultivo, específicamente ‘cortadoras de rosa’ (alrededor de seis por cada cultivo).
17. Dos expertos en patentes y transferencia de conocimiento (DIEB-UNC).

Las aspiraciones recogidas de las ‘partes interesadas’ fueron diversas, pero al mismo tiempo complementarias, y se pueden agrupar en:

- Las aspiraciones para que se mantengan buenas condiciones de salud y seguridad laboral, porque finalmente esto se refleja en trabajos estables, con calidad de vida y con un compromiso corporativo por la responsabilidad social. Las ‘partes interesadas’ son: 9, 10, 11, 13 y 15.
- Las aspiraciones en mantener o incluso mejorar la productividad, o más aún, en reducir los costos derivados de prácticas deficientes y tecnologías inapropiadas. Las ‘partes interesadas’ son: 5, 8, 11, 12, 14 y 15.

- Las aspiraciones para promover la investigación en el sector agroindustrial y fortalecer la relación Universidad – Empresa, para aprovechar los beneficios en descuentos de impuestos, por invertir en I+D y articularse con los programas gremiales i.e. Flor Verde. Las ‘partes interesadas’ son: 1, 3, 4 y 17.
- Las aspiraciones para resolver problemas humanos, sin generar problemas ambientales, es decir, investigar, patentar e innovar para frenar la problemática de salud pública y laboral, pero al mismo tiempo, evitar soluciones que produzcan impacto ambiental negativo. Como ‘partes interesadas’ están: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16.
- Las aspiraciones para realizar un emprendimiento, por parte de jóvenes profesionales interesados en seguir desarrollando productos viables de fabricar y ensamblar en Colombia, pues a partir de la innovación y las patentes, se pretende crear una nueva empresa productiva orientada al sector agroindustrial. Como ‘parte interesada’ está: 5.

Las aspiraciones de los que forman parte del grupo industrial se resumen en dos: a) Preservar la productividad y el control de costos y b) mantener buenas condiciones de salud y seguridad en el trabajo. Las aspiraciones del ente estatal de I+D (COLCIENCIAS) son: a) promover la investigación para mejorar competitividad, b) contribuir a la relación Universidad – Empresa. Entre las aspiraciones de la Universidad Nacional de Colombia y en particular del grupo de investigación están: a) desarrollar investigaciones aplicadas y b) desarrollar procesos de patentes. Las aspiraciones de los co-investigadores, que quieren asumir el rol de jóvenes empresarios, para respaldar a su vez al sector agroindustrial son: a) innovar e b) investigar con enfoque sostenible.

8.2.2. Valores de los interesados

Existen diversos valores, tanto como perspectivas de DDP según las ‘partes interesadas’, por tanto, en la puesta en común se enunciaron y plantearon como valores compartidos, dos considerados base y guía para la toma de decisiones: 1) El respeto por la tierra y 2) el respeto por los derechos humanos.

El tercer valor discutido fue el respeto por la toma de decisiones ética, que a su vez estableció los lineamientos para hablar simultáneamente de responsabilidad social y de responsabilidad ambiental. Cada decisión de diseño a lo largo del Cs-tP implicó tomar consciencia del efecto social y ambiental, así como reconocer que el direccionamiento hacia la responsabilidad social y ambiental, establece una postura política de todas las ‘partes interesadas’. En esta línea de decisiones ética, el proyecto de DDP de una nueva tijera–podadera de corte de tallos de rosa, debió, por un lado, favorecer el plan ambiental sectorial con el eco-sello y el estándar “Flor Verde” para la producción sostenible de flores y ornamentales³, de acuerdo con su última versión (6.0-1) del año 2014. Paralelamente, buscó favorecer el plan de seguridad y

³Florverde® Sustainable Flowers.

http://www.florverde.org/https://dl.dropboxusercontent.com/u/103108736/Documentos_normativos/201412_EstandarFlorverdeV6%200E6%200-1.pdf

salud en el trabajo del sector floricultor, derivado del programa de responsabilidad social, que tiene la Asociación de Exportadores de Flores en Colombia (Asocolflores), con la línea de intervención en competitividad⁴. De acuerdo con los resultados epidemiológicos del registro de enfermedades laborales, el grupo agroindustrial está orientado a privilegiar el bienestar y estabilidad en el trabajo de las personas empleadas en los cultivos –i.e. cortadores. Lo anterior busca evitar que se agudice, por un lado, la tendencia de enfermedades laborales asociadas al corte intensivo, sin aplicar estrategias de rotación o desvinculación y, por otro lado, prescindir de demandas energéticas o de mantenimientos, que deriven en insumos adicionales y en nuevas cadenas de desechos.

Un cuarto valor planteado fue el respeto por la transparencia y apertura, que está totalmente alineado con la última versión ya mencionada del estándar “Flor Verde”. Adicionalmente, bajo el principio socio-técnico de que los sistemas deben ser simples, las principales premisas de diseño fueron: a) desarrollar una herramienta sin dependencia de subsistemas complejos de carga de aire o de carga de baterías, que impliquen más impacto de trabajo y residuos de insumos; b) simplicidad y baja complejidad de las partes de la herramienta; c) mínima dependencia tecnológica y adecuadas redes de servicio a cultivo. Como respeto a la transparencia, se identificaron limitaciones y fallas que podían llegar a afectar el desempeño de la herramienta, pero que por el momento se salieron del alcance del proyecto, como por ejemplo, a) guantes de dotación de los cortadores, cuyas dimensiones antropométricas y calidad de los materiales inciden en la comodidad y maniobra de las herramientas de corte; b) dependencia tecnológica de proveedores internacionales, de algunos componentes para la versión neumática.

El quinto valor reconocido por las ‘partes interesadas’ es la apreciación por la complejidad, que desde la perspectiva sistémica se articula con la doble simetría de los Cs-tP, esto es, socio-tecnológico y humano-ambiental. Ya que el principio socio-técnico de contenido, dice que los componentes del sistema deberán ser congruentes con el sistema que lo rodea, consecuentemente, fue importante reconocer todas las tecnologías disponibles en los cultivos y constatar que no se dispone ni de redes de recarga energética, ni de redes de obtención neumática, por lo tanto, el DDP reconoció esa condición de los cultivos, para que la viabilidad de las alternativas de diseño derivara del estado tecnológico del sector, de su capacidad de respuesta y de los costos de la implementación de un cambio tecnológico.

El sexto valor planteado fue el respeto por la diversidad, para ser coherente precisamente con las diversas perspectivas y aspiraciones de las partes interesadas. La puesta en común permitió reconocer cómo las aspiraciones y valores son compartidos por grupos de partes interesadas, como se puede ver en la figura 8.2., que esquematiza los tres grupos mencionados y representa las aspiraciones, los valores compartidos y las partes interesadas, de acuerdo a la lista descrita arriba en la sesión de aspiraciones de los interesados. Si el meta-principio socio-técnico dice que el diseño es un proceso social extendido, una característica del

⁴ <http://www.asocolflores.org/servicios/responsabilidad-social/39>

Cs-tP es reconocer, valorar y hacer efectivas todas las voces de las ‘partes interesadas’, para tomar decisiones a lo largo de todo el ciclo.

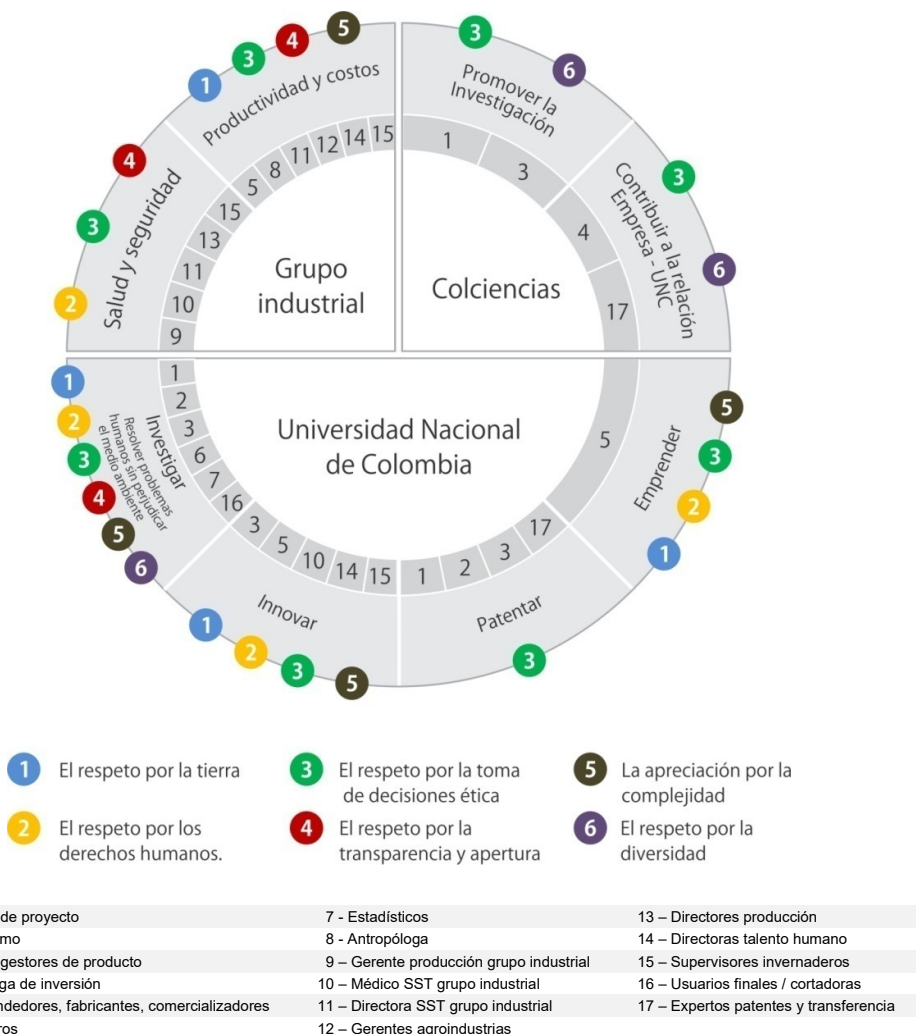


Figura 8.2 Grupos de aspiraciones, partes interesadas y valores compartidos.

8.2.3 Propósito estratégico

El propósito estratégico de las ‘partes interesadas’ fue enfrentar la problemática social relativa a la salud en el trabajo, asociada al corte intensivo de tallos de rosa, sin generar impactos ambientales derivados de usos de energía adicionales o incorporar tecnologías que impliquen desechos sin cadenas de reciclaje factibles. Para lograrlo, el proyecto se abordó desde dos miradas, por un lado la *bioimitación* y por otro lado el uso eficiente de la energía humana, es decir, sin efectos nocivos en la salud de los cortadores. Lo anterior converge con el propósito gubernamental enunciado en el plan nacional de desarrollo Colombiano 2010 -2014⁵ específicamente con la línea de crecimiento sostenible y competitividad donde se enuncia que es una necesidad prioritaria mejorar las técnicas de producción y condiciones de

⁵ <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/PND-2010-2014/Paginas/Plan-Nacional-De-2010-2014.aspx>

desenvolvimiento de las actividades de los trabajadores, todo esto enmarcado en una política para el desarrollo sostenible con el medio ambiente. Estos planes estatales han venido germinándose desde gobiernos anteriores, siendo Asocolflores uno de los gremios líderes en la implementación de políticas cada vez más relevantes para un mundo globalizado y competitivo. Como sector agroindustrial agremiado, es de resaltar que los floricultores colombianos tienen una política hacia la sostenibilidad. Reconocen claramente que los mercados internacionales velan por el cumplimiento ya no solo de criterios de calidad del producto, sino por el impacto en el contexto social y ambiental que producen. Asocolflores ha planteado para ello una estrategia de responsabilidad social corporativa sobre cuatro ejes: liderazgo sectorial, ciudadanía corporativa, entorno laboral y concertación con lo público (Asocolflores, 2010).

Derivado de lo anterior, el Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (Ceniflores⁶), surge como respuesta a esta necesidad prioritaria en el 2004, fundamentándose bajo los objetivos de orientar los recursos nacionales e internacionales de investigación a las necesidades del sector floricultor Colombiano para lograr un “desarrollo sostenible”. La problemática identificada en la técnica actual de corte intensivo de rosas, no solo evidencia una falencia en la cadena productiva, sino también en la salud laboral de los trabajadores, afectándoles directamente su condición de calidad de vida. Es para el DDP pertinente la valoración, el diagnóstico y la solución de problemáticas que acogen aspectos de interfaces de trabajo, por lo tanto los objetivos general y específicos que se enuncian a continuación, buscaron resolver dicha problemática.

En línea con lo anterior, tanto los valores como el propósito estratégico se proyectaron hacia la sostenibilidad, apoyándose en metodologías que manejan como premisa tanto la eco-efectividad, como la eco-eficiencia sistémica, que buscan por una parte la restauración y el metabolismo técnico y por otra parte, el balance entre sistemas bióticos y antrópicos. De acuerdo con la figura 8.3, del modelo Cs-tP, todas las decisiones desde la visión y de allí en adelante, que estén al alcance de las ‘partes interesadas’ se guiarán, en la medida de lo posible, tanto por la eco-efectividad como por la eco-eficiencia sistémica.

⁶ <http://www.ceniflores.org/>

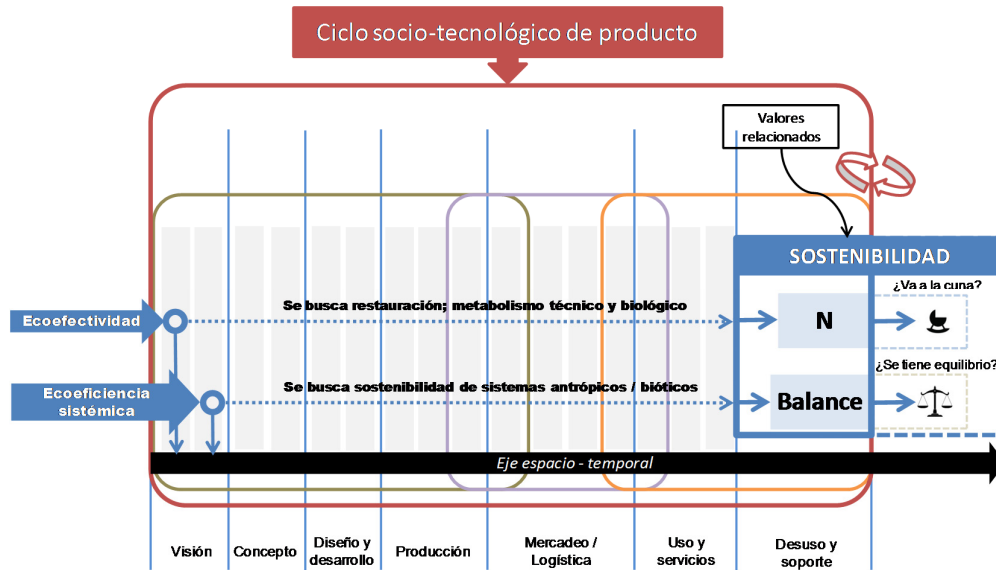


Figura 8.3 Ciclo socio-tecnológico de producto orientado hacia la sostenibilidad social y ambiental.

El objetivo general fue explorar soluciones objetuales que integren innovaciones socio-tecnológicas a los problemas asociados con el corte intensivo de rosas en invernadero, desde una perspectiva ergoecológica, con énfasis en la sostenibilidad integrada humano-ambiental.

Los objetivos específicos fueron:

1. Analizar sistémicamente la actividad del corte intensivo desde una perspectiva simétrica humano-ambiental (ergoecológica).
2. Deducir los criterios socio-tecnológicos que caracterizan la cosecha agroindustrial de rosas en invernadero, para obtener parámetros y requerimientos de diseño.
3. Explorar alternativas (conceptos/modelos) de corte de tallos de rosa desde la biomímesis o la biónica sostenible.
4. Proponer alternativas (conceptos/modelos) de dispositivos de corte de tallos de rosa bajo el criterio de sostenibilidad humana y ambiental.

8.3. Fase de Concepto

8.3.1 Problema

Colombia es el segundo país exportador mundial de flores después de Holanda, y es reconocido por su excelente calidad y variedad en flores cortadas debido a factores climáticos, económicos y de mercado, que le permite tener oferta durante todo el año. Estados Unidos es uno de los principales destinos entre los 89 países que reciben las plantas colombianas. Según cifras del Departamento Nacional de Estadísticas de Colombia (Dane⁷) y del Centro de Promoción de exportaciones (Proexport / Procolombia⁸) se exportan

⁷ <http://www.dane.gov.co/>

⁸ <http://www.procolombia.co/procolombia/que-es-procolombia>

principalmente rosas (32%), claveles (14%), crisantemos (8%) y mini claveles (7%) del total de exportaciones de flores cortadas, que conforman el 6.6% del PIB agropecuario nacional (Asocolflores, 2010). La producción de flores en Colombia se realiza principalmente por PYMES ubicadas en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca y representadas por la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, Asocolflores.

Los 780 cultivos afiliados a Asocolflores, no tienen un proceso altamente tecnológico en el corte intensivo de flores que les permita garantizar y mantener altos márgenes de producción, para cumplir con la demanda, sin afectar el bienestar de los trabajadores. En el caso del corte de rosas, las condiciones de la actividad generan agravantes, en primer lugar, la rosa es la flor de más volumen de exportaciones, lo que exige trabajo con gran repetitividad, incrementándose en temporada alta: Fiestas de San Valentín y día de las madres (entre 250 – 400 cortes hora); en segundo lugar, los tallos son leñosos y por ende requieren de más fuerza de corte que otros (hasta 39 lb-f en algunas variedades); en tercer lugar, los puntos de corte del tallo son altos (más de 1.5 metros) y la talla de las cortadoras está en percentiles bajos, representados con dimensiones de 1.40 metros. Ahora bien, en el eje del entorno laboral hay cinco aspectos de la política de sostenibilidad de Asocolflores: 1. Contratación de mano de obra local; 2. Generación de empleo formal; 3. Estabilidad laboral; 4. Formación y desarrollo de los trabajadores y; 5. Beneficios adicionales a los demandados por ley. Los tres primeros aspectos tienen una alta relación con las condiciones de trabajo y salud, del que se deriva la preocupación por el impacto negativo que está causando el corte intensivo de flor, reflejado en los reportes de enfermedad laboral.

Las cortadoras de rosas, luego de algunos años de trabajo, sumado a los malos hábitos de uso de las herramientas, al pésimo mantenimiento y su deficiente desempeño derivado, sufren de enfermedades o síndromes en sus miembros superiores e inferiores. Algunas de las enfermedades laborales que son diagnosticadas en las cortadoras son: el síndrome del túnel del carpo, la epicondilitis y el síndrome de hombro congelado (Paget, Gibofsky, & Beary, 2001). Lo anterior ha generado un problema de salud pública, por el incremento de reportes epidemiológicos de las administradoras de riesgos laborales, que tienen vinculados trabajadores de cultivos de flores en la sabana de Bogotá.

La problemática anteriormente expuesta puede observarse desde tres dimensiones: la dimensión socio-técnica, la dimensión económico-productiva y la dimensión ambiental. Cada una de ellas está construida con base en las condiciones políticas, económicas, sociales, tecnológicas y ecológicas del entorno, que permiten posteriormente identificar en el diagnóstico, los factores de diseño, representados tanto en determinantes, como en requerimientos de diseño.

Dimensión socio-técnica:

Como problemática desde la dimensión socio-técnica, están las condiciones de trabajo en las labores de cosecha, en donde es común reconocer enfermedades profesionales asociadas a la intensidad, la repetitividad y el sobreesfuerzo; a las deficiencias en las tecnologías de trabajo

(herramientas y dispositivos asociados a la actividad); o al uso de pesticidas y agroquímicos altamente tóxicos. Los impactos negativos sociales y económicos en la salud de las cortadoras, afectan tanto su estabilidad laboral, como su calidad de vida. Respecto a lo primero, por buscar estabilidad laboral, en ocasiones las cortadoras no reportan las molestias o dolores, por temor a ser reemplazadas o reubicadas; dicha incertidumbre se incrementa, si se tiene en cuenta que las oportunidades de trabajo en el contexto regional se han concentrado en la floricultura y la mayoría de personas solo aprenden los oficios asociados a dicho sector. En relación con lo segundo, las cortadoras diariamente deben realizar labores en casa que les exigen trabajo con las manos, como por ejemplo lavar ropa, asear la casa y cocinar, que terminan agudizando el sobre-uso y la fatiga acumulada en miembros superiores, lo que impacta su salud integral, su bienestar emocional, así como la estabilidad del núcleo familiar.

Los efectos económicos y sociales de estas enfermedades tienen doble vía y son de grandes proporciones. Por un lado está el impacto en los trabajadores y sus familias que aún llegando a obtener jubilaciones por enfermedad laboral, se verán afectados en sus ingresos y sobre todo en su calidad de vida. Por otro lado, las empresas y las aseguradoras de riesgos laborales, quienes deben cubrir los costos de tratamiento de estas patologías o los de jubilación, se ven abocados a vincular cortadoras sanas, que de no cambiar las condiciones de trabajo terminarán también enfermando y de nuevo encadenando pérdidas económicas y de productividad, que confirman el fenómeno de salud pública derivado de no resolver la problemática socio-tecnológica hasta aquí reseñada.

Desde el punto de vista del impacto en la salud, la suma de dos de las tres siguientes variables biomecánicas: fuerza, repetitividad y movimiento, son las generadoras de la enfermedad laboral. En la actividad de corte de rosas, las tres variables se ven alteradas por sobreesfuerzo, alta frecuencia de tallos cortados y malas posturas por movimientos forzados, que derivan en desórdenes de trauma acumulativo (DTAs) o lesiones por esfuerzo repetitivo (LER). Para el caso particular de miembro superior, el corte intensivo con tijera – podadera, está asociado a la patología conocida como síndrome del túnel del carpo (STC). El STC es una patología multifactorial en la que pueden incidir condiciones hereditarias, tabaquismo y alcoholismo entre otras, pero indudablemente contribuye la confluencia de un trabajo asimétrico o concentrado en un solo miembro, con desviaciones de muñeca, fuerza de flexión y extensión de los dedos de la mano y repetitividad de la actividad (corte). En términos fisiológicos, la repetitividad impide la recuperación muscular y tal sobreuso sumado a la fuerza y las desviaciones de la muñeca, aumentan la presión al interior del túnel del carpo (con la consecuente presión del nervio mediano), hasta convertirse en una neuropatía difícil de revertir. El STC es una enfermedad dentro del grupo de DTAs o LER, que más se ha estado reportando en el sub-sector floricultor colombiano.

Ahora bien, la tijera–podadera para cortes ocasionales, no está diseñada para realizar cortes intensivos y sus dimensiones estructurales no corresponden a las de la población colombiana. Esta diferencia se incrementa si se considera que la mayoría de los trabajadores son mujeres, de hecho,

estudios dinamométricos (Barrero et al., 2012; Zequera Díaz, García Acosta, Zequera Díaz, & Lange Morales, 2000) refuerzan la evidencia que las medidas antropométricas de las operarias son incompatibles tanto con las dimensiones, forma y peso de las tijeras – podaderas, como de los elementos de protección (guantes) más usuales, dicha incompatibilidad termina haciendo difícil o ineficiente el agarre de la herramienta, lo que aumenta el esfuerzo de agarre. Adicionalmente, los rangos de movilidad extremos que adopta la articulación mano- muñeca durante el corte, se suman a la demanda extra laboral.

Hay estudios que evidencian que el corte intensivo de rosas en invernadero con una tijera – podadera incompatible antropométrica y biomecánicamente, es causal de las lesiones producidas por trabajo repetitivo. Con base en este escenario, varios investigadores (Berrío, Barrero, & Quintana, 2011; García-Cáceres, Felknor, Córdoba, Caballero, & Barrero, 2012) continúan adelantado estudios en el sector floricultor con miras a comprender la problemática desde una perspectiva ergonómica, para generar respuestas que solucionen y faciliten el trabajo actual de los trabajadores. Dichos estudios han contribuido en gran medida a mejorar el desempeño de ayudas técnicas que hacen parte del sistema como herramientas y elementos de protección personal. No obstante, el sector sigue demandando alternativas para herramientas de corte que minimicen o supriman los efectos negativos en la salud de los trabajadores, como por ejemplo; el síndrome del túnel del carpo.

Ahora bien, según las siguientes estadísticas por actividad económica de la accidentalidad y la enfermedad laboral brindadas por el sistema de información gremial (SIG) para el año 2009, gestionado por la Federación de Aseguradores Colombianos (Fasecolda, 2013), el sector floricultor representa una alta participación en el impacto negativo sobre la población trabajadora. A continuación en la figura 8.4, se pueden ver cuatro variables registradas, con los siguientes datos comparativos entre sector general (agricultura, caza y silvicultura) y el subsector floricultor:

Variables 2009	Sector agropecuario general	Sector floricultor
N ^a de empresas - %	21. 266 - 100%	973 - 4.58 %
N ^a de trabajadores - %	267.236 - 100%	73.055 - 27 %
Enfermedad Ocupacional	807 - 100%	659 - 81,41 %
Número de indemnizados - %	119 - 100%	96 - 80, 68 %

Figura 8.4 Porcentajes del subsector floricultor con relación al general, desde cuatro variables.

Para esta fecha (2009) tanto en enfermedad ocupacional como en indemnizados por enfermedad, el subsector floricultor representaba más del 80% del sector agropecuario, confirmando la gravedad y necesidad de tomar medidas correctivas tanto por el efecto en la salud de la población laboral, como en los costos asociados a las compañías aseguradoras. La misma fuente señala que para el

año 2010 el síndrome del túnel del carpo representaba el 30,1% del total de las enfermedades a nivel nacional.

Estas alarmantes estadísticas, se complementan con el informe de la Dirección General de Riesgos Profesionales del Ministerio de la Protección Social de Colombia (2007b), que monitoreó entre 2001-2005 y encontró que la enfermedad laboral con mayor presencia era el síndrome del túnel carpiano, diagnosticándose el 32% del régimen contributivo. Entonces, es claro ver que la población más vulnerable a presentar desórdenes musculoesqueléticos son los del sector floricultor, como resultado de una alta demanda de esfuerzos físicos y repetitivos en los miembros superiores, que se requieren para las actividades de cosecha de flores.

Por último, de no solucionarse la problemática, se producirá un impacto social aún mayor, que puede verse reflejado en el rechazo al sector por parte de clientes nacionales y extranjeros que direccionan programas de vigilancia respecto al cumplimiento de la responsabilidad social de las empresas productoras de rosas.

Dimensión Económico-productiva:

Como impacto económico-productivo se encuentra la pérdida de mercados debido a que los clientes pueden observar la falta de responsabilidad ambiental o deficiencias en el cumplimiento del sistema de certificación Florverde. Asimismo, los floricultores pueden terminar destinando recursos en costosos tratamientos de tierra, agua o en complejas logísticas de manejos de desechos sólidos.

Las empresas floricultoras deben hacer estimaciones del número de horas de trabajo perdidas o ausentes por enfermedad vs las horas programadas, con el propósito de planear con anticipación la cantidad de horas de trabajo a remplazar en producción. Esta condición del sector floricultor reduce los beneficios económicos, si se tiene en cuenta que está presupuestado en condiciones normales, que los costos de mano de obra asciendan fácilmente a un 50% del total de los costos de producción de flor (Superintendencia de sociedades, 2013).

En cuanto a las herramientas, aunque la tijera-podadera cumple adecuadamente con el coeficiente de productividad que los cultivos necesitan para mantenerse en el tiempo, no responde a la variedad de la dureza de los tallos, a la variedad de diámetros y a la fuerza de corte de los tallos, entre otras. Adicionalmente, una solución al corte intensivo no debe sobrepasar económicamente la posibilidad de inversión del sector floricultor colombiano. Las alternativas que existen en el mercado que podrían reemplazar la fuerza de la mano (eléctrica: \$6'900.000 y neumática: \$3'500.000 pesos colombianos) son muy costosas para ser adoptadas por los cultivos locales, considerando que una tijera manual vale alrededor de \$200.000 pesos colombianos, es decir 34 veces menos que una eléctrica, además, requerirían inversiones adicionales de sistemas neumáticos o de sistemas de recarga y reemplazo de baterías. De hecho, existe una falta de interés en el desarrollo e innovación tecnológica específicamente hacia el sector floricultor, mostrada por las actuales compañías que

tienen las principales cuotas del mercado. Por último, es importante recordar que, en la medida en que un sistema es más complejo, los costos de mantenimiento y la adquisición de partes de todo el sistema se incrementan.

Dimensión Ambiental:

La problemática ambiental en este sector está relacionada con el impacto a los terrenos (salinidad y sobrecarga de abonos y pesticidas), el consumo excesivo y mal tratamiento de aguas subterráneas, así como el constante desecho de materiales que van desde el manejo de los plásticos de invernaderos hasta partes de insumos y herramientas. Complementario con lo anterior, la demanda de energía depende de recursos eléctricos no autónomos y aumenta, si se considera que el sector tiende a usar herramientas eléctricas para otras labores.

Adicionalmente, las herramientas de corte actuales (fabricadas en países diferentes a Colombia) no disponen de estrategias de reuso o reciclaje de los materiales, partes o componentes. Algunos cultivos ya han implementado tijeras–podaderas manuales con cambio de repuestos, que ahorran grandes capitales al año y reducen significativamente la huella ecológica que ocasiona desechar una tijera–podadera completa.

Además, al estar en un contexto agroindustrial (y aplica para todos los sectores), se debe disponer de alternativas que impacten lo menos posible el medio ambiente circundante. En el caso de la herramienta actual, con el uso de energía humana se reduce el impacto energético, cosa que no se cumple con las alternativas de cortes eléctricas y neumáticas hasta ahora existentes en el mercado, que basan su funcionamiento en el uso de energía no renovable y derivado de subsistemas complementarios.

Basados en el Sistema de Certificación Florverde, es necesario establecer otro tipo de dinámicas en los cultivos, que no impliquen el consumo de otras fuentes de energía (eléctricas y neumáticas) para evitar procesos de reciclaje y manejo de baterías desahuciadas por pérdida de capacidad y estabilidad de recarga, e incremento en los costos por compras de nuevos suministros y mantenimiento, entre otros. Actualmente el corte con herramienta (tijera– podadera) es una actividad que solo demanda energía humana, pues el accionamiento de la tijera–podadera es totalmente manual. Estos aspectos justifican la necesidad de trabajar en alternativas que disminuyan los impactos negativos en el ambiente y que a su vez apoyen y fortalezcan el corte con herramienta manual, de forma segura y saludable.

Síntesis:

En pocas palabras, la situación actual al interior de los cultivos necesita una nueva oferta tecnológica de dispositivos o herramientas para realizar el corte intensivo de la rosa, que controlen los impactos negativos sociales, productivos, económicos y del medio ambiente, que ocasionan su uso y fabricación.

A pesar de que se han realizado grandes esfuerzos por mejorar la condición laboral en el sector, se mantienen desventajas relacionadas con la “Baja utilización de cambio técnico y poca investigación y desarrollo de nuevas variedades y técnicas de producción a nivel nacional” (Tenjo, Montes, & Martínez, 2006 p.8). Esta problemática está centrada específicamente en la actividad del corte, donde los riesgos laborales estadísticamente han demostrado un alto impacto en la enfermedad laboral, debido a las características propias de la actividad.

8.3.2 Selección y ensamble de métodos

De acuerdo con la complejidad de la problemática anteriormente descrita, se requirió de un abordaje metodológico simétrico y robusto, que permitiera identificar y resolver las variables relacionadas con cada una de las dimensiones descritas en dicha problemática. Se buscó la integración de métodos con énfasis tanto en los factores ambientales, como en los factores humanos, seleccionando el Modelo Operativo de la Situación de Trabajo (MOST), complementado con una indagación con perspectiva etnográfica y la biomímesis. El primero se seleccionó por comprender la situación de trabajo desde una mirada centrada en la actividad y al mismo tiempo con un enfoque sistémico; el segundo (biomímesis), por tener una filosofía de imitar a la naturaleza y referirla como modelo, mentor y medida (Ethos), comprometida con la sostenibilidad.

En cuanto al MOST, se aplicó debido a que permite comprender la problemática humana con una orientación socio-técnica, además de ofrecer un enfoque integral para el análisis de los puestos de trabajo y / o procesos de trabajo. El MOST parte de dos enfoques, el primero, una comprensión sistémica de los sistemas de trabajo y tareas, y el segundo, un enfoque teórico que reconoce a los seres humanos más que simples elementos de un sistema.

En la fase de concepto se implementó el MOST con el propósito de realizar un diagnóstico integral y así llegar a deducir los requerimientos y determinantes de DDP. Por su parte, en la fase de concepto, la biomímesis también aportó criterios para establecer la relación entre las funciones de los organismos vivientes con su taxonomía biomimética y los requerimientos de la herramienta. El acompañamiento de la biomímesis también cubrió los procesos de preconceptos /ideas / alternativas y el desarrollo de producto – configuración en la fase de diseño y desarrollo.

Se decidió implementar la biomímesis, porque los retos y las opciones de desarrollo de tecnologías pueden pasar de la idea de reducir los impactos (ecoeficiencia) a eliminarlos (ecoefectividad), ya que la naturaleza ha mostrado que es capaz en sus ciclos, de entregar nutrientes y no basura.

La biomímesis es una filosofía orientada a alcanzar la sostenibilidad, con principios compatibles con la economía ecológica y fundada en una ética donde prima reconocer el valor natural y no el valor monetario de los recursos disponibles en la tierra (Riechmann, 2006). Es una herramienta de innovación, donde se consulta la genialidad que la vida ha acumulado en 3800 millones de años de pruebas y soluciones. La biomímesis marca el comienzo de una era basada no en lo que se pueda extraer de la

naturaleza, no como lo hacía la biónica, sino en lo que se puede aprender de ella, yendo más allá de la sostenibilidad para llegar a la regeneración y la prosperidad (Benyus, 1997). En términos metodológicos, no hay una secuencia lineal que un biomimético pueda seguir para ser recompensado por una solución biomimética perfecta. Por ello, más que solo la estructura de pasos que conforman su método, se requiere de una mentalidad abierta y dispuesta a conectarse con la naturaleza y dejarse guiar por su sabiduría.

El marco epistemológico de la biomimesis se distancia de la tradicional biónica, en el sentido de que la verdadera bioimitación debe ser integral, profunda y por ende sostenible. Por lo anterior, sus fundamentos se pueden entender desde tres ‘ejes semilla’, como se representan en la figura 8.5.



Figura 8.5 Las tres semillas en las que se fundamenta la biomimesis (tomado del taller de biomimesis en el patio trasero, Bogotá 2013)

- La semilla del ethos plantea que “nuestra supervivencia depende de la supervivencia de otras especies.”
- La semilla de la (re)conexión invita a “acallar nuestra inteligencia y mirar con respeto otras especies naturales.”
- La semilla emular comunica que “la vida es el resultado de 3.850 millones de años de evolución que revelan una sabiduría que puede enseñar e inspirar.”⁹

8.3.3 Diagnóstico

La etapa de diagnóstico se dividió en tres partes: 1. Una revisión de estudios sobre la problemática en el sector floricultor colombiano. 2. Un análisis tipológico (a), donde se reconoció la oferta tecnológica existente, categorizada en tijeras–podaderas: manuales, con asistencia neumática a red de compresor y con asistencia eléctrica por batería. 3. Caracterización sistémica y socio-tecnológica de la actividad de corte, para lo cual fue necesaria la realización de estudios aplicados en trabajo de campo en cuatro cultivos de la sabana de Bogotá. Esta tercera parte, incluyó tres métodos: aplicación del MOST (b), indagación con perspectiva etnográfica (c) y análisis del rosal (d), todos ellos enfocados a conocer la problemática desde el punto de vista socio-tecnológico. La figura 8.6 muestra la segunda y tercera parte

⁹ Lo anterior fue tomado del “taller de biomimesis en el patio trasero”, dictado por la bióloga Melina Angel, Bogotá, febrero del 2013.

del diagnóstico, que partió de la primera parte centrada en la revisión de estudios, a manera de antecedentes.



Figura 8.6 Segunda y tercera parte del diagnóstico.

Estudios sobre la problemática ergonómica del corte de rosa

En el sector floricultor colombiano se han adelantado algunos estudios para caracterizar y solucionar la problemática osteomúsculoarticular asociada al corte intensivo de rosas. Estos estudios han sido financiados en su mayoría por aseguradoras de riesgos laborales, como retorno del aporte de sus empresas afiliadas o dentro del rubro que tienen destinado a la investigación. En este recuento se mencionarán aquellos estudios que: a) fueron publicados y se encuentran a disposición del público en general o b) su ejecución es de conocimiento del autor.

A finales de los noventa y principios del 2000 se realizó una evaluación ergonómica de los procesos de trabajo en un grupo de nueve empresas floricultoras de la Sabana de Bogotá. La perspectiva de análisis fue sistémica y estableció impactos en salud e impactos en productividad. Con base en esta evaluación ergonómica surgió un modelo para responder a la problemática encontrada, denominado “Modelo de Intervención Técnico-Tecnológico Integral (MITTI)” (García Acosta & Lange Morales, 2001; Karen Lange-Morales & Garcia-Acosta, 2007). En el proceso de corte de rosa se estudiaron y propusieron alternativas de mejoramiento que incluyeron la evaluación biomecánica y rediseño de guante de corte, diseño de un contenedor para portar y desinfectar las tijeras–podaderas, así como un estudio piloto de algunas tijeras – podadoras desde una perspectiva biomecánica, para contar con parámetros de selección, e ir más allá del solo precio (García-Acosta & Lange-Morales, 2007). La ejecución del modelo dependía del rubro de investigación de una aseguradora de riesgos profesionales, la cual, al sufrir una desafiliación de varias de las empresas por razones ajenas al tema, canceló el financiamiento y el modelo apenas alcanzó a implementarse en sus primeras fases.

Luego se realizaron estudios puntuales para determinar cuál era la tijera–podadera más adecuada no solo en términos biomecánicos sino productivos (Suratep, 2005). Para ello se realizaron cuatro análisis: a) análisis antropométrico, en donde se concluyó que el 90% de las manos de los cortadores estudiados no podían realizar un agarre óptimo; b) análisis biomecánico, que permitió identificar malos hábitos de agarre, una gran dispersión en la fuerza residual de la mano medida

con manómetro y atribuible entre otras cosas al mal mantenimiento de las herramientas, a las diferencias de fuerza de cada trabajador y a la manera en que se agarra y manipula la tijera – podadora; c) pruebas de usabilidad, que permitieron ver el grado de satisfacción del peso de la herramienta, la forma de agarre del mango, el rango de apertura de las cuchillas, la efectividad del corte, la comodidad para asirlas y manipularlas, y el esfuerzo percibido para realizar el corte; d) pruebas de laboratorio del funcionamiento y finalmente el estado de las herramientas, que arrojó condiciones críticas de desempeño por falta de mantenimiento preventivo. Los resultados finales permitieron concluir cuatro aspectos: 1. La necesidad de reducir los rangos de apertura de la tijera–podadora para facilitar el agarre. 2. El estímulo para la adquisición del modelo Felco 8 por su compatibilidad morfológica del mango de agarre con las manos. 3. La capacitación de los cortadores para corregir malos hábitos posturales y así reducir los ángulos de desviación de muñeca. 4. Por último, la creación de un programa de mantenimiento preventivo, sobre el estado de funcionamiento de la tijera, para mantener el corte efectivo y eliminar sobreesfuerzos de las cortadoras para realizar el corte.

Posteriormente se realizó una investigación aplicada para rediseñar la tijera–podadora, cuyo cambio fundamental fue la rotación de mango de agarre para evitar una desviación cubital (Cordoba & Quintana, 2014). Se realizó un estudio piloto comparativo en campo, en donde se registró y comparó la actividad muscular de los operarios utilizando la tijera–podadora tradicional y el prototipo desarrollado (Berrío et al., 2011). Los operarios reportaron menor esfuerzo con la herramienta prototipo, pero el análisis del registro de electromiografía no permitió derivar beneficios del cambio, y tampoco la calificación de comodidad y usabilidad, recomendándose continuar con el desarrollo de nuevos diseños de herramienta.

Asocolflores también desarrolló paralelamente algunos estudios piloto, en donde se compararon la tijera – podadora tradicional con versiones tanto de tijera – podadora neumática como de tijeras – podadoras eléctricas. La perspectiva de análisis fue la usabilidad, para lo cual desarrollaron un cuestionario que aplicaron a las cortadoras que participaron en el estudio. Además de los estudios piloto señalados, se realizó una medición antropométrica específica de la mano, en trabajadores de la floricultura colombiana (García-Cáceres et al., 2012).

Sintetizando lo anterior, los estudios orientados a la caracterización de la problemática y la búsqueda de soluciones para el corte intensivo de rosa son en su mayoría estudios piloto y con un sesgo hacia el tema de salud, sin contemplar las condiciones sociales de las cortadoras, ni las condiciones ambientales de los cultivos. En el momento no existe solución satisfactoria a la problemática dada, pero hay disponibles estudios confiables de caracterización antropométrica de la población, tanto de la mano como del cuerpo en general.

Análisis Tipológico

Todas las herramientas actuales de corte de rosas son tipo tijera-podadera, es decir dos hojas robustas, afiladas y generalmente curvas para hacer más eficiente y cercano el punto de corte del tallo. Las dos hojas se mueven opuestamente sobre un eje, ejerciendo una palanca para obtener un corte limpio, al accionarse, ya sea manual o mecánicamente.

Independientemente de la marca de las herramientas o los dispositivos de corte de tallos, existen tres grandes tipologías que se pueden ver en la figura 8.7 representando las alternativas ofrecidas en el mercado: tijera – podadora tradicional de accionamiento manual, utilizando solo la fuerza de la mano; tijera – podadora de accionamiento neumático, cuya activación es o por un gatillo o por una palanca que se agarra palmarmente y que dispara un embolo neumático, conectado a una fuente de presión de aire, que mueve la cuchilla para realizar el corte; y finalmente, una tijera – podadora de accionamiento con motor eléctrico, alimentado por una batería de autonomía de 8 horas promedio y recargable con energía eléctrica.



Tijera tradicional (fuente de energía humana)

Tijera-podadora neumática (fuente de energía eléctrica para recargar el compresor de aire)

Tijera-podadora (fuente energía batería, con sistema de recarga eléctrica)

Figura 8.7 Variantes funcionales de tijeras-podaderas: manual, neumática y eléctrica.

Los cortes de rosas en Colombia utilizan mayoritariamente las tijeras podaderas tradicionales, siendo la marca comercial más vendida Felco, especialmente el modelo Felco 2 y en algunos cultivos el modelo Felco 6, el cual está diseñado para manos pequeñas. Existen muchos fabricantes de tijeras – podaderas en el mundo, pero todos los fabricantes trabajan bajo los mismos principios mecánicos y las variaciones de los modelos se encuentran fundamentalmente en el peso, el tamaño, en la calidad de los aceros (afilado y resistencia al desgaste) y en las formas de accionamiento. Las tijeras – podaderas manuales como la Felco 2 y 6, están diseñadas para entornos de destinación diferentes al colombiano (como países europeos con viñedos), con menores demandas de fuerza de

corte, mínima frecuencia y repetitividad que las exigidas en el corte intensivo agroindustrial de rosas. En los viñedos europeos no se observan impactos negativos en salud por varias razones, como por ejemplo, altas rotaciones de momentos de corte, el grosor, la dureza de los tallos de la vid, y la cantidad de cortes por jornada son menores. Asimismo, las podas que pueden implicar cortes de tallos más gruesos, las realizan muy pocas personas y generalmente se ejecutan con tijeras – podaderas manuales a dos manos o con tijeras – podaderas neumáticas y eléctricas en un solo momento del año. De hecho, no hay reportes epidemiológicos significativos en dicho sector por DTAs. En este tema el Instituto de Ergonomía de la Universidad de Darmstadt (IAD) ha realizado varios estudios en el sector viñedo desde la perspectiva ergonómica, evaluando a partir de registros de electromiografía, la demanda muscular asociada al uso de diferentes tipos de tijeras – podaderas, incluyendo las accionadas con energía manual, neumática y eléctrica (Jurij Wakula, Beckmann, Hett, & Landau, 2000; J Wakula & Landau, 2001).

Ahora bien, las alternativas tecnológicas neumáticas y eléctricas que actualmente se ofrecen en el mercado, están orientadas a brindar menor exigencia de fuerza, pues solo requieren un mínimo esfuerzo para activar el mecanismo asistido (de gatillo y de brazo palanca) que realiza el corte. Dichas herramientas aparentemente solucionarían la problemática de DTAs en la articulación mano - muñeca. Pero, todas estas tijeras – podaderas asistidas pesan hasta tres o cuatro veces más, lo que terminaría trasladando el problema de salud de repetitividad en mano-muñeca (STC), a una nueva problemática de DTA pero en la articulación hombro. Aún más, tal solución es inviable económicamente, pues sobrepasa cualquier posibilidad de inversión del sector floricultor colombiano. La relación de inversión entre una tijera – podadera manual (actualmente usada) y una tijera – podadera neumática o eléctrica, es entre mínimo 25 a 34 veces mayor para las asistidas (neumática y eléctrica respectivamente) que para las manuales.

Además del riesgo de trasladar el problema en salud a nivel del hombro y de su inviabilidad económica, las tijeras alternativas (eléctrica, neumática) exigen un manejo ambiental que el programa Florverde para el manejo y la certificación ambiental de las fincas gestionado por Asocolflores, actualmente no contemplan; por ejemplo, centros de recarga eléctrica de baterías o redes de acceso neumático en cualquier punto de los invernaderos, costos de mantenimiento eléctrico de las herramientas o de la unidad y red neumática y sobre todo, el manejo ambiental de todas las baterías que pierdan su capacidad de recarga y deban ser cambiadas. El impacto ambiental y sus costos terminarían siendo un problema mayor a la solución que se pretende.

La herramienta neumática de referencia fue la Felco 70, contemplando los siguientes datos técnicos:

Presión de operación	7 -15 bar
Consumo de aire	24 – 50 litros
Peso	710 gramos
Largo total	260 mm
Apertura de tijera	30 mm

Como se observa en la tabla anterior, tanto la presión de operación requerida, como el gasto volumétrico de aire, hacen necesario que esta herramienta esté conectada a un compresor que suministre continuamente aire a presión: ahora bien, la cobertura y foco del mercado de esta herramienta son las podas de los viñedos de troncos secos y gruesos e incluso, las podas de ramas en árboles frutales, por lo tanto, la fuerza entregada por esta herramienta es muy superior que la necesaria para la cosecha de tallos de rosa.

La herramienta eléctrica tiene características similares a la versión neumática, solo que está impulsada por la energía suministrada por una batería de ion de Litio, que se carga en una mochila – arnés, en la espalda del operario, las características técnicas de referencia son basadas en la Felco 800 con los siguientes datos:

Voltaje de operación	44 voltios
Potencia promedio	150 Watts
Duración de carga	24 horas
Tiempo de carga	5 horas
Peso de batería	1.8 kilogramos
Peso de herramienta	820 gramos
Largo total	260 mm
Apertura tijera	30 mm

Adicional al costo mencionado, se suma la logística necesaria de recargas de baterías y lo más preocupante el peso excesivo, que para una manipulación diaria con jornadas de corte continuo, agudizarían los problemas de hombro y columna en las cortadoras. Al igual que los modelos neumáticos, tienen un foco de mercado en viñedos y árboles frutales, donde las demandas de poda y corte de ramas son muy diferentes a las de los floricultores.

De las anteriores opciones tecnológicas, siempre y cuando los pesos de la herramienta sean inferiores al actual, pues los brazos extendidos con carga tienen un efecto de palanca nocivo para columna y hombro, además, siempre y cuando no se generen dependencias de sistemas complementarios y no presenten efectos ambientales por componentes o suministros, se podría estudiar una versión neumática autónoma.

A continuación se presentan algunos apartados de la catalogación tecnológica de dicha oferta (análisis tipológico), realizados por el co-investigador Joshua Nieto Gamboa, teniendo en cuenta las siguientes cualidades funcionales como las más destacadas: a) características generales, b) subsistema de amortiguación y retroceso, c) subsistema de regulación de la cuchilla, d) tipo de empuñadura, e) geometría de la cuchilla y contra-cuchilla, f) subsistema de seguro o bloqueo, g) presencia de raspador.

Muestra de tijeras podaderas para análisis tipológico



Figura 8.8 Variantes de marcas de tijeras-podaderas: manual, neumática y eléctrica.

Raspador

El raspador es usado en la contrachilla, su función es la de minimizar el residuo de savia producido por la planta en el momento de corte. Puesto que la savia puede ocasionar que la tijera se atasque

Se encuentra presente en todos los pruners muestra

Sistema de amortiguación y retroceso

Los sistemas de amortiguación son usados para reducir el golpe de impacto en el momento de cierre total de la tijera, disminuyendo la atrofia músculoesquelética

las marcas felco y barnel usan un resorte laminar enrollado separado del tope, a excepción de chikamasa que usa un resorte tubular enroscado que permite al tope servir como anclaje disminuyendo el uso de material.

Regulación de la cuchilla

El sistema de regulación solo se encuentra en las marcas barnel y felco, usa 2 elementos dentados para que el ajuste de la cabeza de corte sea micrométrico, garantizando un corte limpio y preciso.

Figura 8.9 Cualidades funcionales del raspador, la amortiguación / retroceso y regulación de cuchilla.

Empuñadura

Formalmente se pueden distinguir 3 tipos de empuñaduras en los pruners de muestra

A

Curvatura minimiza el desliz de la mano

Palma

Dedos

La curvatura cóncava es poco eficiente en el momento de cierre de la herramienta puesto que la carga se enfoca principalmente en los dedos anular y meñique ya que las falanges proximales de los dedos índice y corazón son mas extensas

B

La curvatura es incrementada para enfocar el esfuerzo en la coyuntura pulgar-indice, también para disminuir la distancia entre las dos ramas y permitir el agarre de manos pequeñas sin afectar la palanca

Palma

Dedos

Se genera una curvatura convexa para eliminar el problema en la empuñadura "A" para distribuir la fuerza en los dedos, esta se encuentra condicionada por el tamaño de las falanges proximales de los dedos.

C

Similar a "B"

Palma

Dedos

La curvatura de la empuñadura es similar a "B" pero se realiza una innovación en cuanto a la rotación del mango que distribuye el trabajo muscular entre los cinco dedos y reduce el esfuerzo de la poda en un 30%, previene el riesgo de tendinitis e inflamaciones del túnel carpiano.

Figura 8.10 Variantes de empuñadura en tijera – podadera manual.



Cuchilla

Las cuchillas de los pruneros son de hoja curva, su propósito es soportar más carga a torque de flexión y atraer el objeto a cortar hacia la cuchilla, por las diferencias de curvatura entre hoja y contra-hoja ya que al ser mas pronunciada sea la curva de la hoja en comparación de la contra-hoja la primera tiene mayor desplazamiento, por otro lado la contra-hoja es cóncava para limitar el desplazamiento del tallo. No obstante se presentan 3 tipos de cuchillas

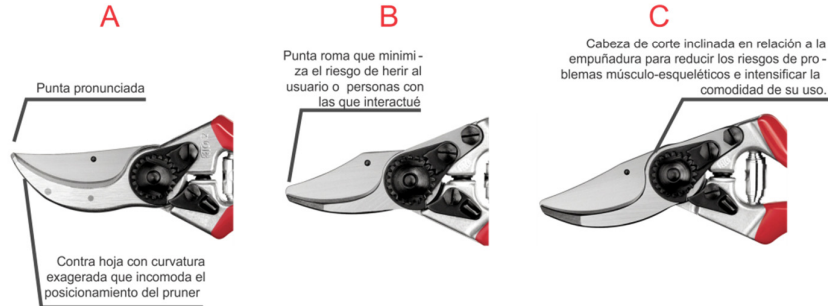


Figura 8.11 Variantes de cuchilla en tijera – podadera manual.



Seguros o bloqueo

es un elemento de seguridad industrial y personal, impide la apertura permanente del pruner, para evitar accidentes y lesiones. En los casos vistos el seguro es activado o desactivado con ayuda del dedo pulgar.

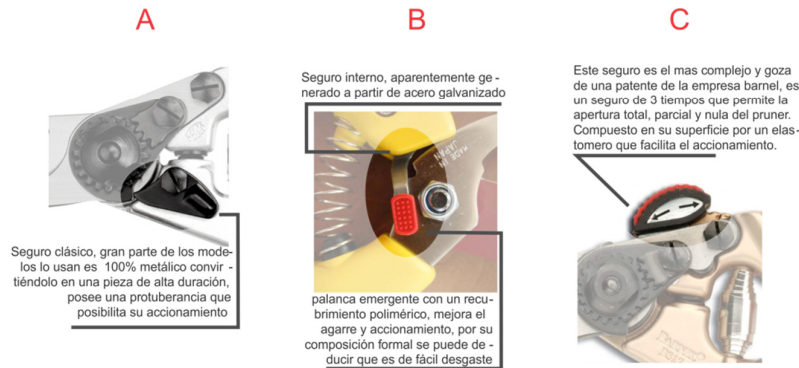


Figura 8.12 Variantes de seguro o bloqueo en tijera – podadera manual.

FELCO 2 - Verdes
Podadera - Alto rendimiento - Modelo clásico
Made in Switzerland by FELCO



FELCO
SWISS MADE



21 piezas

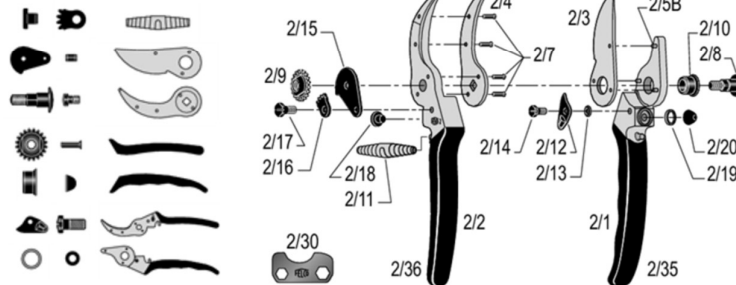


Figura 8.13 Partes y despiece de componentes en tijera – podadera manual.



Figura 8.14 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera manual Felco 12.



Figura 8.15 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera manual Barnel 300.



Figura 8.16 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera manual Chikamasa P28-Y.



RECOMENDADO PARA

★ = Recomendado,
★★ = Muy recomendado,
★★★ = La mejor opción)

30mm/1.2 in.	Viticultura	★★★
710g/25oz.	Arboricultura	★★★
	Horticultura	★★★
	Parques y jardines	★★★
	Vivero	★★★
	Mano pequeña	★★★
	Mano mediana	★★★
	Mano grande	★★★
260mm/10.2 in.	Zurdo	★★★

Este pruner es asistido por energía neumática. Puede ser usada para todo tipo de poda, especialmente cuando la madera es muy dura. Su peso es más de 3 veces el peso del pruner clásico. La energía motriz de la podadora se suministra a través de un compresor. Presión de uso: 140 psi - Consumo de aire: 24 a 50 litros/min.

Costo \$382 € *

Raspador	Si
Regulación	Si
Empuñadura	especial
Cuchillas	especial
Seguro	especial
Sis. Amortiguación	NO

*<http://www.felcostore.com/pruners>

Figura 8.17 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadora neumática Felco 70.



RECOMENDADO PARA

★ = Recomendado,
★★ = Muy recomendado,
★★★ = La mejor opción)

30mm/11.8 in.	Viticultura	★★★
700g/24.6oz.	Arboricultura	★★★
	Horticultura	★★★
	Parques y jardines	★★★
	Vivero	★★★
	Mano pequeña	★★★
	Mano mediana	★★★
	Mano grande	★★★
255mm/ 10 in.	Zurdo	★★★

Asistido por energía neumática. Puede ser usada para todo tipo de poda, especialmente cuando el tallo es de gran diámetro y dureza. Su peso es más de 3 veces el peso del pruner clásico. La energía motriz de la podadora se suministra a través de un compresor. Presión de uso: 145 psi - Consumo de aire: 80 litros/min.

Costo \$174 US*

Raspador	Si
Regulación	Si
Empuñadura	especial
Cuchillas	especial
Seguro	especial
Sis. Amortiguación	NO

* <http://www.jacksonsjapanesetools.com>

Figura 8.18 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadora neumática Bahco 9210.



RECOMENDADO PARA

★ = Recomendado,
★★ = Muy recomendado,
★★★ = La mejor opción)

45mm/1.8 in.	Viticultura	★★★
980g/34.6oz.	Arboricultura	★★★
	Horticultura	★★★
	Parques y jardines	★★★
	Vivero	★★★
	Mano pequeña	★★★
	Mano mediana	★★★
	Mano grande	★★★
290mm/11.4 in.	Zurdo	★★★

Este pruner es asistido por energía eléctrica que proviene por su Powerpack FELCO 680. Puede ser usada para todo tipo de poda, especialmente cuando la madera es muy dura. Su peso es casi de 5 veces el peso del pruner clásico.

Costo \$2250 US *

Raspador	Si
Regulación	Si
Empuñadura	especial
Cuchillas	especial
Seguro	especial
Sis. Amortiguación	NO

*<http://www.duboisag.com/>

Figura 8.19 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadora eléctrica Felco 820.



INFACO F3010
Herramienta eléctrica - Modelo potente y polivalente
Made in USA





RECOMENDADO PARA

★ = Recomendado,
★★ = Muy recomendado,
★★★ = La mejor opción)

 40mm/1.6in	Viticultura ★★ ★ Arboricultura ★★ ★★ Horticultura ★★ ★★ Parques y jardines ★★ ★★ Vivero ★★ ★★ Mano pequeña ★★ ★★ Mano mediana ★★ ★★ Mano grande ★★ ★★ Zurdo ★★ ★★
 830g/24.6oz.	
 M L	
 290mm/ 11.4in.	

Asistido por energía eléctrica proveniente de un porta batería tipo mo - chila. Puede ser usada para todo tipo de poda, especialmente cuando la madera es muy dura. Su peso es casi de 5 veces el peso del pruner clásico.
 Consumo: 48 voltios
 Batería de litio (2.4 kg) autonomía 9 horas

Costo \$2198 US*

Raspador	Si
Regulación	Si
Empuñadura	especial
Cuchillas	especial
Seguro	especial
Sis. Amortiguación	NO

* <http://www.peachridge.com/>

Figura 8.20 Diámetros de corte, peso y tamaño en tijera – podadera eléctrica Infaco F3010.

	Herramienta	Peso Gr.	Largo mm	Diámetro máx. Corte mm.	Relación Corte/largo	Relación Diámetro/peso
Manual	felco2	240	215	25	0,116	0,104
	felco6	210	210	20	0,095	0,095
	felco8	245	210	25	0,119	0,102
	f12	265	200	20	0,100	0,075
	b300	250	210	25	0,119	0,100
	b307	215	190	20	0,105	0,093
	b317	265	200	20	0,100	0,075
	Cps-y8	205	210	22	0,105	0,107
Neumática	Felco70	710	260	30	0,115	0,042
	Super 2p	626	280	31	0,111	0,050
	Bahco 9210	700	255	30	0,118	0,043
Eléctrica	Felco 820	980	290	45	0,155	0,046
	Cobra	914	300	40	0,133	0,044
	Infaco 3010	830	290	40	0,138	0,048

Figura 8.21 Cuadro comparativo de cualidades en tijeras – podaderas manual, neumática y eléctrica.

El cuadro comparativo de la figura 8.21, nos permite identificar que las tijeras –podaderas más livianas son la Chikamasa y la Felco 6 con 205 y 210 gramos respectivamente. Igualmente vemos cómo las neumáticas triplican fácilmente estos pesos y las eléctricas la quintuplican, lo que para jornadas de corte continuo, se convierten en factor que afecta la asimetría de esfuerzo sostenido del miembro superior que está controlando la herramienta y el efecto en la compleja articulación del hombro de las cortadoras, por aumento de carga en dicho miembro.

Modelo Operativo de la Situación de Trabajo (MOST)

El trabajo de campo fue fundamental para estructurar los requerimientos y determinantes de diseño en un proceso de inclusión de ‘partes interesadas’, pues los investigadores pasaron de ser observadores a participantes y los funcionarios y trabajadores de los cultivos pasaron de ser observados (objetos de estudio) a ser actores y ‘partes interesadas’ dentro del DDP. Se reconocieron los conocimientos, pensamientos, hábitos, deseos de las personas frente a su trabajo y

las diversas condiciones de vida que asumen. Por otro lado, se examinaron las diferentes variedades de rosas cultivadas y sus respectivas características, que establecieron un rango de propiedades a tener en cuenta en los requerimientos de diseño. La figura 8.22, muestra en un esquema lo realizado en cada uno de los cuatro cultivos, el cultivo 1 es pequeño en cobertura, número de trabajadores y cantidad de variedades de rosa sembradas. Los cultivos 2 y 3 son de mediano tamaño y representan el promedio de los cultivos en la Sabana de Bogotá. El cultivo 4 es el más grande en tamaño, número de trabajadores y cantidad de variedades de rosa sembradas. La selección tanto de los cultivos, como del número de cortadoras y la cantidad de variedades de rosas se hizo con el apoyo del co-investigador experto en estadística Julián Cruz.

	 Análisis tipológico	 MOST	 Indagación con perspectiva etnográfica	 Análisis del rosal
Cultivo 1	Estudio realizado fuera de trabajo de campo	1 MOST 6 trabajadores	3 trabajadores	18 variedades 72 rosas
Cultivo 2		1 MOST 13 trabajadores	5 trabajadores	13 variedades 52 rosas
Cultivo 3		1 MOST 14 trabajadores	5 trabajadores	12 variedades 48 rosas
Cultivo 4		1 MOST 27 trabajadores	9 trabajadores	20 variedades 80 rosas
TOTAL		4 MOST 60 trabajadores	22 trabajadores	63 variedades 252 rosas

Figura 8.22 Métodos y actividades realizadas en trabajo de campo de los cuatro cultivos.

El método ‘Modelo Operativo de la Situación de Trabajo’ MOST (Lange et al. 2012) se basa en cuatro principios:

- Comprensión sistémica de la estación y el proceso de trabajo a través de un análisis del sistema ergonómico (ser humano, objeto-máquina y espacio físico).
- Sensibilidad para la identificación de las diferencias entre la tarea que debe hacer el trabajador y la que verdaderamente realiza.
- Flexibilidad para incorporar herramientas específicas de acuerdo a los requisitos y necesidades de la empresa i.e. entrevistas con enfoque etnográfico.
- Capacidad para detectar los estados socio-técnicos y posibilidad de cambiar los mismos.

Una de las contribuciones más importantes del modelo es proporcionar información significativamente útil para la mejora del proceso de trabajo, a través del diseño y rediseño, al centrarse en las interacciones entre todos los elementos del sistema (Karen Lange-Morales et al., 2012).

Algunos de los instrumentos específicos fueron ajustados y reforzados en función de la actividad de corte de rosas, por ejemplo. Dentro del MOST se hizo una medición antropométrica a 60 cortadores escogidos mediante muestreo estadístico (ver figura 8.23 b), se registraron ocho medidas necesarias para el diseño de la herramienta de corte. El segundo análisis abordó un estudio con perspectiva etnográfica, apoyado en entrevistas semi-estructuradas a un grupo de 20 cortadoras (uno de cada tres participantes de la medición antropométrica) donde se preguntaron sus deseos y expectativas, comprendiendo que la calidad de corte depende no solo de la tijera, sino que es un complejo socio-técnico, en donde el trabajador aporta conocimiento, experiencia y habilidad para seleccionar la flor que está en su punto para ser cortada, con base en la percepción de apertura del botón, el color y su proporción (ver figura 8.23 c). En tercer lugar, se aplicó una herramienta para análisis del rosal, que incluyó la observación de aspectos biológicos como número y tipo de hojas y espinas, así como la fuerza P requerida para el corte del tallo (ver figura 8.23 d). Para esta medición, los investigadores desarrollaron un dispositivo para medir la fuerza P máxima de corte de 154 tallos (4 tallos por variedad) por medio de un pinchómetro marca B & L Engineering. Los resultados evidenciaron una relación directa entre el diámetro del tallo y la fuerza P requerida de corte, lo que posteriormente se tradujo en parámetros de diseño. Vanessa

Los estudios resultantes de la aplicación de instrumentos de análisis para la caracterización sistémica de la actividad de corte fueron documentados con el apoyo de la co-investigadora Vanessa Segura Duque y se organizaron en las siguientes cinco partes: a) Ubicación sistémica de la tarea, b) datos referentes al ser humano, c) datos referentes al espacio físico, d) datos referentes a los objetos-máquinas, e) tipos de interacciones – actividad.

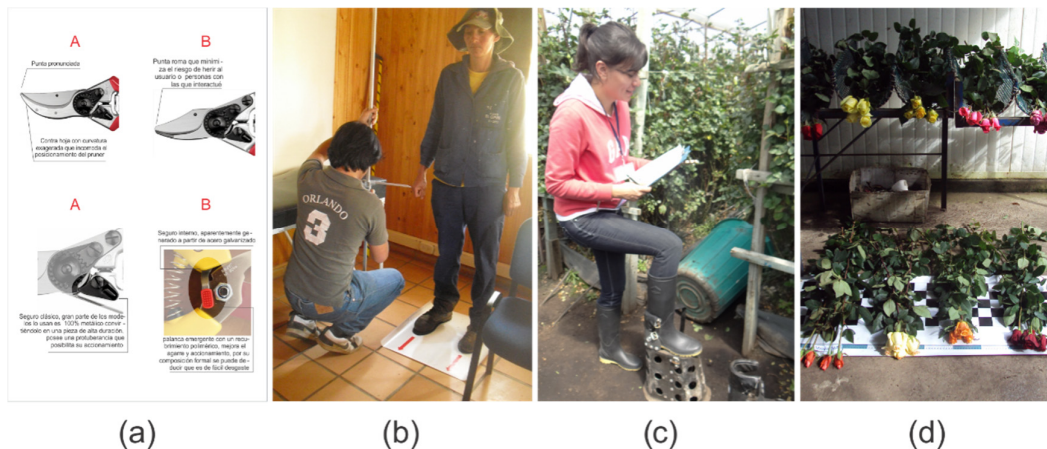


Figura 8.23 Actividades realizadas en trabajo de campo de los cuatro cultivos.

A continuación, se presenta en la figura 8.24 cada uno de los 10 pasos más importantes que hacen parte de la tarea en el proceso de cosecha de rosas, cada uno de ellos acompañados de una fotografía de referencia. Estos pasos se repiten a lo largo de la jornada, que en baja temporada son 7 horas, a partir de las 6am y hasta las 2 pm, con 1 hora que incluye tiempo para comer, ir al baño y desplazamientos. Pero en temporada alta, para cumplir con los volúmenes de flor cortada (por

ejemplo San Valentín), la jornada de trabajo es de 10 horas, a partir de las 6am y hasta las 5pm, con la misma hora que incluye tiempo para comer, ir al baño y desplazarse del casino hasta punto de trabajo.

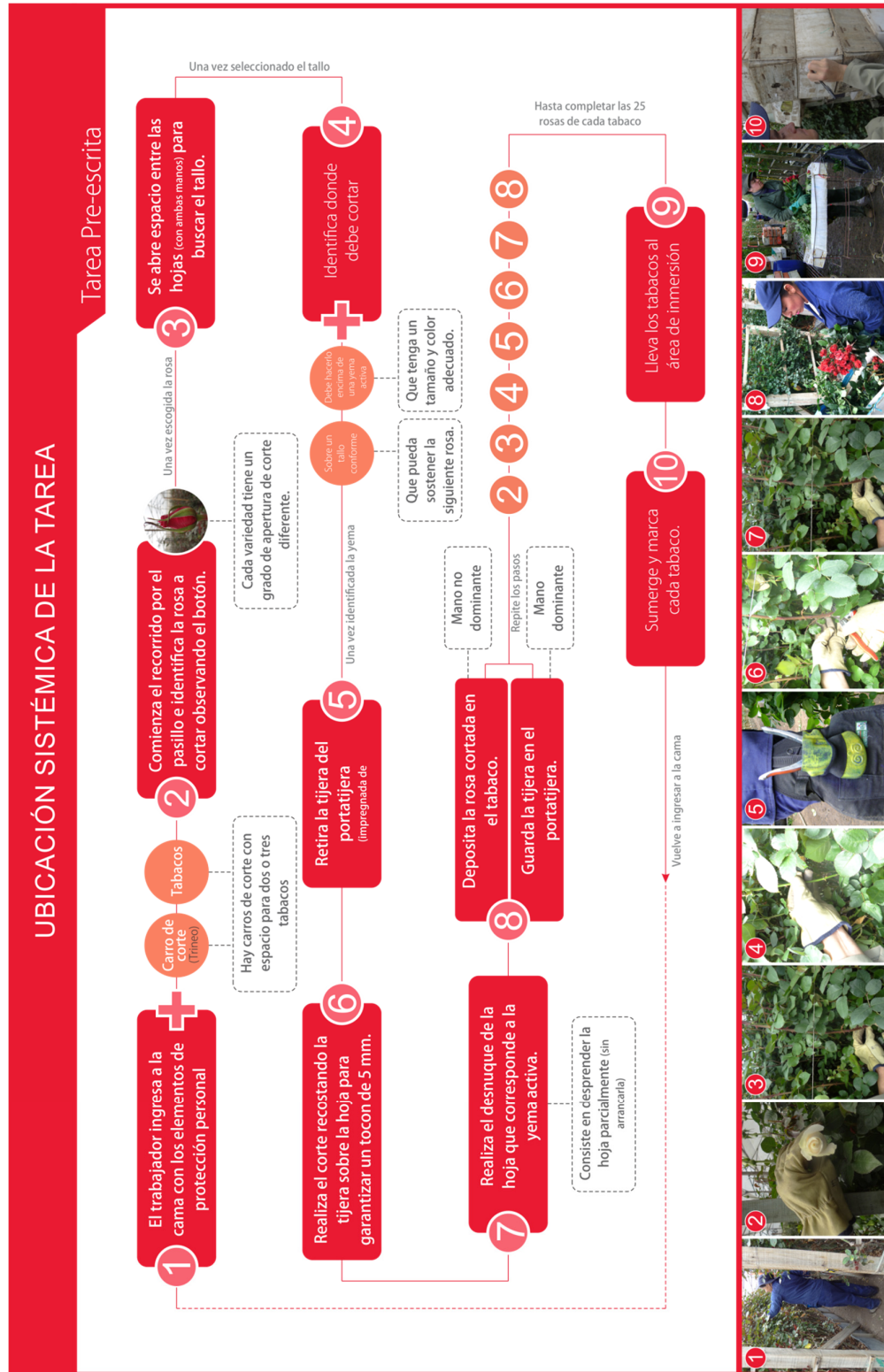


Figura 8.24 Ubicación sistémica de la tarea, cosecha de rosas.

En cuanto a los datos referentes al ser humano, se hizo una medición antropométrica basada en un diseño muestral tipo MAS (muestra aleatoria simple), a raíz de que el marco muestral existía y era accesible, de esta forma se escogieron 60 trabajadores de los cuatro cultivos, lo garantizó una muestra representativa.

Para los objetivos del estudio fue suficiente estimar los cuartiles de las variables antropométricas de manera univariada, se aplicó además la prueba de Shapiro Wilks para establecer normalidad. El estudio incluyó ocho medidas antropométricas que fueran indispensables en el diseño de la herramienta, todas estas mediciones se hicieron en trabajo de campo, con consentimiento firmado de los trabajadores y las directivas de cada cultivo. El muestreo aleatorio fue óptimo y no presentó inconvenientes en los registros de campo. Dicha información estableció parámetros dimensionales muy importantes como requerimientos de diseño.

Respecto a las demás partes del MOST se hicieron mediante observación y registro fotográfico de los co-investigadores en las áreas de cosecha. En la figura 8.25 se indican las ocho variables antropométricas que se aplicaron con los trabajadores de los cuatro cultivos y adicionalmente, las reglas de simultaneidad y sucesión, complementarias a la ubicación sistémica de la tarea.

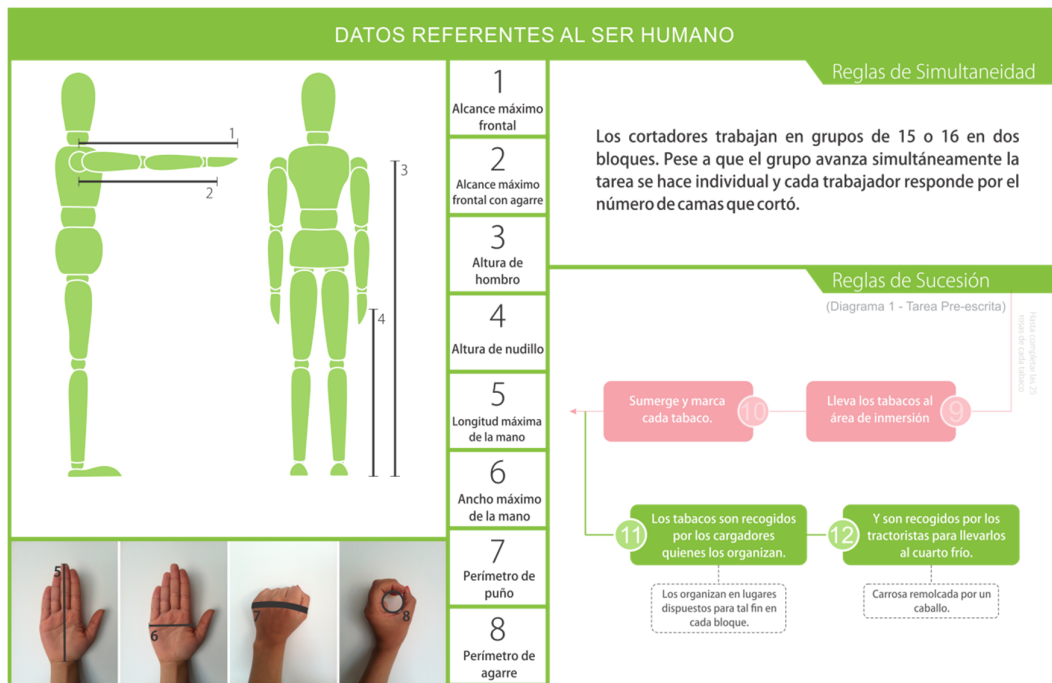


Figura 8.25 Variables antropométricas relacionadas con la cosecha de rosas.

En cuanto a los datos referentes al espacio físico, son consignados tanto las dimensiones de los invernaderos, como las medidas de las camas de siembra, los espacios de circulación, desempeño y movilidad. Adicionalmente, se registran las condiciones térmicas, lumínicas, sonoras, calidad del aire y condición biológica, así como la señalética y demarcación de emergencias y evacuación. Las

condiciones dimensionales y los espacios de circulación fueron fundamentales para desarrollar posteriormente un modelo de desplazamiento que aprovechara la energía invertida en dicha condición. La figura 8.26 resume las dimensiones y condiciones del espacio físico, típicas en un invernadero.

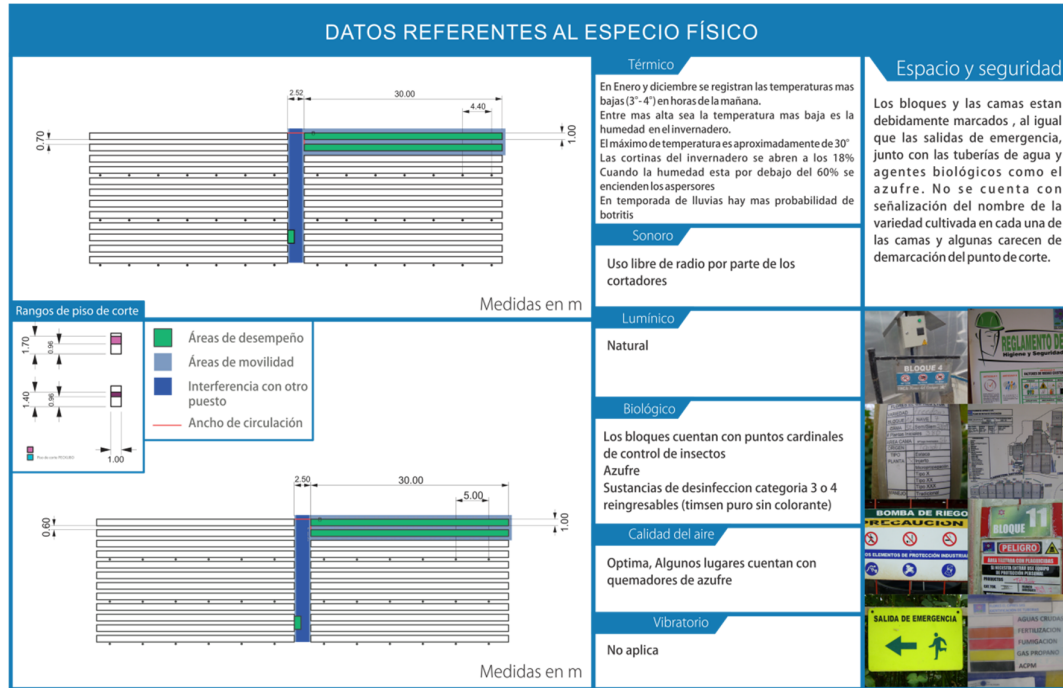


Figura 8.26 Datos referentes al espacio físico.

Los objetos – máquinas que son utilizados en la actividad de cosecha de rosas son diversos, algunos hacen parte de la dotación y de los elementos de protección personal, otros son objetos para el corte y la desinfección, algunos otros son para el acopio y transporte de la flor cortada. Todos y cada uno de ellos junto con los trabajadores, y sumado al resto de actividades de cosecha, pos-cosecha y transporte, forman un complejo de actores-red que permiten cumplir con determinada calidad, cuyo programa o meta que es obtener flores de exportación. Cada uno de estos actores-red hacen parte de un entramado interdependiente, que según su estado de desempeño afectan en mayor o menor grado, la calidad y la productividad. En la figura 8.27 se ilustran los objetos – máquina que hacen parte de la cosecha de rosas.



Figura 8.27 Objetos / máquinas que se utilizan en la cosecha de rosas.

Las interacciones entre los elementos del sistema o desde la perspectiva de los actores-red, los programas, implican una serie de principios de acción, que se repiten en el tiempo y conforman ciclos de trabajo a lo largo de toda la jornada laboral. Se identificaron diez grandes principios de acción y las condiciones de postura fueron registradas tanto en fotografías como en videos, para deducir los factores de riesgo por postura y repetitividad. Uno de los hallazgos más importantes fue reconocer que la asimetría postural no solo era consecuencia de la mano dominante con la que se manipula la herramienta de corte, sino que dicha asimetría se acentuaba tanto por los alcances al punto de corte, como por las difíciles condiciones de visualización de dicho punto, derivados del follaje de la planta. La figura 8.28 muestra los principios de acción (verbos), así como el registro fotográfico de uno de los ejemplos posturales típicos.



Figura 8.28 Actores-red en sus principios de acción.

Indagación con perspectiva etnográfica

El análisis se llevó a cabo mediante una entrevista a uno de cada tres cortadores de la muestra antropométrica, dando como resultado 20 entrevistas semi-estructuradas. El análisis desde el punto de vista etnográfico resultó de gran importancia, ya que permitió conocer la concepción de la actividad por parte de los trabajadores y estructurar posteriormente los requerimientos y determinantes de diseño con un enfoque socio-tecnológico. La entrevista se diseñó junto con el co-investigador Edwin Camilo Campos y contó con la asesoría de una antropóloga y las 18 preguntas se agruparon en cinco grandes aspectos: a) habilidad vs técnica (cinco preguntas); b) desgaste vs productividad (cuatro preguntas); c) protección vs enfermedad (cinco preguntas); d) temperatura vs fatiga cuerpo (tres preguntas); y e) factor ambiental positivo vs impacto ambiental negativo (una pregunta). Dichas entrevistas se acompañaron con fotografías y videos que las empresas permitieron realizar en los cultivos, con la condición que dichas grabaciones quedaran en manos de la jefatura de talento humano y pudieran ser analizadas únicamente en cada cultivo.

Respetando dicha política de confidencialidad, se pueden destacar de manera general tres preguntas y sus respectivas respuestas, así por ejemplo a la pregunta: ¿Cómo reconoce el tipo de rosa que debe cortar?, la gran mayoría de operarias con mediana experiencia en corte mostraron un fuerte dominio sobre el nombre de la variedad y las características del rosal, mencionando con precisión las cualidades entre una y otra variedad para diferenciarles. Por ejemplo, a partir de la distribución del follaje y su saturación de hojas, la disposición, la forma y el tamaño de las espinas a lo largo del

tallo, así como la forma, el color, el tamaño y la disposición tanto del pedúnculo como del botón de la flor, les permite a las cortadoras hacer una preselección visual del tallo a cortar. Una vez preseleccionado, vuelven a ver el tamaño del botón y sobre todo, la posición de sus pétalos, de donde deducen que dicho tallo está en el punto de corte. Es importante mencionar que los actores-red (operaria cortadora-guantes-tijeras-portatijeras-desinfección) deben realizar un corte limpio y dejar en adecuadas condiciones fitosanitarias la planta y el tallo cortado, para cumplir su programa de acción de cosecha de flor para exportar. Esta labor de ubicación del tallo se realiza rápidamente, como un escaneo visual de las plantas, mientras se van desplazando a lo largo del camino de las “camas” sembradas. Adicionalmente y prácticamente de forma simultánea, ubican el punto de corte del tallo, unos milímetros por encima de la yema, sin dañarla, pues de allí es donde brotará a futuro la siguiente flor, realizando el corte y desinfectándole simultáneamente. Para que la yema germine es necesario hacer un desprendimiento parcial de la hoja próxima a la yema, a lo que le llaman “desnuque”. Esta tarea 'activa el crecimiento del brote evitando que se pierda alimento en el crecimiento de la rama próxima. Algunas cortadoras desarrollaron la habilidad de hacer el “desnuque” con lo misma tijera inmediatamente después del corte, otras, realizan esta tarea después de terminado el corte del tallo.

En relación con la pregunta orientada a la herramienta, que enunció: Si tuviera la oportunidad ¿cambiaría las tijeras de corte? ¿cuál sería la razón? Las respuestas se orientaron a recordar inicialmente otras marcas de tijeras y otras herramientas utilizadas en la cosecha de flores de tallo blando como por ejemplo los claveles, pero al conversar sobre las condiciones dimensionales y de peso de las tijeras, surgieron hábitos posturales y hábitos de agarre de la herramienta que no coincidían con el ideal de diseño, en cuanto la forma de asir el mango de la tijera. Por ejemplo, se corroboró que algunas operarias no manipulaban la tijera desde los mangos o asas, sino desplazaban su mano hacia las cuchillas debido a dos razones fundamentales. En primer lugar, la apertura de los mangos o asas de las tijeras superaba la capacidad antropométrica para asir firmemente la tijera. Dicha incompatibilidad antropométrica se agudiza por la condición de usar guantes gruesos para no espinarse y por supuesto, derivaba en una forma de agarre inadecuada, generando posturas mano-muñeca forzadas y con ángulos desviados. En segundo lugar, manifestaron que preferían desplazar la mano hacia las cuchillas porque aumentaba su sensación de firmeza en el agarre, al sentir que no se les resbalaría la tijera. Continuando con la conversación acerca de las posibilidades de cambio de la tijera y la disposición que tendrían de probar otros modelos o formas de corte, todas las entrevistadas se mostraron dispuestas a probar e incluso realizaron sugerencias importantes como la seguridad que debe brindar la zona de agarre (algunas operarias realizan adaptaciones de los mangos con cintas adhesivas), explicaron en qué zonas de la palma de la mano marcaban los mangos o asas, resaltaron el peso de la herramienta como un factor de comodidad-fatiga, e insistieron que en las jornadas de pico de cosecha, el movimiento de abrir – cerrar la tijera para realizar el corte era de lo más demandante por movimiento repetitivo y por

tanto, muy fatigante tanto para la palma como para toda la zona de la mano – muñeca. Lo anterior direccionó a los investigadores a involucrar todas las sugerencias de diseño descritas en las entrevistas, desde las ‘partes interesadas’ en el uso y se colectaron / verificaron tanto como requerimientos, como en la posterior generación y verificación de las ideas preliminares.

Por último, en la pregunta asociada a la salud y condición de calidad de vida de las cortadoras ¿se ha enfermado o lastimado al realizar el corte de rosas?, se pudieron identificar dos tipos de respuestas. Algunas de las entrevistadas cambiaron la actitud inicial de reserva y otras se mostraron dispuestas y abiertas a conversar sobre sus condiciones laborales. Un primer tipo de respuesta se caracterizó por ser inicialmente evasivo, es decir, preferían no adentrarse en su condición de salud. A pesar que por razones éticas se firmó un documento de confidencialidad de no revelar los nombres propios y un documento de conformidad y aceptación para proteger a las trabajadoras que participaron en la indagación con perspectiva etnográfica y el trabajo de campo, dicho tipo de respuesta fue fácilmente asociado al temor de ser señaladas o reubicadas en otras labores. Un segundo tipo de respuestas se orientó como válvula de escape y desahogo por parte de las cortadoras, sobre las situaciones que consideraron posibles de transformar o cambiar en su condición de trabajo. En los dos casos, el trabajo de los entrevistadores mantuvo como eje ético, a parte de la confidencialidad, la motivación y el empoderamiento de las cortadoras para involucrarse en un proceso participativo de estructuración de requerimientos y conceptos de diseño. Dentro de lo más destacado como respuestas asociadas a su condición de salud y calidad de vida está el hecho de que muchas de ellas son madres cabeza de familia, lo que les demanda mayor esfuerzo económico y de cuidado de sus hijos y el hogar. Ahora bien, las que tienen pareja y hogar estable, aunque compartan en cierta forma responsabilidades económicas con su pareja, la demanda de trabajo en casa, con las manos, es igual o más intensa (cocinar y lavar ropa), por lo que se suman a las demandas de corte en su actividad laboral y se agudizan los problemas osteomúsculoarticulares. Aunque existen algunos cultivos que han desarrollado programas de apoyo para el cuidado de los niños y sistemas compartidos de equipos de lavanderías comunitarias, no son suficientes para detener la enfermedad derivada del sobreuso de las manos, que sigue siendo el movimiento repetitivo de accionamiento de la tijera, sumado a la fuerza que debe realizar para hacer el corte limpio del tallo. Algunos cultivos han emprendido programas de aprendizaje de tareas como corte ambidiestro, pero las tijeras no están diseñadas para manipularse cómodamente con mano zurda o derecha y terminan derivando en incomodidad o en algunos casos, en lesiones en la palma de la mano. Al realizar la observación detallada de las manos dominantes de las cortadoras, se pudieron detectar zonas con callosidades (híper-queratosis), causadas por la fricción de las asas de las tijeras y la hiper-presión repetida. De igual manera, algunas de las cortadoras, contaron que han reportado dolores en la muñeca y han sido direccionadas a medicina laboral, todo lo anterior confirmó los datos epidemiológicos reportados por estudios de medicina laboral tanto de los cultivos, como en la

guía de atención integral de salud ocupacional, basadas en la evidencia (Ministerio de la Protección Social, 2007a).

En síntesis, la indagación con perspectiva etnográfica permitió comprender la complejidad de la actividad y la demanda de capacidades cognitivas, que se complementan con las habilidades viso – motoras para el manejo de la herramienta, con el propósito de tener certidumbre de seleccionar la flor adecuada para corte, cuyo punto ideal de corte es diferente para cada variedad.

Tres aspectos de la indagación etnográfica se pueden resaltar: 1. La actividad de corte es compleja pues requiere de conocimientos, experiencia y habilidades que las operarias acumulan con el tiempo, para identificar la flor ideal para cosechar y la zona adecuada de corte, es decir, la actividad está inmersa en un complejo socio-tecnológico que no se limita a una simple destreza manual y capacidad física con las tijeras. 2. La mayoría de las cortadoras reconoce que el movimiento repetitivo se suma al peso y al tamaño de la herramienta, en ese sentido, manifiestan que una herramienta más pequeña y liviana puede ser más cómoda, maniobrable y menos fatigante. 3. Las actividades extra-laborales que demandan uso de las manos son diversas y difíciles de dejar de hacer, pues están imbricadas en su condición de madres y hacen parte de sus responsabilidades familiares, por ello, en caso de enfermar entran en conflicto, pero lo claro está en que no pueden abandonar su responsabilidad frente a sus hogares e hijos.

Finalmente, muchas de las cortadoras reportaron molestias y enfermedades no solo en miembro superior, sino en miembro inferior, como por ejemplo vena várice y fatiga de piernas, asociadas a las jornadas que pasan de pie en el cultivo.

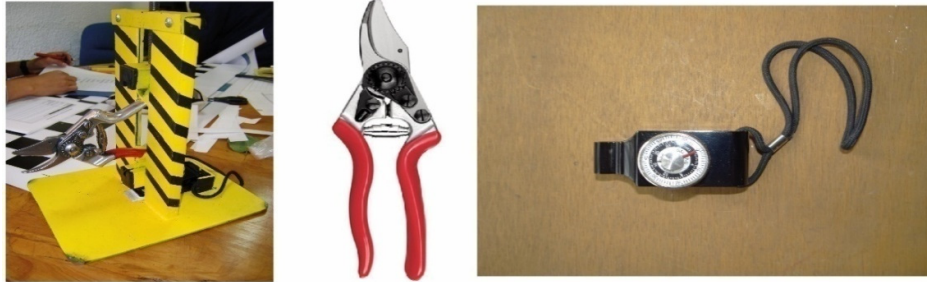
Análisis del rosal

El estudio del rosal pretendió conocer las características de las variedades de rosas para poder establecer parámetros de diseño como: apertura máxima y mínima de la cuchilla - contracuchilla en función del diámetro de los tallos, fuerza máxima requerida de corte en función de las características del tallo como material heterogéneo y en general, se realizó una clasificación de las variedades según su número de hojas, espinas, longitud, diámetro y fuerza de corte, como variables socio-técnicas que de una u otra manera influyen en los tiempos de cosecha, la seguridad y la calidad del punto de corte, que a su vez demandan un conocimiento y experiencia altos, para que las cortadoras reconozcan cuál es el punto de corte óptimo, de tal forma que la flor cortada llegue a florero del cliente con la mayor vida útil posible.

El resultado de este estudio es un subproducto del proyecto, compuesto por un análisis cuantitativo y cualitativo con registro fotográfico de 58 variedades analizadas y preseleccionadas con criterios estadísticos. Como análisis destacado está el estudio de la fuerza P máxima de corte (variable dependiente) en 38 de las 58 variedades seleccionadas, en función de la variedad de rosa (variable controlada), 4 tallos por variedad según criterio estadístico; f) y del diámetro de corte (variable

independiente). La fuerza P del corte se determinó con un instrumento de medición construido por el grupo de investigación, cuyo funcionamiento dependía de un pinchómetro calibrado en libras fuerza (lbf), colocado dentro de una estructura en acero que a la vez de soportar la tijera, permitía el recorrido de un tornillo con mordazas, que reguladamente iba cerrando las asas de la tijera, hasta conseguir el corte del tallo probeta, como se ve en la figura 8.29.

Equipos



Registro

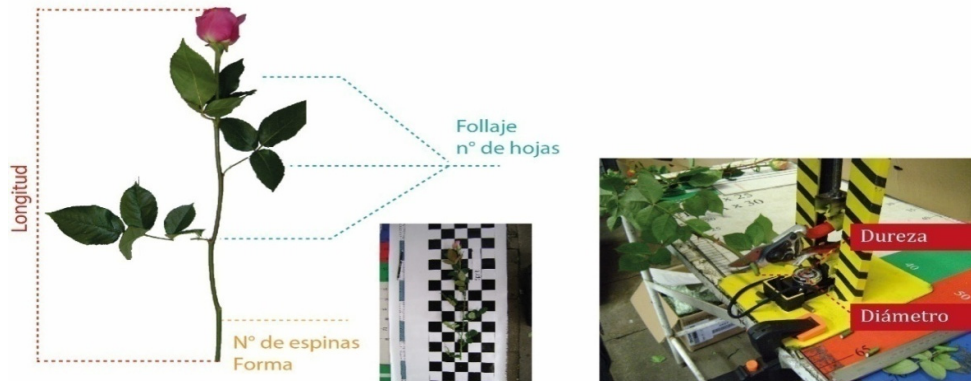


Figura 8.29 Montaje para registrar las libras fuerza aplicadas en la tijera, según variedad de tallos.

Finalmente, de las 63 diferentes variedades de rosas sembradas en los cuatro cultivos, se seleccionaron mediante asesoría estadística, 38 variedades, a las cuales se les registró dimensiones, tallos y espinas, así como las libras-fuerza requeridas para obtener el corte del tallo con la tijera estándar (felco 2) en condición de mantenimiento y uso normales.

De estas 38 variedades, se registraron datos de corte en 4 tallos de cada una de dichas variedades, ofreciendo un total de 152 datos manejados mediante una hoja de cálculo Excel y posteriormente en el software estadístico R. Se realizó un análisis univariado de condiciones socio-tecnológicas que impactan la efectividad del corte de las siguientes variables: a) la cantidad de hojas de cada variedad, con ello se determinó que plantas presentan más densidad de follaje que limita la visibilidad de los tallos a cortar y su punto de corte, demandando mayor agudeza visual e impactando el rendimiento de la cosecha; b) la cantidad de espinas de cada variedad, para establecer las flores que tienen más potencial de lesionar las manos de las cosechadoras

independiente de los guantes de dotación y también prever las lesiones a las hojas de las plantas aledañas en el momento de levantar la flor cortada más espinosa; c) la longitud total del tallo de cada variedad –en milímetros, que permite reconocer si cumple con los estándares de exportación y establece el recorrido que hace el brazo para superar el hilo tutor horizontal y por tanto, demanda más extensión y trabajo de la articulación del hombro, del brazo con el que se sostiene y cosecha la flor; d) el diámetro del tallo de cada variedad –en milímetros, que influye en la apertura que debe existir entre la cuchilla y la contracuchilla, así como el recorrido de la cuchilla para cortar los diámetros más extremos; e) La fuerza P requerida para el corte –registrada en lbf, de donde se puede luego calcular el esfuerzo cortante y otras variables que influyen en la cantidad de trabajo y de energía usada por cada corte, según variedad de rosa. Esta variable junto con el número de tallos hora, permite estimar la viabilidad de los sistemas de corte que no impliquen repetitividad o sobreesfuerzo centrado en mano-muñeca. También se realizó un análisis multivariado de: a) Fuerza P versus diámetro del tallo, para verificar la hipótesis que a mayor diámetro mayor fuerza P de corte es requerida.

En un breve análisis de lo anterior, las cuatro variedades con mayor follaje fueron: Bonanza (11), Castera (10), Vogue (10) y Big Fun (10); las cinco variedades con más cantidad de espinas fueron: Castera (36), Latin Breeze (33), Dolores (29), Charlotte (21) y Rosita Vendela (21); las cinco variedades con tallos más largos fueron: Dolores (930-910 mm), Charlotte (920-900 mm), Domenica (906 mm), Latin Breeze (900 mm) y Pekcoubo (860 mm); las seis variedades con mayor diámetro fueron: Queen Berry (12 mm), Rosita Vendela (10 mm), Vogue (10 mm), Dolores (9 mm) y Jade (9 mm), en la figura 8.30 se puede ver la gráfica del comportamiento de los diámetros de todos los tallos registrados.

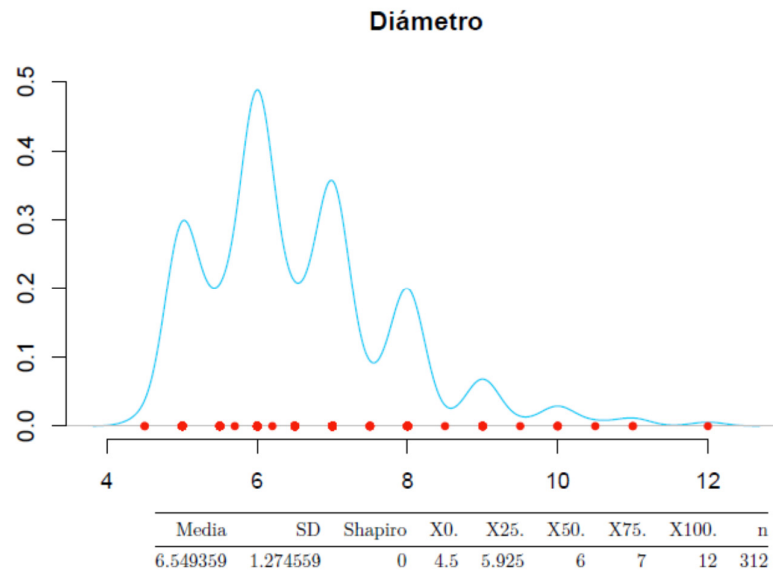


Figura 8.30 Gráfica del comportamiento de las medidas del diámetro de los tallos de rosa.

El comportamiento multimodal de la gráfica del diámetro indica que hay subgrupos de valores repetidos, teniendo como diámetro mínimo 4,5 mm, como diámetro medio 6,55 mm y como diámetro máximo 12 mm.

Las cinco variedades que demandan más fuerza P en el promedio de las mediciones de cada variedad fueron: Queen Berry (15.75 lbf), Rosita Vendela (14.37 lbf), Latin Breeze (14.12 lbf), Dolores (13.75 lbf) y Kiko (13.25 lbf). En la gráfica 8.31 se observa que la fuerza P promedio es de 10.72 lbf, la mínima es de 4 lbf y la máxima registrada en este grupo de variedades es de 21 lbf.

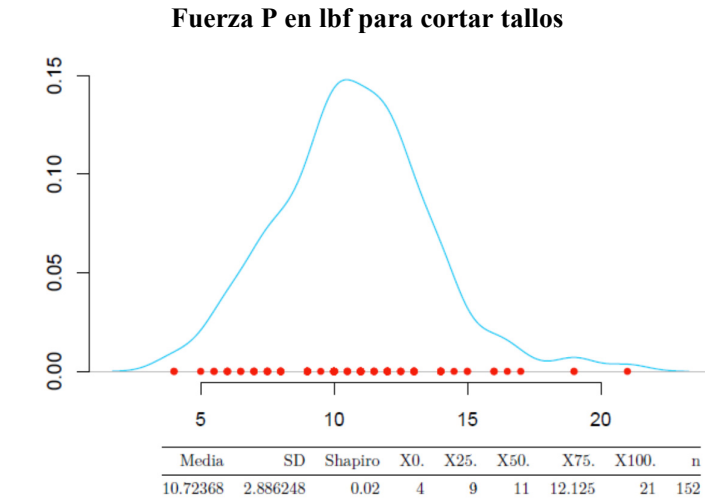


Figura 8.31 Gráfica del comportamiento de la fuerza requerida para el corte del tallo de rosa.

Para el análisis multivariado, de fuerza P para el corte versus diámetro del tallo, se encontró una correlación alta y significativa 0,51, con un P valor < 10E-5, lo que confirma la hipótesis que a medida que el diámetro aumenta, la fuerza requerida para realizar el corte también crece, como se puede observar en la figura 8.32.

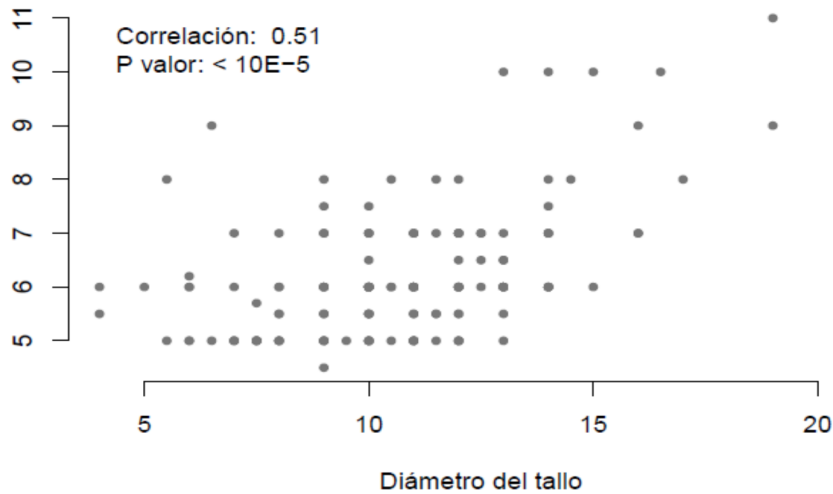


Figura 8.32 Gráfica de relación entre fuerza de corte (Lb-f) y diámetro del tallo (mm).

Ahora bien, por las características del tallo, algunos más leñosos, otros más hidratados, otros con corteza gruesa y otros más o menos densos en relación fibras / agua (material ortótropo), se pueden tener tallos de diámetro medio – bajo que requieran bastante fuerza P de corte, pero dicha fuerza seguramente se usa entre el límite elástico – plástico del tallo.

De acuerdo con lo anterior, esto no es suficiente para crear una clasificación de variedades, puede suceder que dos variedades tengan promedios iguales, pero comportamientos generales distintos, de manera que se procedió a realizar una clasificación a partir de estos comportamientos. Para clasificar las variedades según requerimiento de fuerza P de corte, se tomaron los datos de las cuatro muestras por variedad y se aplicó un algoritmo mixto de agrupación (prueba Kruskal Wallis y clasificación jerárquica de Ward) que permitió estructurar el árbol de clasificación en cinco categorías (ver figura 8.33), que finalmente se optimizaron a través del algoritmo de Hartigan. Las cinco categorías fueron: a) variedades con alta dispersión, b) variedades que requieren baja fuerza de corte, c) variedades que demandan baja-mediana fuerza de corte, d) variedades que exigen mediana-alta fuerza de corte y e) variedades que necesitan alta fuerza de corte.

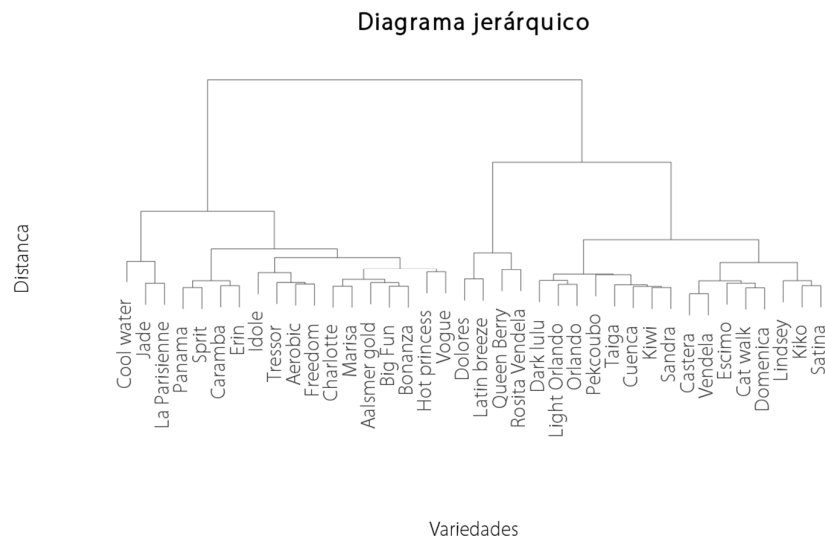


Figura 8.33 Diagrama jerárquico de Ward, de las variedades de rosa, en función de la fuerza de corte.

La proyección de estas categorías en un plano factorial arrojó una visualización por colores, que permitió identificar la información de los datos (variedades) en función de las cinco categorías antes mencionadas. En el eje horizontal se encuentra la fuerza observada para realizar el corte, teniendo a la derecha el grupo de variedades más resistentes o que requieren más fuerza (en verde) y a la izquierda las variedades que requieren menos fuerza (en lila). A manera de ejemplo de las variedades agrupadas, se destacan el grupo de variedades con valores de fuerza más altos en la figura 8.34, seguidos en la figura 8.35 del grupo de variedades con valores de fuerza más bajos.

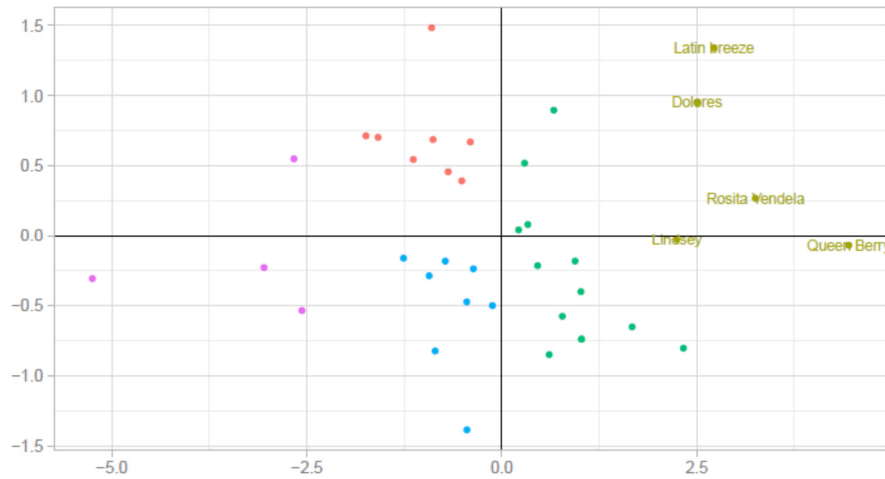


Figura 8.34 Plano factorial. Conglomerado variedades de rosa que demandan más fuerza de corte.

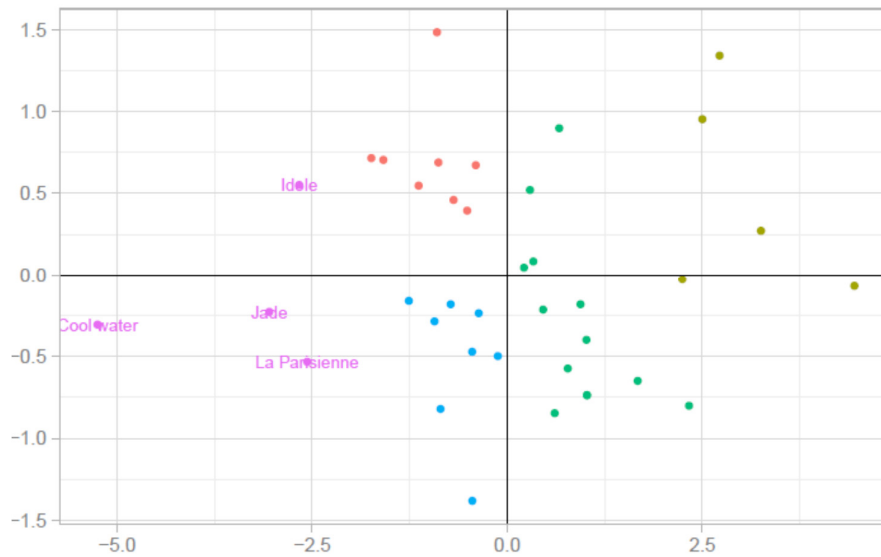


Figura 8.35 Plano factorial. Conglomerado variedades de rosa que demandan menos fuerza de corte.

La etapa de diagnóstico hasta aquí descrita, además de acercar los investigadores a la problemática, dio como resultado una comprensión de los factores a tener en cuenta para el DDP, de esta manera, se construyó en un siguiente paso, la lista de requerimientos y determinantes de diseño, necesarios para la etapa de conceptualización de la nueva herramienta de corte.

8.3.4 Determinantes y requerimientos de diseño

La construcción de los parámetros de diseño constituye una etapa fundamental durante el proceso de DDP, ya que establece los límites de las propuestas y vela por las decisiones direccionadas por los valores acordados desde la etapa de ‘visión’, incluyendo la factibilidad socio-técnica, la capacidad económica de las empresas para la implementación del producto final y la coherencia con la política ambiental de Flor Verde. Basados en los resultados del trabajo de campo en los cuatro cultivos y el análisis tipológico de la oferta de herramientas, se establecieron los determinantes y los requerimientos de diseño. Éstos fueron organizados según los elementos que constituyen el sistema ergonómico, garantizando así el enfoque

socio-técnico: actividad, herramienta, usuario y espacio físico. A continuación se presentan las principales determinantes y los principales requerimientos de diseño, constituidos según los elementos señalados anteriormente.

Determinantes desde la actividad	El corte de cada tallo debe ser limpio, es decir sin desgarre perimetral, para que el vástago del rosal (tocón) se cierre y forme una cubierta de cicatrización y no se afecte por la <i>botrytis</i> .
	La herramienta debe permitir la desinfección de cada corte (fitosanidad con bio-fungicidas), como una medida para evitar la propagación de hongos como el <i>botrytis</i> sp., causante de la podredumbre gris.
	El tamaño de la herramienta, en especial su volumen, debe permitir el acceso a cualquier tallo dentro de la cama de rosas sembrada.
	El volumen de la herramienta no debe obstaculizar la visibilidad de los tallos ni de las yemas activas, para no dañarlos, pues de ello depende que el rosal siga produciendo flores.
	El grosor del elemento de corte no debe superar los 5 mm, para garantizar la apropiada longitud del tocón luego del corte y que germine posteriormente la yema para dar paso a un nuevo tallo de flor.
	La herramienta debe poder cortar los mayores diámetros y fuerzas de corte de las distintas variedades. De acuerdo con los estudios de las variedades del rosal, obtener una apertura de cuchilla – contracuchilla que cubra 12 mm, sin embargo, otros estudios del sector han reportado flores cortadas con diámetros de hasta 20 mm. Fuerzas de corte de hasta 21 lbf, más un porcentaje de cobertura.
	La herramienta no debe desprender la hoja próxima a la yema activa, para que se mantenga protegida mientras brota el nuevo tallo de flor.
	La herramienta debe admitir la atención visual del trabajador hacia el punto de corte (apertura del botón, longitud del tallo y ubicación de la yema heredera)
	La herramienta debe permitir el acceso a diferentes alturas del punto de corte de cada variedad, acorde con la condición antropométrica de la población y según los datos registrados en el trabajo de campo.
Requerimientos desde la actividad	La herramienta podría ayudar al trabajador a medir la longitud del tocón (hasta 5 mm) para asegurar el brote de la yema y la calidad de la futura flor.
	Se obtiene una ventaja adicional si la herramienta realizara el ‘desnuque’ de la rama que protege la yema, al mismo tiempo que corta. Ver figura 8.36.
	La herramienta podría tener un sistema de medición, que le indique al trabajador que diámetro de tallo va a cortar (escala de 1 a 4).
	El desinfectante debería ser aplicado simultáneamente con el corte, para asegurar que la superficie del tocón cicatrice sin daño por hongos.
	Convendría que la herramienta marcara el tallo desinfectado, con bio-colorante que esté previsto en las prácticas agronómicas del cultivo.
Determinantes de la herramienta	La herramienta debe contar con un espacio para ser marcada (identificación del dueño), para evitar pérdidas y sobre costos por restitución a los cultivos. Adicionalmente, se puede verificar y hacer seguimiento personalizado al mantenimiento preventivo.
	Debe permitir un mínimo de 180 y máximo 400 cortes por hora, para garantizar por un lado la productividad y por otro lado, velar por las condiciones de salud y permanencia de los operarios en el puesto de trabajo (responsabilidad social y corporativa).
	Para eliminar el peligro de cortaduras o punzaduras, la herramienta necesita contar con un sistema complementario de seguridad activa (en uso) y de seguridad pasiva (desuso).
	Las superficies de corte deben evacuar la savia de los tallos, para mantener lo más limpia la superficie de contacto y corte.
	El peso de la herramienta no puede superar el de las actuales, especialmente de las que se usan con mayor frecuencia (Felco y Barnel). De acuerdo con los datos analizados, entre 210 y 265 gramos si son manuales y máximo 550 gramos si son asistidas.
	El agarre debe estar lo más cerca del centro de gravedad de la herramienta, para reducir el brazo de palanca al asir el mango.
	El color de la herramienta debe contrastar con respecto al color del follaje, para evitar que se pierda. En ningún caso puede ser verde.
	La zona de agarre de la herramienta debe ser compatible morfológica y dimensionalmente con las manos de los operarios o zona del cuerpo que esté involucrada. Se tendrán en cuenta los datos antropométricos tanto de los estudios ya realizados por otros investigadores, como de la muestra del trabajo de campo.

	<p>Los materiales deben ser resistentes tanto a las condiciones ambientales del invernadero (humedad promedio del 90% y temperaturas entre 5° – 38°C), como a los componentes que entran en contacto durante la actividad de corte i.e. savia, bio-fungicidas, agua, etc.</p> <p>No debe existir demanda de energía para accionar la herramienta, que requiera implementar sistemas o redes extra a lo largo de todo el cultivo. Por costos y logística de mantenimiento, queda descartado el uso de redes neumáticas y redes eléctricas.</p> <p>Es fundamental privilegiar el uso de energía humana, pero solo de manera segura y saludable, esto es, sin provocar enfermedades osteomusculoarticulares.</p> <p>La fiabilidad de la herramienta debe implicar por un lado la garantía de un corte limpio, y por otro lado, el funcionamiento por lo menos durante una semana sin fallar, sin ningún mantenimiento preventivo.</p>
Requerimientos de la herramienta	<p>Mientras más cómodo y firme sea la zona de agarre de la herramienta, más óptima la sujeción y por lo tanto menor esfuerzo y fatiga.</p> <p>Se necesitará tener en cuenta que el agarre sea ligeramente comprimible, no conductor y suave al contacto.</p> <p>El área de la zona de asir convendría asegurar una distribución de la presión en la zona palmar lo más extensamente posible.</p> <p>Las partes y componentes deberían ser de fácil desensamble en función del mantenimiento y recambio de componentes.</p> <p>El proceso de afilado de los componentes de corte, podría ser realizado por cada operario, bajo una instrucción básica.</p> <p>El aseguramiento de la cadena de suministros y la logística de mantenimiento ayudará en la calidad, durabilidad y garantía de la herramienta.</p> <p>Una vez en desuso, la herramienta debe entrar en desensamble y sus partes y componentes deben seguir los principios del metabolismo tecnológico, para ser reutilizados algunos componentes o ser reciclados los materiales. Orientación hacia la ecoefectividad.</p>
Determinantes del usuario	<p>El recorrido entre camas y la actividad de corte se hace generalmente con desplazamientos laterales, tanto por razones de espacio, como para mantener patrones de rendimiento.</p> <p>La herramienta no debe afectar la salud del trabajador, por sobre esfuerzos asociados a la manipulación y el uso. Debe contemplarse que la mayoría son mujeres, con diversos biotipos (adrenal, gonadal, tiroidea y pituitaria), pero en general con baja capacidad de fuerza.</p> <p>Al ser mayoría mujeres, vienen de realizar labores en el hogar con las manos, o después del trabajo, las realizaran.</p> <p>Los trabajadores pueden ser especializados u ocasionales contratados por temporada, por lo tanto, la herramienta debe poder ser usada por cualquier trabajador, sin exigir mayor destreza o habilidad en corte. Esto implica, contemplar usabilidad en la herramienta, es decir, tanto rápido y fácil aprendizaje de uso, como adaptación y confort durante su manipulación.</p> <p>Para evitar cortaduras y punzaduras en los trabajadores, así como la pérdida de la herramienta, es necesario contar con un elemento para ser guardada y transportada individualmente.</p> <p>Para apoyar los programas de salud ocupacional que promueven la ambidiestralidad para reducir sobrecarga y demanda asimétrica, la herramienta debe poder ser usada tanto con la mano izquierda, como con la derecha.</p> <p>La cosecha de rosas implica que la herramienta debe ser controlada y manipulada por las extremidades superiores.</p> <p>La herramienta debe poder ser usada con el guante que hace parte del equipo de protección personal (EPP). Ahora bien, se puede explorar la integración herramienta - EPP, lo importante es mantener la protección frente a las espinas durante la cosecha.</p> <p>La fuerza ejercida con la herramienta no debe superar la fuerza de aprehensión de 60 N con una apertura entre mangos de agarre en promedio de 77 mm, teniendo en cuenta la capacidad de mujeres en percentil 5, menos la reducción de la fuerza por el uso del guante de protección tradicional en carnaza, que en pruebas experimentales indica ser entre 10% y 20%.</p> <p>De acuerdo con los estudios, la habilidad de corte con el uso de guantes se reduce entre un 12% y 64%. Por lo tanto, la herramienta no debe incrementar la pérdida de la habilidad del usuario.</p> <p>Como condición de diseño inclusivo, la herramienta debe poder ser usada sin distinciones de género y dentro del rango de edad laboral.</p> <p>Los componentes o zonas de corte de la herramienta no deben quedar expuestos durante el desuso, para preservar la seguridad de los trabajadores.</p> <p>El funcionamiento de la herramienta debe responder e integrarse con las habilidades de corte y el conocimiento del punto de corte del tallo, propias del sector floricultor.</p>

Requerimientos del usuario	La postura de corte que menor esfuerzo genera, es aquella en la cual el antebrazo se encuentra en posición de pronación con una altura de corte baja y sin desviación de la muñeca.
	El diseño de la herramienta debe permitir que el operario cortador mantenga la postura de las cadenas cinéticas del miembro superior e inferior en un rango de movilidad segura y confortable durante la jornada de trabajo.
	El tiempo de adaptación y cúspide de destreza para mantener los rangos de corte con la nueva herramienta, debe estar dentro de un lapso de 2 a 3 semanas.
	La herramienta debe tener una baja demanda cognitiva, tanto en su accionamiento como en su mantenimiento.
	La incorporación de la herramienta como nueva tecnología, implica un proceso gradual de transición y adaptación por parte de los trabajadores y supervisores, hasta que sea valorada no solo su funcionalidad y usabilidad, sino sobre todo, su utilidad.
Determinantes del espacio físico	El espacio de desplazamiento en el corredor entre camas es de 30 m de largo por 60 cm de ancho. Esta condición es típica de todos los cultivos de flores, pues obedece al máximo aprovechamiento posible de superficie de tierra a cultivar.
	El área de corte dentro de la cama es hasta 50 cm de profundidad, esto debe ser relacionado con las medidas antropométricas de los percentiles 5 en alcance frontal, pues si alcanza un operario de brazos cortos, fácilmente lo accede otro operario de percentil mayor a 5.
	La herramienta no debe interferir en el uso del carro de corte para el traslado de las flores, pues en él se transportan los empaques con flor cortada, que al ser consolidados, se envían hacia la poscosecha.
	La herramienta debe mantenerse en disponibilidad de funcionamiento, independiente de las condiciones extremas de temperatura y humedad enumeradas anteriormente.
	La herramienta debe permitir el desarrollo de la actividad bajo las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> • Todas las flores se cosechan en invernaderos hechos con cubiertas y paredes plásticas (polietileno UV + IR). • Cada 4 corredores hay un corredor con postes estructurales del invernadero, ubicados cada 5 m. Hay invernaderos con postes en madera o con estructuras metálicas, pero en ambos casos en algún momento hay corredores ocupados por estructuras. • A lo largo de la cama se tienen tutores para mantener el follaje lo más vertical posible y no invadan los corredores de desplazamiento. Dichos tutores pueden ser tanto de alambre como de piola. • Hay cultivos tanto con siembra en tierra (camas a nivel del piso), como con siembra hidropónica (camas a 30 centímetros del piso). • Todas las camas tienen una red de distribución de agua por aspersión en la parte superior, en el caso de las hidropónicas la red es más compleja, con sistemas de regulación y monitoreo de nutrientes. • El terreno es plano, pero irregular, en algunos casos terrosos y en la mayoría gredosos. • El terreno es susceptible a inundarse, a pesar del control del riego.

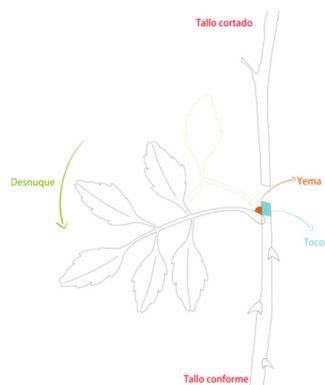


Figura 8.36 Corte y ‘desnuque’ de la rama que protege la yema, para estimular su germinación.

Por último, es importante recalcar que estos requerimientos y determinantes se han ido precisando y ampliando con diferentes ‘partes interesadas’, a medida que se avanza en el DDP. Adicionalmente, el enfoque y la toma de decisiones ha sido direccionada desde los valores acordados en la fase de visión, cuando se convino como propósito “enfrentar la problemática social relativa a la salud en el trabajo,

asociada al corte intensivo de tallos de rosa, sin generar impactos ambientales derivados de usos de energía adicionales o incorporar tecnologías que impliquen desechos sin cadenas de reciclaje factibles”.

8.3.5 Preconceptos / ideas / alternativas

El último paso o proceso en la etapa de ‘concepto’, es la generación de ideas o alternativas, manteniendo siempre presente el propósito estratégico del proyecto, ya recordado en el anterior apartado e inspirados en alcanzar un desarrollo de producto desde la perspectiva simétrica, es decir, resolver problemática tanto humana como ambiental. Por lo anterior, como método complementario al MOST, se trabajó en la generación tanto de conceptos biomiméticos¹⁰, como en ideas sobre el uso eficiente de la energía humana u otras energías ya disponibles en la actividad de corte¹¹. De esta manera, las ideas y alternativas que se desarrollaron, algunas de las cuales se presentan a continuación, siempre fueron orientadas desde dicho propósito estratégico.

Para la generación de ideas / alternativas, se partió del pensamiento biomimético (Biomimicry Thinking), que puede entenderse como la imitación consciente de la vida, esto es, aprender y luego emular las formas, los procesos y los sistemas naturales, para crear diseños de productos, procesos y organizaciones sostenibles. Los pasos de la metodología biomimética se complementaron con otras estrategias e instrumentos desarrollados como parte del proceso de diseño. Definidos los parámetros de diseño (requerimientos y determinantes) para emprender la conceptualización de la herramienta, se dividió el abordaje en aspectos técnicos y aspectos del accionamiento (usabilidad), ver figura 8.37. En dicha agrupación de los componentes o partes constitutivas de la herramienta, en los aspectos técnicos se incluyó por un lado el corte; donde se trabajaron el mecanismo y la morfología de las cuchillas, y por otro lado la desinfección del tocón. El segundo aspecto, el del accionamiento, hizo énfasis en el gesto que el trabajador debería realizar para garantizar el corte, es decir, el movimiento de miembro superior que conlleva la acción de corte y que se relaciona directamente con el agarre de la herramienta y la seguridad (pasiva y activa). Como se puede ver en la gráfica 8.37 cada aspecto está representado por una figura y un color, que seguirán siendo una convención para agrupar las funciones de los organismos y los verbos referentes de la bioinspiración.

¹⁰ Este eje de trabajo fue liderado por la co-investigadora Vanessa Segura Duque y conto con la consultoría a la experta biomimética Melina Angel.

¹¹ Este eje de trabajo lo lidero el co-investigador Edwin Camilo Campos Mendieta y lo continuó Jaime Andrés Peralta.

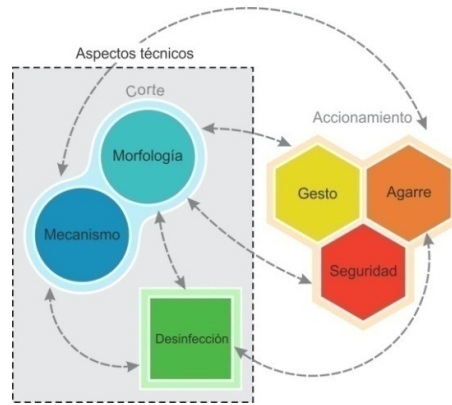


Figura 8.37 Agrupación de los componentes de la herramienta.

Siguiendo la metodología biomimética, el primer paso fue:

1. Definir el contexto: En este paso, se reconocen los escenarios en donde está el problema, se comprende la orientación de lo que se quiere diseñar y los argumentos para hacerlo. La comprensión del contexto se conformó a partir de la conexión entre el método MOST, el enfoque etnográfico y la biomimesis. El contexto es todo lo que se abordó en el trabajo de campo descrito en el apartado del diagnóstico y que se eslabona en una escalabilidad socio-tecnológica, representado en la figura 8.38 que parte de reconocer el sector floricultor, las condiciones del espacio físico, las enfermedades asociadas a las condiciones de trabajo con sus tecnologías disponibles, las características de las personas que realizan el corte y su realidad sociocultural, las condiciones de la actividad y por último, el producto agroindustrial, que son flores para exportación.



Figura 8.38 Esquema que representa el primer paso en la biomimesis, la definición del contexto.

Desde la perspectiva biomimética, el contexto lo conforman en síntesis: a) el sector floricultor colombiano, caracterizado por ser el segundo país con mayor número de exportaciones de flores cortadas, en donde las rosas representan el 32% de las exportaciones del sector, con aproximadamente 6554 hectáreas de flores cultivadas de los cuales el 29.7% son cultivos de

rosas, de cuya producción total se exporta el 98%; b) El espacio físico donde mayor cantidad de cultivos de rosa hay en Colombia es la Sabana de Bogotá, cosechada bajo invernaderos; c) En el caso concreto del corte intensivo de tallos de rosa, se presentan desórdenes por trauma acumulado (DTAs) por la convergencia de tres variables que son la fuerza para cortar, la repetición directamente asociada al número de cortes por jornada y las malas posturas, que dependen directamente del punto de corte del tallo. La enfermedad ocupacional en miembro superior representa el 32% de los desórdenes ocupacionales, siendo la floricultura la que acumula mayor porcentaje de casos de enfermedad en miembro superior con un 9%; d) Lo anterior se agudiza al ser la mayoría mujeres las que hacen la labor de corte de tallos, realizada con la mano dominante, lo que se suma a otras labores manuales en el hogar y a la incompatibilidad antropométrica entre la mano y las asas de la herramienta de corte; e) La actividad es intensiva, el número de cortes en temporada alta es de entre 350 a 400 cortes por hora y el trabajador requiere de un alto conocimiento sobre las variedades y experiencia para identificar sus puntos óptimos de madurez para el corte; f) El rosal tiene como características destacadas el que sus tallos son de consistencia leñosa, con espinas perimetrales y en todo su largo, es una planta propensa a contraer hongos, se siembran muchas variedades, por ejemplo en los cuatro cultivos del trabajo de campo se reconocieron hasta 58 variedades distintas y por tanto hay mucha heterogeneidad en diámetros y rangos de dureza de tallos.

2. Identificar las funciones a bioimitar: Este segundo paso busca formular la pregunta ¿cómo la naturaleza realiza esa función?, pero teniendo presente cómo el organismo realiza la función determinada, dentro de su ecosistema. Para identificar funciones en los organismos naturales fue necesario buscar los verbos asociados a los componentes funcionales de la herramienta y posteriormente hacer las preguntas a la naturaleza, para luego seleccionar aquellos organismos referentes para *bioimitar* y dar respuesta a la problemática. Siguiendo la prioridad de funciones de los componentes de la herramienta, se realizó una primera clasificación de los verbos en primarios, secundarios y de usabilidad, como se pueden ver en la figura 8.39. Los verbos se agruparon con sus sinónimos, para que la búsqueda en la naturaleza tuviera más posibilidades y fuera más eficiente.

Verbos de función primaria:	Verbos de función secundaria:	Verbos de usabilidad:
<ul style="list-style-type: none"> • Cortar físicamente, partir, cizallar, tajar, estrangular y seccionar. • Cortar químicamente, dividir y separar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenar, acumular, reunir, acopiar, reservar y retener. • Desinfectar, limpiar, cicatrizar y purificar. • Modificar forma, cambiar, transformar y alterar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Activar, accionar, excitar e impulsar. • Agarrar, coger, sujetar, aferrar, empuñar, atrapar y aprisionar

Figura 8.39 Cuadro de clasificación de verbos asociados a componentes funcionales.

Ahora bien, los verbos se representaron de acuerdo con los colores de los componentes funcionales y se realizó un primer filtro, con base en: a) la factibilidad técnica para ser aplicada dicha bio-imitación funcional en el contexto de la floricultura, b) en los requerimientos de salud laboral, c) en los alcances del proyecto. La figura 8.40 muestra la evolución de la selección de los verbos a utilizar para identificar las funciones.



Figura 8.40 Representación de los verbos de acuerdo con los componentes funcionales.

Con base en estos verbos se formularon las preguntas precisas para identificar las funciones a bio-imitar, como por ejemplo:

- ¿Cómo la naturaleza corta de manera limpia?
 - ¿Cómo la naturaleza agarra o se adhiere a otros elementos bióticos y abióticos?
 - ¿Cómo la naturaleza se protege de infecciones (sistemas de defensa) y de agentes tóxicos?
3. Descubrir los modelos naturales: En este paso se buscaron los organismos indexados en la taxonomía biomimética en la página “Ask Nature¹²”. La pregunta más orientadora en este paso de descubrir es ¿qué organismos dependen para su supervivencia de esa función?, pues los organismos que dependan de dicha función para sobrevivir, son los que mejor la hayan desarrollado. En este paso, se contó con el apoyo de Melina Angel, bióloga y magister experta en biomimesis, que ayudó a identificar y sugerir organismos que cumplieran con las funciones. Ahora bien, es tan vasto el número y tipo de organismos e inspiraciones encontrados en la naturaleza que se debió establecer una estrategia de límite de búsquedas y varios filtros de selección de estrategias de acuerdo con requerimientos, determinantes y factibilidad técnica. Los organismos se buscaron en artículos científicos y en la página web del instituto de biomimesis ‘ask Nature’. Todos los hallazgos se organizaron en una taxonomía, que luego fue depurada. La versión simplificada de la taxonomía se estableció como se ven en la figura 8.41 organizados sobre un eje

¹² El enlace directo es: http://www.asknature.org/article/view/biomimicry_taxonomy

vertical las funciones (verbos), a la izquierda, los organismos que son referentes de bioinspiración como proceso y a la derecha, los organismos útiles para la bioinspiración como forma. Así por ejemplo, para cortar físicamente se contempló como proceso; el movimiento realizado por las carcomas para perforar madera y por forma; la morfología de los quelíceros (piezas bucales) de algunos artrópodos.

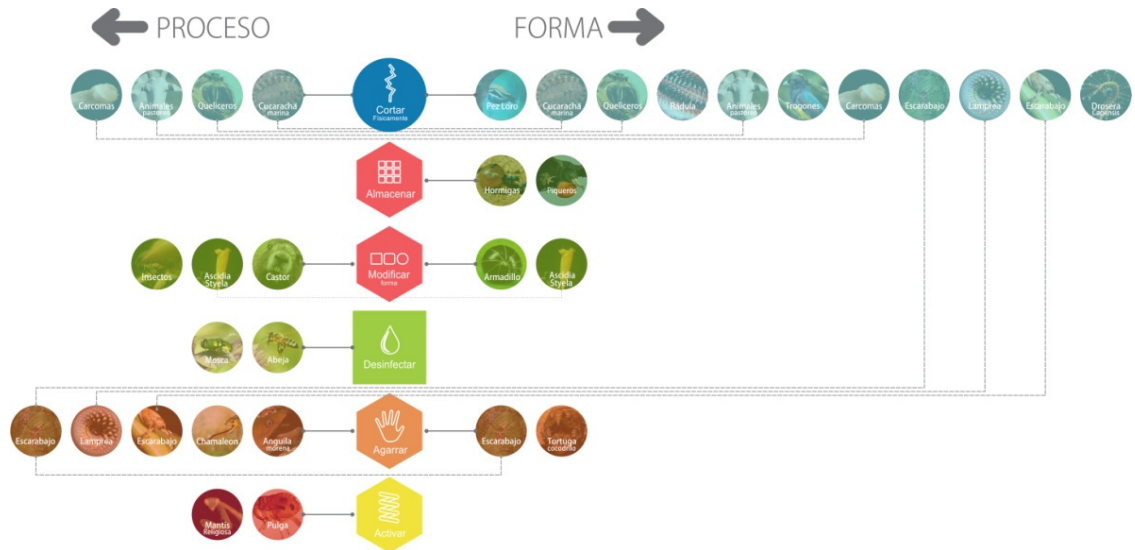


Figura 8.41 Taxonomía de organismos referentes para bioinspiración.

4. **Abstraer las estrategias biológicas:** Este cuarto paso se refiere a deducir los principios de vida más relevantes en términos conceptuales y se requirió del conocimiento de un biólogo experto en biomimesis, para ser capaces de sintetizar y seguir seleccionando las mejores estrategias de los organismos, en términos de posibilidad de ser bioimitada la función. Cuando se decidió parar la búsqueda, alrededor de 39 estrategias con posibilidades de bioimitación se colectaron, de allí se realizaron tres clasificaciones sucesivas de selección por factibilidad. La primera clasificación ya redujo a 25 estrategias, al descartar bajo la premisa “hongos y rosas sanas no son compatibles”, de allí que el corte químico por bioimitación se descartó. La segunda clasificación redujo aún más las estrategias, llegando solo a 15, pues se sabe que “la naturaleza no tiende a hacer cortes limpios”, descartando todas las estrategias de aserrado o rasgado. La tercera clasificación llevó a obtener ya 11 estrategias factibles de bioinspiración.

En la figura 8.42 se presentan los organismos y sus estrategias que fueron emuladas y sirvieron de referentes conceptuales para la generación de una lluvia de ideas (brainstorming) como siguiente paso.


	Nombre	Imagen	Concepto
Cortar Físicamente	Queliceros		Morfología de los queliceros para distintas funciones.
	Rádula del Caracol		Cinta de módulos cortantes (varias decenas de filas transversales de estos dispuestos de manera vertical) renovable que al girar corte el tallo.
	Castor		Piezas de corte con dos tipos de materiales, en la cara externa uno con mayor dureza y en la interna uno de menor para mantener el filo.
	Lamprea		Superficie de corte que se adhiera al tallo por medio de succión. - Superficie de corte dotada de módulos cortantes dispuestos radialmente que al girar corten el tallo.
Desinfectar	Serpiente		Sistema de conductos que transporte el desinfectante al interior de la herramienta y lo expulse durante el corte (mordida) a través de pequeños orificios dispuestos para tal fin.
Agarrar	Morena		Sistema de agarre compuesto por dos partes; la primera para agarrar el tallo y la segunda para cortarlo.
	Camaleón		Superficie de agarre dispuesta en forma de espiral que al retirar la pieza que lo sujete se desenrolle con fuerza y agarre el tallo.
	Drosera Capensis		Superficie dotada de módulos (cortantes o adherentes) que con el cambio de curvatura (cóncavo a convexo) se enrolle al rededor del tallo.
Activar	Odontomachus		Sistema compuesto por dos superficies de corte, un arco elástico y un mecanismo de cierre. Las superficies de corte cuentan con un par de enganches, como sistema de cierre que al ser desactivado debe lograr una velocidad explosiva en el cierre de las mismas.
	Grillo		Entretejido de superficies elásticas que acumulen energía para ser dispersada en el momento del corte.
	Mantis Religiosa		Entretejido de superficies elásticas que acumulen energía para ser dispersada en el momento del corte.

Figura 8.42 Organismos y sus estrategias que se pueden emular.

5. Lluvia de ideas: En los cuadernos de bocetación se hicieron los planteamientos de alternativas según el orden de las funciones, comprendiendo las estrategias de los organismos para ir las asociando a las funciones de la herramienta de corte. Estos bocetos a mano alzada dan cuenta del estímulo creativo que tiene la comprensión de los organismos, para resolver desde otra perspectiva la herramienta. Ahora bien, paralelo al proceso biomimético, también se generaron alternativas desde el proceso clásico de diseño, es decir, se integraron alternativas orientadas a la eficiencia mecánica, a la condición biomecánica de los cortadores y a las alternativas en el uso de energía humana o energías no aprovechadas en el contexto de la cosecha de rosas, para activar la herramienta. A continuación en la figura 8.43 se presentan algunos ejemplos tomados de los cuadernos de bocetos.

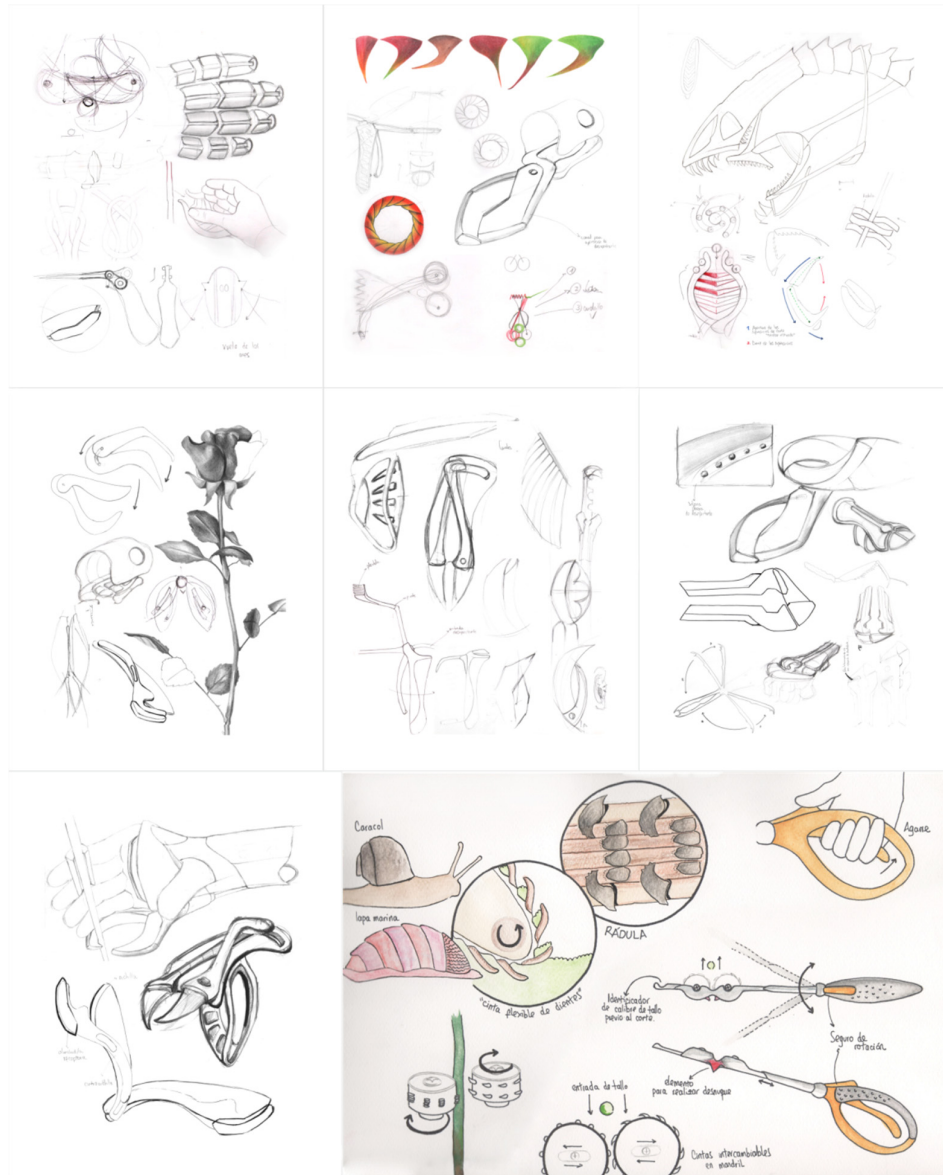


Figura 8.43 Algunos bocetos tomados del proceso creativo de generación de alternativas.

Este paso está muy concatenado e interdependiente con el siguiente, la emulación, y que sigue a continuación, pero que se considera ya parte de la nueva fase de ‘diseño y desarrollo de producto’ con sus respectivos pasos.

8.4. Fase de diseño y desarrollo

La fase de diseño y desarrollo de producto tuvo un abordaje desde el proceso de diseño biomimético, complementado con los principios ergoecológicos y con las ideas relacionadas con efectividad biomecánica y eficiencia en el uso de energía humana”. A continuación se explican solo algunos aspectos tanto de la configuración, como posteriormente del diseño a detalle, que no comprometen el proceso de redacción de dos patentes que se está adelantando con el grupo gestor de DDP, pues dichas patentes no hacen parte constitutiva de la presente tesis. Por lo anterior, es importante advertir que la reserva de

información de la patente puede hacer ver estos pasos poco viables mecánicamente, con saltos o aún con bajo nivel de desarrollo.

8.4.1 Desarrollo del producto - Configuración de diseño

El desarrollo de producto - configuración es el primer paso de la fase de ‘diseño y desarrollo’ y se eslabona con los pasos biomiméticos específicos, que se implementaron al final de la fase de ‘concepto’. Los últimos dos pasos del proceso de diseño biomimético que se aplicaron fueron la emulación y la evaluación.

6. **Emulación:** Luego de la abstracción y generación de lluvia de ideas, se analizó a fondo que los organismos seleccionados para desarrollar la herramienta, cumplieran con las acciones que se identificaron al inicio. Así, simultáneo a la aplicación de las estrategias, también se fue dando forma y dimensiones a la herramienta, de acuerdo con las partes funcionales constitutivas ya acordadas anteriormente. En la figura 8.44 se muestran algunas configuraciones del producto, que preservan la conexión con los organismos. Es importante indicar que gradualmente, a medida que ciertas ideas bioinspiradas se mantuvieron, se fue realizando la configuración de la herramienta, hasta establecer dos tipos de accionamiento, una con activación neumática y otra con activación mecánica.



Figura 8.44 Ejemplos de las primeras configuraciones del producto.

7. **Evaluación:** En este paso, se volvieron a verificar los verbos y las funciones, confrontándolos con los 6 principios de vida que plantea la biomimesis, preguntándose: 1. ¿Está sintonizada y responde

al ambiente local, es decir, es acorde con los contextos de los cultivos?; 2.¿se adapta a condiciones cambiantes, por ejemplo, picos de productividad y variedades de flor?; 3.¿evoluciona para sobrevivir, es decir, tiene posibilidades de adaptarse según las demandas de los cultivos?; 4.¿usa una química amigable con la vida, referido al uso de productos en el sistema de corte?; 5.¿integra desarrollo con crecimiento, por ejemplo, arquitectura modular, piezas intercambiables, componentes de subsistemas funcionales?, y por último; 6.¿es eficiente con los recursos (material y energía).

La configuración siguió un proceso en paralelo para desarrollar tanto una herramienta de corte con activación neumática, bajo la premisa de “Aprovechar la energía aún no utilizada durante las tareas de cosecha”. Como una herramienta de corte con activación mecánica, bajo la premisa de “Usar la resistencia del tallo a cortar”.

La primera alternativa de corte basada en un mecanismo neumático, propone mediante la acumulación de aire comprimido la ejecución del corte. La acumulación de aire se planteó de dos formas distintas:

1. Utilizando el peso del cuerpo del trabajador durante sus desplazamientos, para bombear aire a un pequeño tanque ubicado en su espalda, éste último conectado a la herramienta, permitirá al trabajador accionar el corte.
2. En la actividad de cosecha es indispensable llevar a lo largo de los corredores, un carro de recolección de los tallos cortados. Se plantea aprovechar el uso de dicho carro, implementando un sistema de recolección de aire comprimido en una de las llantas.

La figura 8.45 esquematiza las dos formas en que se puede obtener la acumulación de aire. Las dos opciones buscan acumular el aire con base en los recorridos propios de la actividad y se fundamentan en el uso de energía humana o de los subsistemas de cosecha para realizar el corte (entorno). La activación neumática incluye la desinfección por aspersión, la cual es impulsada por la misma presión del momento de realizar el corte. El diseño de la cuchilla y contra-cuchilla emuló la morfología de insectos y buscó retener el tallo en el momento previo al corte.

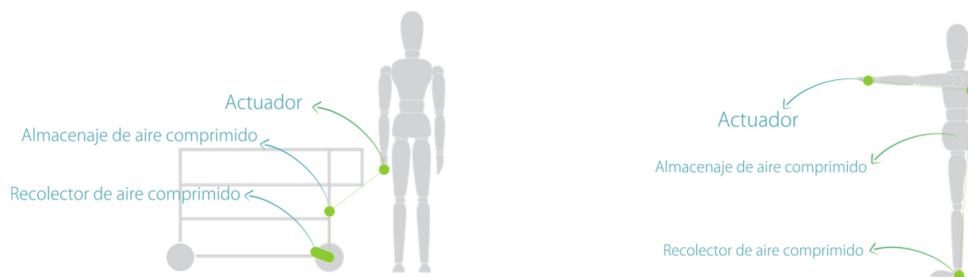


Figura 8.45 Conceptos de recolector – almacenaje de aire comprimido.

Para ver la factibilidad de esta propuesta neumática, se llevó a cabo la siguiente estimación:

1. Cálculo de recorridos hechos al interior de los pasillos: Se establecieron todos los cálculos de los escenarios de distancias recorridas, para temporada baja y temporada alta, considerando los desplazamientos de la cortadora, con su carro de recolección. Los datos dimensiones del invernadero, que incluyen dimensiones de pasillos (longitudes de camas de flor), y distancias a las zonas de acopio de la flor se tomaron del MOST. Las dimensiones más destacadas son: una cama de flor tiene 30 metros de largo por 1 metro de ancho y 60 cm de pasillo entre cada cama de flor ver figura 8.26.

El escenario menos eficiente para la carga del sistema de aire comprimido serán los recorridos en temporada baja, pues en temporada alta, se produce más volumen de flor a cortar por cama y por lo tanto se llenan más rápido los empaques, que se tienen que descargar realizando más recorridos al punto de acopio. Las condiciones de este escenario en baja temporada son: una cortadora recorre 272 metros para cortar en cuatro camas asignadas a, 200 rosas acomodadas en 8 empaques. La posición de las camas para este escenario, se encuentra a una distancia promedio de 1 metro de la zona de acopio. Si el recorrido acumulado entre camas es de 272 metros y según los datos antropométricos, el largo promedio de paso de un hombre es de 76 cm y el de una mujer de 66 cm, solo el recorrido entre camas cortando demanda 358 pasos para un hombre y 412 pasos por una mujer. Como se verá más adelante, estos datos se contrastaron con el cálculo del llenado del tanque pulmón y con el estimado de cortes cubiertos por zancada.

Se ha vuelto un estándar técnico utilizar un carro de recolección donde se descarguen las flores cosechadas dentro de un empaque de cartonplast, como se observa en la figura 8.46, el carro puede llevar hasta dos empaques para cosechas en temporadas pico. La inclusión del tanque y el sistema biela – rueda permiten que mientras se desplaza el carro, simultáneamente se esté llenando de aire en el tanque y una manguera con su respectivo acople lleve el aire comprimido hacia la herramienta. Es importante aclarar aquí, que los cálculos realizados no corresponden con las dimensiones finales de las ruedas del carro.

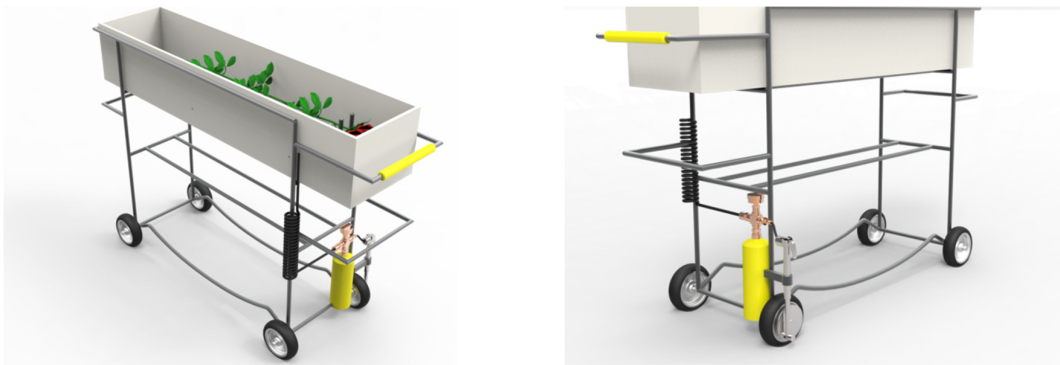


Figura 8.46 Carro de recolección con mecanismo para acumular aire en un tanque.

En esta etapa de configuración, no se detallan las alternativas de los mecanismos para llenar el tanque, pero han hecho parte la exploración de la viabilidad de mecanismos que aumenten / reduzcan el torque.

Por lo tanto, la figura 8.46 no corresponde a las dimensiones y mecanismos definitivos, pero el concepto de aprovechar el desplazamiento del carro se mantiene.

Otra alternativa es utilizar el desplazamiento de los trabajadores, para que con un dispositivo acoplado a su marcha, se llene de aire en el tanque, que para este caso estará en la espalda ajustado con un arnés. Una manguera integrada al traje de dotación con su respectivo acople llevará el aire comprimido hacia la herramienta, figura 8.47. Es importante destacar que el dispositivo de carga con el desplazamiento no se mostrará debido a que es objeto de patente, no constitutiva de la presente tesis. Pero en general se puede mencionar que se están explorando mecanismos para aumentar la fuerza ejercida al caminar.



Figura 8.47 Herramienta neumática con su tanque de compresión que puede cargarse a la espalda.

El color de la herramienta es amarillo, para lograr el contraste con el follaje y predominio verde de los rosales, para distinguir mejor los puntos de corte (posición) y en caso de pérdida entre las matas, encontrar más fácilmente la herramienta. El desplazamiento de la cuchilla se diseñó pensando en incrementar la fuerza de corte, figura 8.48. Por su parte, la contracuchilla tiene una cavidad para alojar y retener el tallo (entre 4 y 20 mm), facilitando la identificación del punto de corte. Igual que en los anteriores conceptos, el desplazamiento de la cuchilla se ha estado estudiando, evaluando y evolucionando y no corresponde a la versión definitiva.

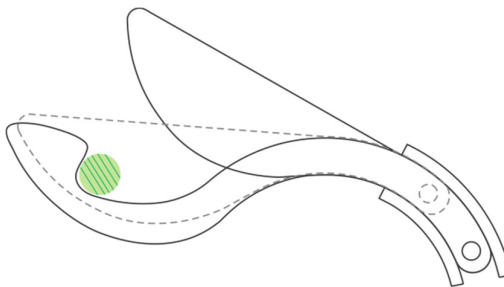


Figura 8.48 Desplazamiento de cuchilla hacia contra-cuchilla retenedora de tallo.

La segunda alternativa de corte con activación mecánica, tiene relación con el principio bio-inspirado de una hormiga que tiene dos tenazas—mandíbulas de corte, un arco elástico y un mecanismo de corte. Las superficies de corte cuentan con un par de enganches, como sistema de cierre que al ser desactivado debe lograr una velocidad explosiva en el cierre de las mismas. Guiados sobre este principio, para esta

alternativa se propone una herramienta que haga el corte del tallo conforme se acerca al mismo, en ese sentido; entre más grueso sea el tallo, mayor fuerza tendrá el corte y viceversa. Las pinzas de recepción se van abriendo para dar paso al tallo y una vez superado determinado recorrido, la cuchilla–contracuchilla ubicadas atrás, se cerrarán abruptamente. Este concepto tiene asociadas algunas posibilidades mecánicas para potenciar el disparo con una aceleración de determinada masa.

Este principio implica un tutor para no dejar flexionar el tallo, además de otros mecanismos y juego de palancas que han hecho evolucionar la alternativa y que será objeto de patente. El desinfectante también se integra a la herramienta en esta propuesta y se impregna a la cuchilla mediante tensión superficial, además, permite al trabajador graduar la intensidad del goteo para cortes en temporada baja y alta. La inspiración biomimética para esta característica de desinfección proviene del veneno de las serpientes, en donde el equipo de diseño determinó la eficiencia en términos de gotas por desinfección. La figura 8.49 muestra una representación 3D del dispositivo de recepción, direccionamiento y corte. El contenedor translúcido rojo es donde se carga el producto desinfectante (fungicida), logrando una dosificación por gravedad y una distribución por capilaridad (bioinspirada).



Figura 8.49 Representación de detalle de zona de corte y contenedor de fungicida.

Esta es una alternativa de uso mecánico, operada y manipulada por miembros superiores en donde el trabajador empuja la herramienta contra el tallo para producir el corte, por lo tanto, el mango no tiene gatillo que obturar y de esta manera, se elimina la fuerza y la repetitividad de la mano – flexo-extensión continua de los dedos. Adicionalmente se tienen previstos dos tipos de asas, una de agarre a mano llena y otra de superficies alabeadas y envolventes, que por un lado la hacen más liviana y por otro, ayudan en la protección frente a las espinas del rosal. A esta alternativa, se le suma una segunda propuesta de agarre, y la marcación personalizada que obedece al estudio etnográfico, quienes siendo los trabajadores los usuarios sugieren una herramienta más liviana, compacta, de color contrastante, por lo que el diseño contempla la unión del dispositivo con el elemento de protección personal marcado. La figura 8.50 es una representación 3D que permite ver la forma del asa envolvente, los colores propuestos y la marquilla con el nombre del cortador.



Figura 8.50 Representación del volumen general y del modelado del asa envolvente.

Otra característica de la herramienta con activación mecánica es la articulación tanto sobre el eje vertical como horizontal.

8.4.2 Diseño a detalle

El diseño a detalle contempla el desarrollo de planos constructivos, planos por pieza, diseño para el montaje, diseño para el ensamble y demás especificaciones del producto y de los proveedores de materiales y partes comerciales. Adicionalmente, se incluyen protocolos de pruebas de fiabilidad y de mantenibilidad, así como los ciclos de logística de reciclaje, recuperación y metabolismo tecnológico, entre otros.

Ahora bien, los compromisos y objetivos con la Dirección de Investigación sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, definido en el protocolo de investigación, se cumplieron con la entrega de un informe final de investigación que daba cuenta del desarrollo hasta la fase de concepción de ideas con la estrategia biomimética, pero al conocer el avance y el enfoque del proyecto, vieron la factibilidad de patentar y por tanto decidió apoyar el equipo de investigación en este sentido, estimulando la redacción de patentes. De acuerdo con lo anterior, al no ser parte constitutiva de esta tesis el proceso de patente, acá no se describirá el desarrollo de planos por pieza o detalles funcionales y especificaciones de la herramienta, sino que se describirán las acciones llevadas a cabo en los pasos del DDP según el modelo Cs-tP y en algunos casos, datos, cálculos y análisis que permitieron tomar decisiones sobre el desarrollo de la herramienta.

Siguiendo los lineamientos dados por el modelo EQUID (Karen Lange-Morales, García-Acosta, & Bruder, 2014), donde la documentación sistemática y rigurosa apoya la calidad del proceso de DDP, desde la gestión organizacional del grupo de emprendedores, se ha establecido una política de “seguimiento integral y exhaustivo de proyectos” lo que implica llevar a cabo las siguientes actividades en el proceso de diseño de detalle:

- Realizar reuniones semanales de control y seguimiento de proyecto.

- Consolidar de manera organizada la información, cada proyecto tiene una bitácora de seguimiento y una carpeta virtual donde se van almacenando los archivos.
- Utilizar formatos técnicos normalizados y rotulados para planos por pieza y detalles, como se ve en la figura 8.51.
- Registrar toda comunicación por escrito, para realizar el respectivo rastreo en la toma de decisiones, según responsabilidades individuales o cooperadas.
- Por pequeños o insignificantes los cambios que se ejecuten, no reemplazar ningún archivo, con el objetivo de llevar un historial de cambios.

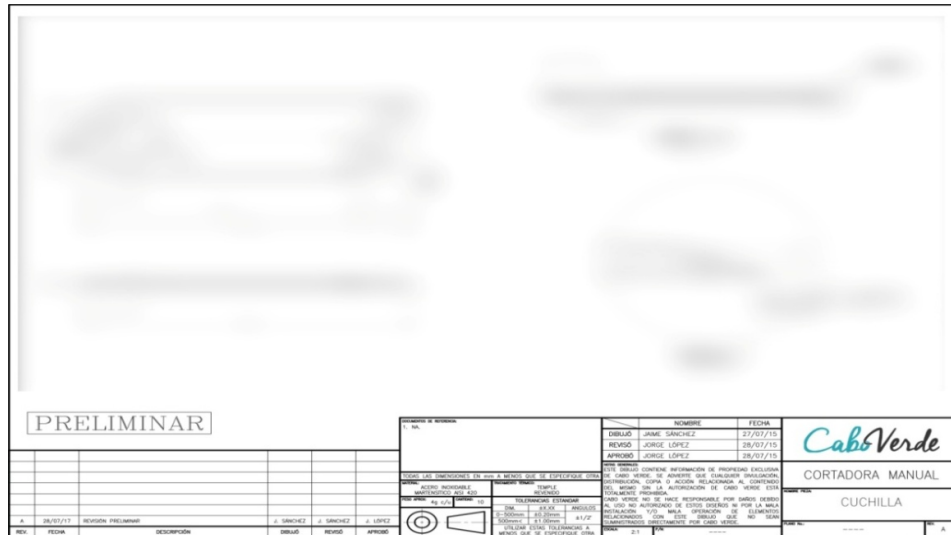


Figura 8.51 Formato técnico normalizado.

Se realizó un análisis de factibilidad tecnológica por ejemplo de las bioinspiraciones del tipo de corte según los organismos. Algunos de los organismos estudiados tienen a nivel microscópico, estructuras dentadas (nano-dientes) que aseguran un corte limpio, pero el acceso tecnológico limitado para el trabajo de nano escala, llevó a descartar estas alternativas. Se establecieron las escalas de un trabajo con superficies dentadas y finalmente se descartaron por la viruta que se genera del material vegetal y adicionalmente, porque es necesario un corte limpio del tallo, para que el tocón cicatrice rápido y así evitar que la planta sea atacada por hongos. Ahora bien, a nivel microscópico el afilado de una cuchilla presenta ciertas irregularidades que terminan semejando el dentado.

Respecto a los cálculos de fuerza de corte, se tomaron los datos estadísticos de los registros de dichas fuerzas según las variedades analizadas y se hizo la conversión de la fuerza ejercida en el mango de la herramienta, a la fuerza ejercida en el tallo por la cuchilla y contracuchilla. Por condición de la tecnología disponible en el momento, se obtuvieron los datos de registros máximos. Adicionalmente, de los registros de fuerza P en lbf del pinchómetro, se hizo la conversión a Newtons. Luego se buscó el esfuerzo cortante promedio estimado en megapascales, para determinar las propiedades mecánicas del material. Se utilizó un estudio sobre propiedades mecánicas de diversas especies maderables, y se encontró similitud con la

variedad maderable Chopo, tomando valores equivalentes como material ortótropo /anisótropo. Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas del material vegetal, resulta destacado estimar el esfuerzo cortante.

En línea con lo anterior, se utilizó un programa de elementos finitos (ANSIS), para establecer la analogía del comportamiento del material vegetal, ingresando propiedades de la especie maderable Chopo, desarrollando una simulación virtual de cizallamiento, a partir de una probeta con las propiedades ortotrópicas del material. Se encontró que la probeta se deformaba primero durante un buen lapso y luego si empezaba el punto de corte, es decir que se pasaba un tiempo en el límite elástico, hasta iniciar el corte en su punto plástico. El tallo, al ser un material heterogéneo es muy difícil establecer un estándar entre la zona elástica y plástica, pero se concluye que mucha de la energía se utiliza en la deformación antes que en el corte. Después, se buscaron las variedades con máximos esfuerzos constantes, del total de las 38 variedades seleccionadas en el estudio, realizando una relación ordenada de los esfuerzos cortantes del grupo de 38 variedades y posteriormente, se hizo una nueva relación ordenada, pero de las fuerzas aplicadas de nuevo a las 38 variedades. Se seleccionaron las tres variedades con valores superiores tanto para de esfuerzos cortantes, como de fuerzas aplicadas. Dichas variedades son: *Escimo*, *Kiko* y *Latin breeze*. La variedad *Kiko* fue la de mayor esfuerzo cortante con 6 MPa y una fuerza ejercida de 140.55 N, con un diámetro promedio de 5,5 mm. Con la variedad *Escimo* se registró un esfuerzo cortante de 5.51 MPa y una fuerza ejercida de 124.64 N, con un diámetro promedio de 5,38 mm. La figura 8.52 muestra una tabla con las propiedades de las 3 variedades mencionadas como las más destacadas.

N°	VARIEDAD	PRUEBAS DE CORTE						
		Parámetro	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	Unidades	Promedio
21	Escimo	Longitud	650.00	490.00	568.00	750.00	mm	614.50
		Diámetro	6.00	5.00	5.50	5.00	mm	5.38
		Fuerza en el mango	13.00	12.00	13.00	9.00	lb	11.75
		Fuerza mango conversión	57.85	53.40	57.85	40.05	N	52.29
		Fuerza P	-137.90	-127.29	-137.90	-95.47	N	-124.64
		Esfuerzo cortante promedio	4.88	6.48	5.80	4.86	MPa	5.51
27	Kiko	Longitud	780.00	670.00	740.00	790.00	mm	745.00
		Diámetro	6.00	5.00	6.00	5.00	mm	5.50
		Fuerza en el mango	13.00	13.00	15.00	12.00	lb	13.25
		Fuerza mango conversión	57.85	57.85	66.75	53.40	N	58.96
		Fuerza P	-137.90	-137.90	-159.12	-127.29	N	-140.55
		Esfuerzo cortante promedio	4.88	7.02	5.63	6.48	MPa	6.00
31	Latin breeze	Longitud	900.00	560.00	760.00	560.00	mm	695.00
		Diámetro	9.00	6.00	5.00	5.00	mm	6.25
		Fuerza en el mango	21.00	13.00	11.50	11.00	lb	14.13
		Fuerza mango conversión	93.45	57.85	51.18	48.95	N	62.86
		Fuerza P	-222.76	-137.90	-121.99	-116.69	N	-149.84
		Esfuerzo cortante promedio	3.50	4.88	6.21	5.94	MPa	5.13

Figura 8.52 Tabla de variedades destacadas en fuerza p y esfuerzo de corte.

Para la alternativa relacionada con el carro de corte para la carga neumática, se han hecho estimaciones preliminares con ruedas comerciales de alrededor de 30 cm de diámetro, lo que ha llevado a la reconfiguración del carro. Se podría usar un tanque pulmón de unos 20 cm de altura y un radio de base de

unos 4.5 cm, de manera que la cantidad de masa desplazada de aire permita tener una presión de unos 700000 Pa y el cilindro neumático pueda ejercer una fuerza de aproximada de 193.9 N. Es importante mencionar que los datos más altos registrados de fuerza entre las variedades de rosas están en 149,8 N (ver tabla figura 8.53). Se han estimado como 40.7 los ciclos necesarios para efectuar la carga de base del tanque pulmón y los cálculos de cantidad de cortes por ciclo se han estimado en alrededor de 5.32 cortes por cada ciclo. Ahora bien, en función de la viabilidad mecánica, se están estudiando otro tipo de mecanismos más eficientes para aumentar el torque, por mencionar alguno, los engranajes planetarios. Adicionalmente, se estudia la entrada y salida del aire, con mecanismos como por ejemplo un árbol de levas, teniendo en cuenta su consecuente “pérdida” / transformación de energía. Cabe destacar que estos cálculos deben ser ajustados en cuanto a la eficiencia de las partes, por ejemplo, en el caso de un pistón comercial (Airtac), el manual registra una eficiencia del 80% y a todo esto se deben tener en cuenta las “pérdidas” en el sistema, que en el peor escenario podría dar una eficiencia del 40%. También se han realizado cálculos basados en las zancadas promedio de hombre 0.76 metros y mujer 0.66 metros, estableciendo una distancia recorrida para llenar el tanque pulmón de:

Hombre	Mujer	Carro de corte
42.56 metros	36.99 metros	38.25 metros

Dichos escenarios de llenado del tanque pulmón muestran que las diferencias no superan los 6 metros, siendo viables en las condiciones actuales de los recorridos en los espacios de los invernaderos.

Adicionalmente, el tanque pulmón se llena con la sexta parte del recorrido del escenario presentado en el apartado de la factibilidad de la propuesta neumática, indicado en el cálculo de recorridos hechos al interior de los pasillos.

Para la alternativa mecánica, además de explorar mecanismos que permitan aumentar la fuerza ejercida al caminar, se está viendo la integración a otros elementos de la dotación de trabajo, por ejemplo, ciertos cultivos usan zancos, como se pudo ver en la figura 8.27. El enfoque es aprovechar tanto la energía de las operarias, como la disponible en el contexto de la actividad. Se están preparando pruebas en la plataforma Arduino¹³, para estimar la energía necesaria en la acción de corte. Pero la eficiencia mecánica se ha orientado a aprovechar la fuerza de todo el miembro superior y un aumento en el torque a partir de un mecanismo en estudio. Adicionalmente, se tiene previsto realizar ensayos normalizados en el laboratorio de ensayos mecánicos de la Universidad Nacional de Colombia, con la prueba de impacto Izod, norma ASTM D6110, para materiales sin muesca y/o la prueba de impacto Charpy, norma ASTM D4812, para materiales con muesca. A todo lo anterior, se están haciendo pruebas de los ángulos de ataque de la cuchilla, de las condiciones de la contracuchilla y la efectividad de los brazos de palanca. Si la fuerza ejercida en el mango de la tijera con la mano está actualmente en las variedades más exigentes en alrededor de 65 Newtons, la herramienta en desarrollo busca una menor exigencia de fuerza, de alrededor

¹³ Arduino es un hardware libre con un microcontrolador y un entorno de desarrollo. <https://www.arduino.cc>

de 45 Newtons. Previo a los ensayos de tenacidad para medir la energía absorbida se ha estimado por cálculos preliminares tanto el trabajo, como la energía empleada de acuerdo con lo siguiente:

$$W = F \cdot d$$

Tomando los datos tanto de fuerza P máxima, como del diámetro máximo de un tallo de rosa, tendremos:

$$F = 150 \text{ Newtons y } d = 0.012 \text{ m}$$

$$W = 150 \text{ N} \cdot 0.012 \text{ m} = 1,8 \text{ Watt}$$

Ahora, de acuerdo con las observaciones de los videos, la duración del corte propiamente dicho no supera el medio segundo, con esta observable y los datos anteriores se puede tener una aproximación de la energía empleada en el corte así:

$$E = W \cdot t$$

$$E = 1,8 \text{ Watt} \cdot 0,5 \text{ Seg} = 0,9 \text{ Julios}$$

Por otro lado, siguiendo la orientación hacia la eco-efectividad, se analizaron diferentes materiales para los diferentes partes de la tijera, dejando incluso una ventana prospectiva en materiales de desarrollo de punta tecnológica como el grafeno, por sus extraordinarias propiedades de bajo peso, dureza, resistencia y flexibilidad. En el caso de la cuchilla, se analizó la posibilidad de utilizar diversos materiales, empezando por los similares a los encontrados en la naturaleza, por ejemplo: 1. Dentina / esmalte o tejidos mineralizados con alto contenido de fosfato de calcio cristalino o hidroxiapatita, poco soluble, pero que puede ser biodegradado por algunas bacterias en conjunción con ácido láctico, este material es considerado una biocerámica y hay desarrollos para producción sintética de bio-implantes¹⁴, pero como materia prima para el propósito de la herramienta aún no están al alcance comercial, lo que muestra un reto de desarrollo tecnológico en ingeniería de nuevos materiales. 2. Otros materiales cerámicos, como los de compuestos con óxido de circonio, que tienen una alta escala de dureza (8.5), si se les compara con los aceros especiales que rondan entre 7.5 u 8. La ventajas de dicho material están en su menor peso, mantienen el filo mucho tiempo, no es corrosivo en ambientes extremos, no es magnético, no es conductor térmico, ni conductor eléctrico, ahora bien, para el caso de las herramientas de corte de tallos de flor, es muy resistente a ácidos y sustancias causticas, pero su debilidad es que son frágiles y las cuchillas se pueden romper en caso de que la herramienta se caiga o estrellé contra algo, aunque se está avanzando en procesos que permitan desarrollos de material con mayor tenacidad. La dificultad de la aplicación de estos materiales es aún la dependencia a la obtención como pieza final en manos de pocas compañías y sobre todo los volúmenes exigidos para un costo razonable. 3. La busca de aceros especiales para la cuchilla, buscando como parámetros de referencia las siguientes propiedades mecánicas: dureza elevada, en un intervalo de 48 a 62 RHC (Rockwell). De esta forma se buscó un acero inoxidable

¹⁴ Bioimplantes comerciales en hidroxiapatita: <http://www.ioi.com/>

martencítico, cuya proveeduría se tenga en Colombia, encontrando AISI/SAE 414, 420, 420f, 440A y 440B. La proveeduría en red ofrece todos los anteriores, pero los más frecuentes y recomendados son 440A y 440B que resultan muy convenientes por ser los más resistentes a la corrosión después del temple–revenido (bonificado).

Finalmente, para el peso de la herramienta, se ha puesto atención en las dimensiones, espesores y densidades de los materiales, estimando los volúmenes para calcular el peso de los materiales por su respectiva densidad. El aluminio es de los más factibles como opción de partes del chasis, por sus propiedades de bajo peso. Se observó que se están desarrollando aluminios espumados estructurales, lo que aumenta su propiedad de bajo peso.

8.4.3 Modelos virtuales y reales

En el paso sobre el desarrollo de modelos virtuales y reales, su propósito ha sido establecer diversas comprobaciones tanto de funcionalidad como de usabilidad, así como prever las condiciones de fiabilidad, mantenibilidad y obtenibilidad. Se realizaron diversos modelos y cálculos tanto virtuales como reales. Se calculó la relación de sumatoria de momentos de fuerza y se estimó la energía necesaria para el corte con las actuales tijeras – podaderas manuales, se realizaron los cálculos de entrada y carga de aire comprimido a la botella portátil preseleccionada, ya sea con el peso del cuerpo en desplazamiento de los trabajadores o con el desplazamiento del carro de recolección de tallos cortados.

Con la herramienta manual mecánica tipo tijera – podadera más frecuentemente utilizada (Felco 2) en los cultivos de la sabana de Bogotá, se realizó un cálculo de fuerzas de corte P , necesaria para realizar el corte de las variedades con mayores exigencias de fuerza. Con este parámetro se calculó posteriormente el esfuerzo cortante, como un criterio independiente del espesor del tallo y manejarlo como referencia a la hora de buscar la potencia de trabajo de las alternativas de herramienta en proceso de diseño y comprobación.

Para calcular los esfuerzos cortantes se utilizaron los datos obtenidos en la tabla de registro de resultados sobre las variedades de flor y que se puede ver ejemplificada en la figura 8.52. Ahora bien, como se observa en la foto de la figura 8.53 cuando se utiliza la tijera – podadera manual el punto de aplicación de la fuerza es casi siempre el mismo, la inclinación no varía y la fuerza P es perpendicular a la sección del área de la herramienta.



Figura 8.53 Manipulación de tijera – podadera y eficiencia mecánica de palanca.

Se tomaron las dimensiones de la tijera Felco 2 y se estimaron las distancias de los brazos de palanca tanto del mango, como de la cuchilla–contracuchilla, para establecer un modelo de descomposición de fuerzas. En la figura 8.55 se representó la tijera podadera para esquematizar la descomposición de fuerzas.

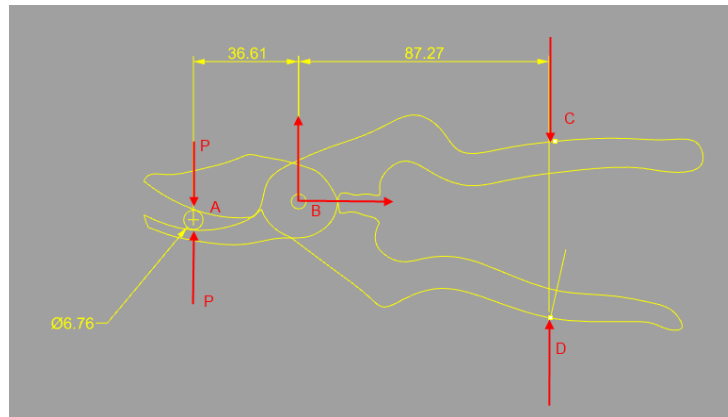


Figura 8.54 Esquema de tijera para representar dimensiones de brazos y descomposición de fuerzas.

A partir de la figura 8.54 se puede observar la descomposición de las fuerzas, calcularemos el valor de la fuerza así:

Haciendo sumatoria de fuerzas en F_y y sumatoria de Momento alrededor de B

$$\sum F_y = -P + B_y - C_y = 0$$

$$\sum M_B = (-36.6)(-P) + (87.3)(-C_y) = 0$$

Se despejó la ecuación, para obtener la fuerza P , quedando entonces como:

$$P = \frac{(87.3)(C_y)}{-36.6}$$

A la fuerza en el mango registrada en lbf se le realizó la conversión a Newtons, que es la que se reemplazó sistemáticamente para cada una de las cuatro muestras que se tomaron por cada una de las variedades (–Cy). de esta manera se calcularon todas las fuerzas P por muestra y luego se calcularon los promedios en cada variedad de rosa estudiada, dichos registros se pueden observar en la tabla de la figura 8.53.

Ahora bien, con la magnitud de la fuerza P, fue posible calcular el esfuerzo cortante promedio τ_{prom}

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A}$$

$$\tau_{prom} = \frac{P}{\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2}$$

De esta manera se calculó el esfuerzo cortante promedio en cada una de las cuatro muestras de todas las variedades del estudio. La tabla de la figura 8.53 resalta en color tanto los esfuerzos constantes promedios más altos, como los tallos a los que se les debió aplicar mayor fuerza P para realizar el corte. Todo lo anterior también fue un referente para el proceso de diseño de las herramientas, estableciendo por ejemplo que las variedades con mayor demanda de fuerza para hacer el corte, están alrededor de 150 N. Para las validaciones de los prototipos se tiene previsto realizar una recolección de otras variedades reconocidas por las mismas cortadoras, en sus palabras como “rejudas”, “difíciles” o “duras de cortar” con el propósito de verificar si los valores de fuerza demandada son superiores a los hasta ahora registrados.

Adicionalmente se hicieron modelos simplificados sobre mecanismos y modelos reales para verificación de compatibilidad antropométrica y biomecánica del agarre. Se hicieron un total de 15 modelos y se articularon con los procesos de comprobación asistida por computador, de esta manera, aspectos como el cizallado se comprobaron por vía digital y características dimensionales como el tamaño y forma de los agarres por vía física. A continuación en la figura 8.55 se muestra uno de los modelos funcionales escala 1:1 de la herramienta mecánica, es de anotar que las pruebas con los modelos han llevado a diversas modificaciones mecánicas que se están evaluando y no se presentan por ser objeto de la patente.



Figura 8.55 Modelo funcional de herramienta mecánica escala 1:1.

En la figura 8.56 se muestran fotografías de algunos de los modelos físicos del proceso de DDP, orientados a realizar pruebas mecánicas, hidráulicas, neumáticas y de compatibilidad antropométrica, biomecánica y de confort.



Figura 8.56 Colección fotográfica de algunos modelos.

8.4.4 Prototipos y validaciones

Respecto al paso de construcción de prototipos y protocolos de validación, se han planificado pruebas de funcionalidad y usabilidad para asegurar la condición funcional (CFu) y la condición de uso (CUs), así como la verificación con las cortadoras, los supervisores, los ingenieros agrícolas y demás ‘partes interesadas’ en la condición útil (CUt) de las dos versiones de herramienta propuesta (neumática y mecánica) en términos preliminares. Adicionalmente, se tienen contempladas pruebas de fiabilidad y de mantenibilidad, para asegurar la condición de calidad (CCa) y la condición de permanencia (CPe) de las partes directamente relacionadas con la funcionalidad de las dos versiones de herramienta. Lo anterior se complementa con las estrategias de obtenibilidad para estimar la condición de desempeño de la herramienta (CDe), para luego establecer una logística de producto/servicio extendido, que será cubierta por el emprendimiento y que a su vez estará apoyada en una empresa comercializadora de productos para el sector floricultor, con cerca de quince años de experiencia. En la figura 8.57 se ubica el conjunto de protocolos a aplicar tanto en la etapa de diseño y desarrollo como en la etapa de uso y servicios.

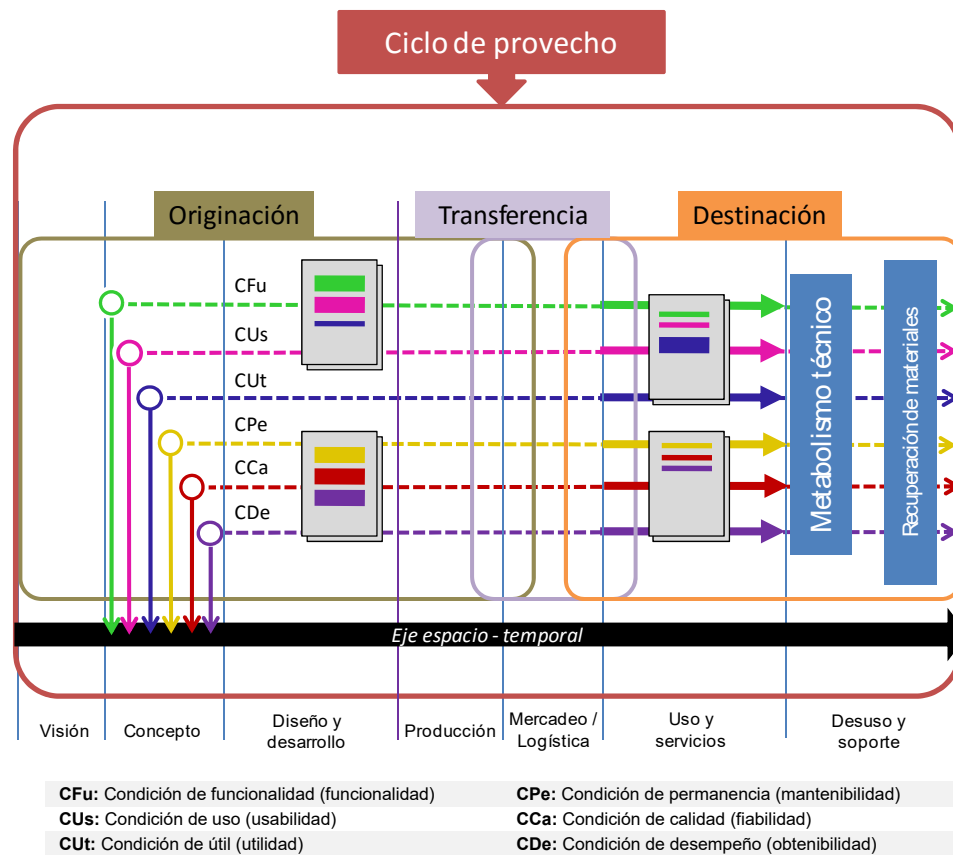


Figura 8.57 Ubicación de protocolos para validación de prototipos y producto.

El primer grupo de protocolos para validación de prototipos se establece pensando en la condición funcional (CFu) como eje central, de la que depende la condición de uso (CUs). También se puede considerar la condición útil (CUt), pero limitada únicamente a la utilidad prevista desde la etapa de concepto. Ahora bien, es importante recordar que el modelo de ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-

tP), está fundamentado en la sociología simétrica, que toma distancia del determinismo tecnológico precisamente por reconocer que no todo es predecible, en otras palabras, la CUt no puede ser prevista y por tanto validada en su totalidad en la etapa de diseño y desarrollo, ya que será hasta que las nuevas herramientas sean apropiadas e incorporadas dentro de los cultivos por todas las partes interesadas, cuando se pueda comprender su verdadera dimensión de utilidad.

El segundo grupo de protocolos también requiere previamente de la validación de la CFu, y se ocupa de asegurar una condición de calidad (CCa), previendo los fallos de todas y cada una de las partes que componen la herramienta, de manera que se pueda establecer una garantía por cada parte y una garantía por la totalidad. Integralmente, se puede planificar la logística de mantenimiento y recambio de partes y componentes, para cerciorarse de la condición de permanencia (CPe) de las herramientas dentro del ciclo de provecho y que no entren prematuramente a la fase de desuso y servicios. Ahora bien, si las condiciones anteriores se logran, se debe pensar en la facilidad de obtención y adquisición de partes y suministros, de manera que se completen las condiciones de desempeño y como consecuencia, tener herramientas con total disponibilidad.

Dentro del primer grupo de protocolos, en términos de funcionalidad, se han realizado pruebas de laboratorio para verificar las hipótesis de forma y ángulos de ataque de las cuchillas; complementario a esto, se realizan pruebas con el afilado y el temple y para el caso de la versión neumática, pruebas sobre las presiones de aire necesarias para realizar el corte de tallos, aplicando como variables el diámetro, la fuerza y esfuerzo cortante, según los criterios estadísticos antes mencionados. Lo anterior, junto con otras simulaciones virtuales, llevará a tener certidumbre de mecanismos y componentes clave en las reivindicaciones que se harán en las patentes. Se han planificado pruebas de campo de funcionalidad y usabilidad, para estimar la eficiencia, eficacia y satisfacción de todos los subsistemas coordinados, con tres prototipos funcionales, pero dichas pruebas de los subsistemas se iniciarán una vez se radiquen las solicitudes de patente. Como se indicó anteriormente, en el modelo de Cs-tP propuesto la utilidad no podrá preverse o controlarse y será materia de comprensión integrada, con las evidencias de inserción hasta la etapa de uso y servicios, cuando las cortadoras, los supervisores, los jefes de talento humano y de producción u otras partes interesadas, darán el tiempo necesario de apropiación socio-tecnológica de las herramientas.

En el segundo grupo de protocolos se establecerá una jerarquía de piezas, materiales y sus cualidades para pruebas de fallo, de esta manera se pueden determinar sus diversas durabilidades y posteriormente decidir, si es necesario, ajustes al diseño o cambio en los materiales y sus propiedades. Los resultados de la fiabilidad se ordenarán para construir por un lado, la logística de proveeduría de partes, las redes de suministro, los inventarios de los distintos componentes como repuestos, los servicios de mantenimiento y por otro lado, las redes de logística inversa que se deben activar en la fase de desuso y soporte, para asegurar el metabolismo tecnológico.

8.5 Consideraciones finales

El uso del modelo de Cs-tP busca alejarse del determinismo tecnológico y acercarse como modelo simétrico, donde se equilibren tanto lo social como lo tecnológico. Bajo esta premisa se buscó que el espacio de actuación en el DDP no se limitara a los ingenieros y diseñadores de producto, sino que participaran y tomaran decisiones otras partes interesadas, en este caso del sector floricultor.

En el caso de estudio bajo la guía del modelo de Cs-tP, se ha trabajado el concepto de calidad ya no como algo centrado solo en el producto, sino como la capacidad de tomar decisiones consensadas con una orientación tanto hacia la responsabilidad social frente a la salud de las cortadoras de rosas y el bienestar de sus familias, como hacia la responsabilidad ambiental, dirigida a no involucrar tecnologías que demanden usos de energía externos o consumos de insumos que deriven en ciclos que afecten los sistemas biotrópicos.

La aplicación del modelo de Cs-tP para el desarrollo de una nueva herramienta de corte de rosas, buscó la participación activa de la mayor cantidad de partes interesadas y se comprendió la importancia de obtener consensos sobre los principios y valores, sin embargo las motivaciones y aspiraciones de cada uno de los actores hicieron difícil al inicio un enfoque unificado. En general primó la presión social que se viene ejerciendo hacia las empresas del sector, por resolver la problemática de salud y seguridad laboral, directamente relacionada con las cortadoras de flor, debido a los costos sociales relacionados con la calidad de vida en el trabajo. Adicionalmente al interior de las empresas ya se ha tomado conciencia de los costos económicos que implican tanto la rotación de personal por la preparación, habilidades y conocimiento implícito, así como las coberturas de los seguros laborales que van en aumento.

El caso de estudio en el sector floricultor colombiano, logró poner sobre la mesa los intereses y valores de las personas como partes interesadas desde la fase inicial de visión. Al ser un proyecto académico y de emprendimiento, aún han quedado por fuera partes interesadas como los proveedores u otros actores de la cadena de suministros. Ahora bien, involucrar a diversas personas como partes interesadas externas a las compañías para el DDP, aun no es una práctica estratégica en las organizaciones productivas, pero las que lo hacen, establecen alianzas estables con proveedores y comercializadores.

Con la participación desde el inicio de diferentes personas que representaban diferentes partes interesadas, las decisiones de diseño a lo largo de las etapas que se lograron cubrir en el desarrollo de la herramienta de corte, fueron más empáticas y por tanto, menos polémicas. Los procesos participativos más allá de los responsables del DDP para la toma de decisiones, han permitido que los procesos de diseño y sus productos resultantes, sean aceptados para ser incorporados y apropiados por todos los usuarios con el convencimiento de su utilidad, lo que equilibra en la balanza la natural de resistencia frente a los cambios tecnológicos.

El DDP de la herramienta de corte desde una perspectiva simétrica, permitió valorar la dimensión humana y social de la salud pública, al definir como propósito estratégico la sostenibilidad social y ambiental con el uso eficiente de energía humana de forma saludable, tomando distancia del uso de la fuerza concentrada en mano – muñeca que ha resultado lesiva por la alta frecuencia de cortes por jornada. Aunado a lo anterior, el propósito también se orientó al uso de energía que actualmente no se está utilizando en el normal desarrollo de la actividad, por ejemplo, el desplazamiento a lo largo de todos los corredores en el invernadero, para no generar costos ni impactos ambientales adicionales.

Aunque se involucraron diferentes profesiones con sus respectivas perspectivas de DDP en busca de un trabajo interdisciplinar, emergieron dificultades relacionadas con comprensiones y visiones diferentes. De acuerdo con la experiencia de desarrollo de la herramienta de corte, queda abierta como oportunidad para futuros trabajos de investigación, desarrollar estrategias que tanto a nivel de lenguaje como a nivel de convicciones y valores, permitan un trabajo potenciado, que sume esfuerzos interdisciplinares y establezca tácticas de trabajo colaborativo desde el inicio del DDP.

La mayoría de las personas como partes interesadas se enfocaron en la responsabilidad social y muy pocos valoraron inicialmente la importancia de incluir y equilibrar el abordaje del proyecto con la responsabilidad ambiental. Ahora bien, cuando se establecieron los escenarios de los impactos económicos (criterios financieros) por el manejo de tecnologías dependientes del uso de energías externas adicionales, entonces sí se dimensionó el impacto de las decisiones en términos de responsabilidad ambiental.

En el ensamble de métodos se asumió la biomímesis como uno de ellos, pues está orientada hacia la ecoefectividad, es decir, a no generar impactos y sintonizarse con los procesos de metabolismo técnico o biológico. No obstante, la biomímesis, más que un método, es una filosofía de vida que exige a todas las partes interesadas la acojan y tengan una mirada prospectiva, abierta e integral hacia la sostenibilidad. De acuerdo con lo anterior, una de las mayores dificultades fue la valoración del enfoque biomimético, para ir más allá de la bioinspiración y pasar a la verdadera bioimitación y alcanzar así productos verdaderamente sostenibles. Lo anterior exige por ejemplo, la disponibilidad de desarrollos tecnológicos en biomateriales biodegradables o por lo menos, la participación de expertos en desarrollos de materiales y componentes que contemplen el metabolismo técnico o biológico.

El sector floricultor colombiano todavía no valora la importancia del I+D para desarrollar tecnologías apropiadas, más aún, no se identifica la experiencia acumulada en el proceso de corte, tanto de la empresa como de sus trabajadores, como motor de gestión del conocimiento socio-tecnológico, que le permita resolver sus propios y particulares problemas. Para el caso del corte de rosas, en realidad no existen tecnologías comercialmente disponibles que se adecuen a las necesidades y condiciones de la actividad.

Respecto a la gestión del conocimiento de datos en el sector floricultor, tampoco existe una cultura del registro y la documentación de proyectos de desarrollo tecnológico. Este proyecto de DDP de una herramienta de corte, puede ser utilizado como ejemplo de la importancia de dicha necesidad de la cultura documental.

Frente a la problemática de la ausencia de desarrollo tecnológico agroindustrial –en particular el floricultor, el proyecto adelantado con la factibilidad de obtención de patentes, se convierte en una oportunidad para cambiar la visión de dependencia tecnológica, por una visión de gestión de las capacidades de desarrollo situado (entorno), que ofrezca respuestas a las particulares necesidades sociales y ambientales.

8.6 Referencias

- Asocolflores. (2010). Reporte GRI Global Reporting Initiative del sector floricultor colombiano asociado en Asocolflores. Una apuesta por la sostenibilidad. Bogotá: Asociación Colombiana de Exportadores de Flores.
- Barrero, L., Pulido, J., Berrio, S., Monroy, M., Quintana, L., Ceballos, C., . . . Ellegast, R. (2012). Physical workloads of the upper-extremity among workers of the Colombian flower industry. *American journal of industrial medicine*, 55(10), 926-939.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry*: William Morrow New York.
- Berrío, S., Barrero, L., & Quintana, L. (2011). A field experiment comparing mechanical demands of two pruners for flower cutting. *Work*, 41, 1342-1345.
- Cordoba, J., & Quintana, L. (2014). Evaluación comparativa de factores de preferencia uso de una herramienta de corte para floricultura con un nuevo diseño, versus la herramienta tradicional, estudio piloto.
- Fasecolda. (2013). El Sistema General de Riesgos Laborales en Colombia (pp. 203-244). Bogotá: Fasecolda.
- García-Acosta, G., & Lange-Morales, K. (2007, 26-29 November 2007). *Ergonomic optimisation of greenhouse rose cutting*. Paper presented at the Agriculture Ergonomics Development Conference, Kuala Lumpur.
- García-Cáceres, R. G., Felknor, S., Córdoba, J. E., Caballero, J. P., & Barrero, L. H. (2012). Hand anthropometry of the Colombian floriculture workers of the Bogota plateau. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(2), 183-198.
- García Acosta, G., & Lange Morales, K. (2001). Modelo de Intervención Técnico-Tecnológico Integral (MITTI). *Revista Asocolflores*(61), 52-62.
- Ho, M., Squire, L., Sabeh, N., Giles, D., & VanderGheynst, J. (2005). Design and evaluation of a grapevine pruner for biofungicide application. *Bioresource technology*, 96(8), 963-968.
- Lange-Morales, K., & Garcia-Acosta, G. (2007, 26-29 November 2007). *Ergonomic intervention model for the Colombian flower industry*. Paper presented at the Agriculture Ergonomics Development Conference, Kuala Lumpur.

- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., & Bruder, R. (2014). The EQUID approach: improving ergonomics quality in product life cycle. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM XI - NES 46* (pp. 435-440). Copenhagen: IEA Press.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., Urueña-Téllez, W., & Pérez, A. (2012). Work situation operative model MOST: linking diagnosis and intervention to improve work conditions. *Work-Journal of Prevention Assessment and Rehabilitation*, 41, 136.
- Ministerio de la Protección Social. (2007a). *Guías de atención integral de Salud Ocupacional basadas en la evidencia (GATISO)*. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Ministerio de la Protección Social. (2007b). Informe de Enfermedad Profesional en Colombia 2003-2005. Bogotá: Ministerio de la Protección Social.
- Paget, S. A., Gibofsky, A., & Beary, J. F. (2001). *Reumatología y ortopedia ambulatoria*: Marbán.
- Riechmann, J. (2006). *Biomimesis: ensayos sobre imitación de la naturaleza, ecosocialismo y autocontención* (Vol. 227): Los libros de la Catarata.
- Superintendencia de sociedades. (2013). Desempeño del sector floricultor 2008-2012. Bogotá.
- Suratep. (2005). *Estudio del impacto en salud y calidad de la herramienta de corte (tijera) en corte de rosas*. Bogotá.
- Tenjo, F., Montes, E., & Martínez, J. (2006). Comportamiento reciente (2000–2005) del sector floricultor colombiano (Vol. 13). Bogotá.
- Wakula, J., Beckmann, T., Hett, M., & Landau, K. (2000). *Stress-strain-analysis of grapevine pruning with powered and non-powered hand tools*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Wakula, J., & Landau, K. (2001). *Stress-strain analysis of grapevine pruning with manual prunes to define work and hand tools design requirements and reduce the risk of CTD*. Paper presented at the Proceedings of NES.
- Zequera Díaz, M., García Acosta, G., Zequera Díaz, L. F., & Lange Morales, K. (2000). Evaluación biomecánica de tijeras podaderas para corte de rosa. Bogotá: Colmena Riesgos Profesionales.

9. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones que se derivan de esta tesis doctoral, organizadas según la temática trabajada en los capítulos.

9.1 Sobre el enfoque metodológico del proyecto de investigación

La metodología planteada en el capítulo 2, se estructuró pensando en responder las preguntas y los objetivos de investigación.

Por ello, frente a la pregunta: ¿Cómo se pueden abordar los factores humanos y los factores ambientales de manera simétrica?, se logró responder a dicha pregunta por medio de tres fases que se abordaron en la investigación así:

- Fase I. Se reconocieron las tendencias y métodos en factor humano, estructuradas en el capítulo nueve del “Handbook of Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Addressing Human Factors and Ergonomics in Design process, Product Life Cycle, and Innovation: Trends in Consumer Product Design”, luego de la investigación documental;
- Fase II. Se reconocieron las tendencias y métodos en factor ambiental, cuyos principales resultados se muestran en el artículo titulado: “A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective”, luego de una consulta a expertos (estudio Delphi) y de una exhaustiva investigación documental;
- Fase III. Se planteó un marco teórico / conceptual con la propuesta multidisciplinar de la ergoecología, planteada a través de dos artículos: “Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field” y “Ergoecology: evolution and challenges”.

El desarrollo de las fases I, II y III, permitió cumplir con el objetivo: “Estructurar una propuesta que integre las perspectivas del factor humano y del factor ambiental”.

Ahora bien, respecto a la pregunta: ¿Cómo se puede comprender el CVP considerando lo tecnológico y lo social simétricamente? Se dio respuesta a dicha pregunta con el abordaje de la fase IV que consistió en proponer un modelo simétrico denominado Modelo de Ciclos socio-tecnológicos de Producto (Cs-tP), desarrollado en cuatro partes que son:

- Una base epistemológica desde la sociología simétrica o sociología de los actores-red y que se complementó con un marco conceptual aportado por la teoría de los sistemas socio-técnicos en la ergonomía organizacional (macroergonomía) y un campo multidisciplinar denominado ergoecología, donde se han abordado cinco dimensiones de la sostenibilidad.
- La identificación de las tendencias y métodos tanto con énfasis en lo humano como en lo ambiental, para establecer lineamientos y herramientas que permitan el abordaje simétrico.

- El planteamiento de los componentes del ciclo socio-tecnológico de producto y los conceptos que permitan identificar tanto las cualidades que puede tener el producto, como las cualidades del entorno, y de esta manera asegurar el abordaje simétrico socio-tecnológico y humano/ambiental, a lo largo de todo el ciclo.
- La fundamentación axiológica para establecer acuerdos desde el inicio del ciclo, entre todas las personas como partes interesadas y los valores, que son a su vez la guía para las acciones y la toma de decisiones en el DDP.

Con la fase IV de investigación se logró el objetivo: Estructurar un modelo de CVP que contemple simétricamente lo tecnológico y lo social.

Para la pregunta: ¿Cómo se resuelve el corte intensivo de rosas con energía humana de manera simétrica entre lo tecnológico, lo social, los factores humanos y los factores ambientales? Se respondió con las fases V y VI.

- En la fase V, se analizó el corte intensivo de rosas en invernadero (agroindustria colombiana) siguiendo el modelo propuesto de Cs-tP. La investigación se apoyó en los fundamentos y principios planteados por la ergoecología y se buscó la perspectiva simétrica, por medio de métodos tanto de factor humano (Modelo Operativo de la Situación de Trabajo –MOST), como de factor ambiental (Biomímesis);
- Para la fase VI, se aplicó el modelo de Cs-tP, en las fases de visión, concepto y, diseño y desarrollo, explorando conceptualmente desde la biomímesis y desde el uso seguro de la energía humana, alternativas a la problemática del corte intensivo de rosas, que se ha orientado incluso hacia dos patentes, que aunque no son parte de los objetivos o alcances de esta tesis, son resultados que muestran las ventajas del enfoque simétrico en términos de responsabilidad social y ambiental.

Con las fases V y VI centradas en el caso de estudio, se alcanzó el objetivo: Proponer una solución socio-tecnológica al corte intensivo de rosas con energía humana, bajo la perspectiva simétrica humano-ambiental y acorde con el modelo de CVP propuesto.

Finalmente, para la pregunta: ¿Qué aportes tiene la comprensión del CVP-I desde una perspectiva simétrica entre lo tecnológico, lo social, lo humano y lo ambiental en la ingeniería concurrente orientada al entorno o para el diseño y desarrollo de productos? Se dio respuesta con todas las fases anteriores y adicionalmente, con las conclusiones desarrolladas en el presente capítulo, reconocida como fase VII. A partir de la revisión sistemática de modelos de ciclo de vida de producto (CVP) tanto desde el mercadeo, como desde la ingeniería y el diseño, se establecieron las oportunidades para desarrollar un modelo con un enfoque socio-tecnológico que, desde una perspectiva simétrica social – ambiental, reconociera simultáneamente tanto la responsabilidad social como la responsabilidad ambiental en el DDP.

Aunando a lo anterior la revisión sistemática, todas las fases desarrolladas permitieron el logro del objetivo: Proponer un modelo para la ingeniería y el diseño de productos orientado al entorno, que contemple simétricamente los desarrollos tecnológicos con relación a lo social y ambiental, para concebir productos, procesos y servicios integralmente sostenibles.

9.2 Sobre la revisión sistemática de modelos de ciclo de vida

En el capítulo 3 se identificaron dos grandes taxonomías, el ciclo de vida de producto desde el mercadeo CVP-M y el ciclo de vida de producto desde la ingeniería CVP-I, pero ambas han tenido desarrollos distintos aunque se han influido mutuamente.

La principal característica de los modelos de CVP-M, es que los acuerdos conceptuales y las definiciones de los términos que describen el modelo, se lograron prácticamente consolidar desde el inicio, tanto así que el planteamiento de sus etapas (introducción, expansión, madurez, saturación, muerte) se ha mantenido desde los años 60 y 70.

Se comprendió que el CVP-M es un modelo maduro, con más de 50 años de desarrollo conceptual y se ha centrado en la relación oferta – demanda de productos, para identificar, y en el mejor de los casos, prever el comportamiento de las ventas de determinado producto en función de las conductas de los consumidores.

De acuerdo con la revisión de literatura, los conceptos manejados por la comunidad científica en los modelos de CVP-I no son precisos ni estandarizados y adicionalmente se ha venido centrando en el desarrollo de métodos y herramientas. Lo anterior indica que los modelos hasta ahora propuestos aún no tienen una estructura conceptual sólida y por tanto una base teórica madura, que consecuentemente han producido dispersión de versiones e interpretaciones y, más aún, ambigüedad en las aplicaciones.

La revisión de literatura permitió verificar que existe una falta de acuerdos conceptuales en las fases que componen el modelo y sobre todo, hacen énfasis en la dimensión técnica y tecnológica y marginalmente se ocupan de la dimensión social y humana, por lo tanto, confirmaron la importancia de un enfoque simultáneo y simétrico socio-tecnológico.

Las últimas propuestas de los modelo de ciclos en ingeniería han avanzado en aspectos que favorecen el diseño colaborativo a partir de la gestión documental sobre plataformas computacionales, pero en menor medida, se identificaron preocupaciones respecto al manejo simultáneo de la responsabilidad social y la responsabilidad ambiental. Lo anterior apoyó la propuesta de elaborar un modelo que enfatizara los aspectos de sostenibilidad social (p.e. salud pública) y sostenibilidad ambiental (p.e. ecoefectividad).

El método más extendido es el ‘análisis de ciclo de vida’ (LCA), que aunque es cada vez más robusto y confiable en la información, se basa en la medición de impactos, para luego ver estrategias de reducción o mitigación, esto es, buscar DDP eficientes y máximo eco-eficientes. Sin embargo, el LCA no abarca la

dimensión de un modelo que tenga como visión asumir solo como un proceso transitorio la ecoeficiencia, por lo tanto, se necesita un modelo que vaya paradigmáticamente más allá y se oriente también a la ecoefectividad, esto es, plantear estrategias, guías y metodologías que se orienten a evitar o no generar impactos negativos en los sistemas naturales e incluso promover la regeneración de los recursos renovables.

El modelo de Cs-tP propuesto en la tesis parte de valores que permiten reconocer los límites de capacidad ecológica de la Tierra para proveer recursos energéticos y de materiales. Adicionalmente, reconocer que no es suficiente con un enfoque hacia el desarrollo sostenible, sino a la sostenibilidad, implica reconocer, por un lado, estrategias para la equidad del bienestar humano y de la naturaleza, pero por otro lado, aceptar el decrecimiento económico como una forma de equilibrar las demandas a la Tierra.

9.3 Sobre el abordaje simétrico como estructura básica para asumir el DDP

Dentro del capítulo 4 sobre el abordaje simétrico, la perspectiva epistemológica aportada por la sociología simétrica, concretamente la Teoría Actor-Red, permite abordar el DDP como un proceso donde participan todo tipo de actores (humanos y no-humanos), describiendo sus dinámicas, cambios e innovaciones. Se superan las categorías sociedad y tecnología, concentrándose en las dinámicas de las relaciones entre dispositivos, sistemas tecnológicos y colectivos sociales, como un continuum de diseño y mejoramiento de los sistemas y sus redes de relaciones.

La perspectiva simétrica se aleja del determinismo tecnológico, permitiendo compensar la excesiva atención dada desde la ingeniería y el diseño de productos a los aspectos técnicos y tecnológicos, para asumir que tanto la tecnología como la sociedad se transforman y configuran mutuamente en una dinámica interdependiente e indisoluble. Por tanto, con la simetría se reconoce que el desarrollo tecnológico es influido por la sociedad y al mismo tiempo la sociedad es impactada por la tecnología.

La ergonomía es la disciplina científica por excelencia en abordar simétricamente lo humano y lo tecnológico, mediante el abordaje de sistemas socio-tecnológicos en los que se estudian las interacciones entre los seres humanos y el resto de elementos de un sistema, con el fin de optimizarlos. Su importancia en el DDP es reconocida y está en desarrollo, en especial con la iniciativa EQUID para integrarla a lo largo de todo el CVP.

La ergoecología trasciende el concepto de la ergonomía, proponiendo un campo multidisciplinario para abordar simétricamente lo humano y lo ambiental. Mientras que la ergonomía busca optimizar el desempeño de los sistemas socio-tecnológicos, sin tomar en consideración explícitamente los efectos ambientales de dicha optimización, la ergoecología pone al mismo nivel los requerimientos de los sistemas socio-tecnológicos con los “requerimientos” de los sistemas ambientales, en búsqueda de una sostenibilidad social y ecológica.

La ergoecología provee una base conceptual de cuatro principios para el DDP: 1. Enfoque antropocéntrico pero con conciencia ecosférica; 2. Enfoque sistémico entre sistemas humanos y sistemas naturales; 3. Escalabilidad de los sistemas; y 4. Sostenibilidad integral.

Los postulados de la ergoecología son la ‘eficiencia sistémica’ o ‘efectividad’ y la ‘ecoproductividad’ y sirven de base para el DDP en el modelo de Cs-tP. El enfoque holístico permite entender la ‘eficiencia sistémica’ desde una perspectiva donde los sistemas humanos o antrópicos, se relacionan y equilibran con los sistemas naturales o biotrópicos y no como la tradicional visión de ‘eficiencia’, que se concentra en la mitigación de impactos negativos al ambiente y en el uso racional de energía y recursos. Adicionalmente, para la ergoecología, la ‘ecoproductividad’ también se ocupa del balance de los sistemas en términos de usos de energía, información (gestión del conocimiento) y materias primas.

9.4 Sobre las tendencias y métodos en el DDP desde lo humano y lo ambiental

En el capítulo 5, la investigación documental de los métodos enfocados tanto en lo humano como en lo ambiental, dejó en evidencia la dispersión teórica y por tanto, la necesidad de definir criterios de agrupación metodológica sobre bases o tendencias conceptuales. Por ello, los trabajos adelantados y referidos en dicho capítulo muestran la importancia epistemológica de construir dichas tendencias, necesarias para responder a la simetría humano – ambiental.

Aunque fue extensa y dispendiosa la construcción de las tendencias en ergonomía y factores humanos (EFH), la claridad de sus principios, conceptos y enfoques, así como la diferenciación de los métodos y aproximaciones, permitieron deducirlas desde la literatura científica publicada, como se puede ver en el capítulo “Addressing Human Factors and Ergonomics in Design process, Product Life Cycle, and Innovation: Trends in Consumer Product Design” del Handbook of Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design.

Por el contrario, el análisis de la literatura científica sobre métodos con énfasis en el factor ambiental, pese a la gran cantidad y variedad de métodos, no mostró la misma claridad epistemológica y conceptual, lo que dificultó el planteamiento de tendencias. Esta situación lleva a concluir que hay mayor madurez en los métodos de factores humanos que en los métodos orientados a lo ambiental, en el sentido de la reflexión epistemológica.

La revisión sistemática de conceptos y métodos alrededor del DDP con relación a ciclo de vida, factores humanos y contexto-entorno, permitió la deducción de siete grandes tendencias del diseño centrado en los individuos o colectivos, a saber: Diseño colaborativo, diseño centrado en el usuario (o diseño centrado en el humano), diseño universal (o diseño inclusivo o diseño para todos), usabilidad, diseño basado en la experiencia (o diseño emocional), diseño centrado en el mercado / contexto y diseño transcultural (o centrado en la cultura).

A su vez, la revisión sistemática de conceptos y métodos alrededor del DDP con énfasis en factores ambientales y humanos (siguiendo lo propuesto por la ergoecología) junto con el desarrollo de un estudio Delphi, permitió esbozar dos formas de categorizar los conceptos y métodos encontrados. La primera agrupación los clasifica en aquellos orientados a la mitigación / reducción de impactos ambientales (que buscan la eco-eficiencia) y aquellos orientados a la eliminación de impactos ambientales / conservación (que trabajan para lograr la eco-efectividad). La segunda agrupación propone las siguientes categorías: diseño para la mitigación de impactos, diseño para la regulación de impactos, diseño para la prevención / eliminación de impactos, diseño para la optimización ambiental y diseño para el reciclaje y la reutilización.

9.5 Sobre la caracterización de los Cs-tP

Los ciclos socio-tecnológicos de producto (Cs-tP) se convierten en una guía para el DDP, que contempla las tradicionales dimensiones económica (costos vs ganancias) y técnica (requerimientos funcionales), pero lo más importante, integra y tiene en cuenta desde la perspectiva ergoecológica, a todos los actores-red y todas las ‘partes interesadas’ desde su dimensión socio-económica.

El abordaje socio-técnico en la ingeniería y el diseño permite tomar consciencia de la interdependencia, la co-construcción y la imposibilidad de separar los hechos sociales y sus dinámicas de los hechos tecnológicos y sus transformaciones, pasando de una visión del ser humano “objetivada” como consumidor o como cliente, a un ser social, activo, autónomo y con capacidad de actuar en su contexto.

Las empresas deben asumir que el control total y absoluto sobre los productos debe ser respecto a la responsabilidad ambiental, mientras que desde la responsabilidad social, la empresa debe aceptar que los usuarios no son meramente receptores del producto, sino que con sus formas de ser y de pensar pueden tomar decisiones sobre sus productos en términos de adaptabilidad y de prolongación de los ciclos de provecho.

La visión sistémica y simétrica tanto entre lo social y lo técnico, como entre lo humano y lo ambiental, son un eje conductor que debe ser asumido en los Cs-tP para que el DDP se oriente no solo al tradicional tríptico de la sostenibilidad ambiental, social y económica, sino a la sostenibilidad política y tecnológica.

El flujo de información como dinámica de intercambio entre ciclos, al ser asumida como ‘gestión del conocimiento’, permite reconocer la importancia de todas y cada una de las partes interesadas e involucrar sus valores. Además, permite reconocer y documentar los procesos de retroalimentación que están dados por el conocimiento de cada uno de los actores, así como sus divergencias, convergencias y decisiones.

Es desde la originación que definitivamente se proyecta si un producto se dirige hacia la insostenibilidad, el desarrollo sostenible o la sostenibilidad y que dependen de qué valores y qué intereses se ponen en juego por parte de los diversos actores.

El determinismo tecnológico ha buscado por medio de teorías y métodos como la ingeniería concurrente y el “diseño para X” prever y en lo posible asegurar que la configuración de un producto tendrá la aplicabilidad prevista (control de la aplicabilidad). Sin embargo, en el modelo propuesto en esta tesis, en la etapa de uso y servicios se pueden dar re-designaciones, re-valoraciones y reconfiguraciones que modifican parcial o totalmente la aplicabilidad, por medio de una cualidad de la innovación social aquí denominada como adaptabilidad.

Para esta tesis, en el estado de destinación con la re-designación de la función, el uso y la utilidad, se puede establecer la conexión con la ergonomía, la ergoecología y la ergonomía verde, para ofrecer un enfoque no determinista de la tecnología y sustituirlo por un enfoque constructivista - social de la tecnología, donde los actores sociales que la construyen no solo pertenecen al ámbito de las empresas o de la originación, sino que se establecen en la destinación y no son vistos como simples usuarios, pasivos o receptores, sino como **generadores e innovadores** del producto, la tecnología y toda la logística y el soporte de servicios asociados y extendidos.

En el modelo propuesto en esta tesis, la incorporación de la fase de visión es estratégica pues desde allí se pueden establecer tanto las aspiraciones como los valores rectores de todos los interesados, de manera que el propósito estratégico para el DDP, se oriente a la consecución de la responsabilidad social y ambiental.

El ensamble simétrico de los métodos en el modelo de Cs-tP, permite por una parte asegurar la simetría y robustez del proceso de DDP y el consecuente desarrollo de productos con responsabilidad social y ambiental; y por la otra, una orientación hacia sostenibilidades no contempladas tradicionalmente como los son la sostenibilidad tecnológica y política, propuestas desde la ergoecología.

Desde el marco conceptual planteado desde la ergoecología y la ergonomía verde, se propone cambiar la prioridad del DDP hegemónicamente pensada en los modelos económicos y con una visión predominantemente antropocéntrica de explotación, por una prioridad emergente, que se ocupe de ir más allá de dichos modelos y reconocer los límites del capital natural y por tanto, con una visión ecosférica que reconozca la interdependencia de todas las especies.

9.6 Sobre las bases axiológicas del modelo

El proceso de DDP requiere de una dinámica continua de toma de decisiones y dichas decisiones se toman con base en los valores que subyacen el actuar humano. De ahí la importancia de incluir en el modelo los valores guía, que garanticen que el DDP se oriente hacia resultados social y ambientalmente responsables.

Del análisis de la ergoecología y la ergonomía verde se deducen seis valores, a saber: 1) respeto por la Tierra, 2) respeto por los derechos humanos, 3) respeto por la toma de decisiones ética, 4) respeto por la

transparencia y apertura, 5) apreciación de la complejidad y 6) respeto por la diversidad. Estos seis valores se plantean como la guía para la toma de decisiones durante todo el DDP.

Los valores deben “enactarse” es decir, incorporarse y ejecutarse durante todo el DDP. Los primeros dos valores propuestos marcan la orientación del DDP desde la etapa de visión, mientras que los otros cuatro se aplican en todas las demás etapas del Cs-tP, ofreciendo lineamientos prácticos para la toma de decisiones durante la comprensión de la problemática, así como durante la configuración del producto.

Dirigirse hacia lo sostenible o no sostenible, lo ecoeficiente o lo ecoefectivo, entre otros, se sustentan finalmente en determinados valores y muchas veces, esto pasa simplemente como un *a priori* que no se involucra conscientemente en el supuesto ‘determinismo objetivo’ de la tecnología. Desde la axiología, el modelo simétrico socio-tecnológico propuesto en esta tesis evita deslindar la dinámica de generación tecnológica de las dinámicas socioculturales, y adicionalmente, hace explícitos y no apriorísticos los valores sobre los que se parte y se toman decisiones en el DDP.

9.7 Sobre el caso de estudio – corte de rosas

El modelo de Cs-tP fue la guía para el desarrollo de alternativas de herramientas frente a la problemática sobre el corte intensivo de rosas en invernadero, trabajando el concepto de calidad ya no como algo centrado solo en el producto, sino como la capacidad de tomar decisiones consensuadas con una orientación tanto hacia la responsabilidad social frente a la salud de las cortadoras de rosas y el bienestar de sus familias, como hacia la responsabilidad ambiental, dirigida a no invertir o desarrollar tecnologías que demanden usos de energía externos o consumos de insumos que deriven en ciclos que afecten los sistemas biotrópicos.

Para el DDP se logró la activa participación de diversas personas con sus diversos intereses, lo que implicó un reto para la obtención de consensos en cuanto a valores y orientaciones. Desde las partes interesadas que están dentro del grupo de empresas floricultoras, hay una gran presión en el grupo directivo que se ocupa de la salud laboral por resolver la problemática de salud y seguridad laboral, directamente relacionada con las cortadoras de flor, debido a los costos sociales relacionados con la calidad de vida en el trabajo. Dicha presión hace buscar soluciones inmediatas sin implicaciones de I+D y desarrollo tecnológico, pues adicionalmente al interior de las empresas se han identificado los costos económicos que implican tanto la rotación de personal por la preparación, habilidades y conocimiento implícito, así como las coberturas de los seguros laborales aumentan proporcionalmente a la enfermedad laboral.

Existe una gran expectativa sobre todo de las cortadoras que han participado en el DDP, pues los procesos participativos abrieron la posibilidad de tomar decisiones cooperadas, respecto a los procesos y los productos asociados al corte, lo que a su vez, generó mayores posibilidades de apropiación e incorporación de las nuevas tecnologías en desarrollo, por el reconocimiento de su utilidad frente a la

reducción del impacto negativo en su salud, reduciendo la resistencia natural frente al cambio tecnológico.

El abordaje simétrico a partir del propósito estratégico de la sostenibilidad social y ambiental, permitió valorar la problemática de salud pública, usando la energía humana de forma saludable, sin descuidar la orientación hacia el uso de energía que se genera actualmente en la actividad por los diferentes actores-red, para finalmente evitar costos derivados de impactos ambientales adicionales.

Una de las dificultades destacadas fue ‘enactuar’ con la biomímesis, es decir, asumirla como una filosofía de vida, con una mirada prospectiva, abierta e integral hacia la sostenibilidad. Más que asumir la biomímesis como un método, se requieren estrategias para ir más allá de la bioinspiración y asumir la bioimitación de la naturaleza y sus sistemas naturales en términos de sostenibilidad, por ejemplo, dirigiendo investigaciones interdisciplinarias para aumentar la disponibilidad de desarrollos tecnológicos en biomateriales biodegradables o por lo menos, la participación de expertos en desarrollos de materiales y componentes que contemplen el metabolismo técnico o biológico.

La asociación de empresarios floricultores (Asocolflores), su centro de desarrollo tecnológico (Ceniflores) y en general las empresas del sector floricultor colombiano, han centrado su I+D en el desarrollo de variedades de flor, pero aún no reconocen el valor de desarrollar tecnologías apropiadas relacionadas con el proceso de corte de rosas. Por lo anterior, no se identifica la experiencia acumulada en el proceso de corte, tanto de la empresa como de sus trabajadores, como motor de gestión del conocimiento socio-tecnológico, para resolver los particulares problemas asociados al corte de rosas, pues se ha identificado que no existen tecnologías comerciales que respondan a las necesidades del corte intensivo de flores (rosas).

Con los resultados obtenidos hasta el momento, se tiene decidido la presentación de dos patentes diferentes, con lo cual, se abre una oportunidad para que el sector floricultor colombiano reconozca la importancia del desarrollo tecnológico particular, cambiando la perspectiva de dependencia tecnológica, por una de empoderamiento centrado en la gestión de las capacidades de desarrollo autónomo, que responda a las particularidades sociales, ambientales, tecnológicas, políticas y económicas del entorno.

9.8 Hacia futuros desarrollos

Se plantea hacer difusión de resultados a partir de la publicación de artículos, de las siguientes partes del trabajo:

1. Revisión sistemática de los modelos, para exponer controversias, limitaciones y retos de los CVP, **concluyendo** con convergencias conceptuales que apoyen el proceso de maduración teórica.
2. Deducción de las tendencias en factores ambientales, a partir del estudio Delphi y la revisión sistemática de la literatura, que ya cuenta con una publicación.

3. Publicación de la “Guía para diseñadores y desarrolladores de producto sobre métodos y tendencias en factores ambientales”.
4. Construcción de una guía de estrategias para asumir el abordaje simétrico, tanto conceptual como metodológicamente.
5. El modelo de Cs-tP validado en otros escenarios de aplicación.
6. Desarrollo de un modelo de sostenibilidad ya no con énfasis en la perspectiva económica, sino en las cinco dimensiones propuestas por la ergoecología y acogidas en la ergonomía verde.
7. Desarrollo de la iniciativa EQUID y construcción de la guía para DDP desde dicha iniciativa.
8. Aportes realizados a la metodología biomimética, a partir de la aplicación del caso de estudio, que desarrolló nuevas alternativas de herramientas de corte intensivo de tallos de rosa.

Se deben construir indicadores, ya no para medir impactos como lo hace la metodología LCA, sino para buscar que en la toma de decisiones se direccionen a no producirlos, analizando el equilibrio dinámico entre los sistemas bióticos o naturales y los sistemas antrópicos o socio-tecnológicos.

Es importante insistir en la importancia de los valores asociados tanto por el respeto por la Tierra, como por el respeto por los seres humanos, de manera que se parta de su comprensión, incorporación y acción (enacción) y se haga una gestión holística de los ciclos antrópicos y biotrópicos.

Se pueden desarrollar investigaciones orientadas a ver las dinámicas del uso de energías desde un enfoque ecoefectivo y no desde donde hasta ahora se ha realizado, es decir, desde una perspectiva ecoeficiente. Desde este enfoque es importante desarrollar guías y estrategias que se orienten al DDP hacia la ecoefectividad.

Se deben iniciar investigaciones sobre el concepto de información como parte de la gestión del conocimiento, aplicada directamente al modelo de Cs-tP, para asegurar que en todas las fases del ciclo se conozca el estado de desempeño de los productos e incluso, permita que las cualidades de aplicabilidad, disponibilidad y adaptabilidad contribuyan a la ‘sostenibilidad tecnológica’.

A partir del reconocimiento de los límites de las materias primas y las energías no renovables, se debe valorar la ‘sostenibilidad tecnológica’, desarrollando una axiomática respecto del concepto de ecoproductividad para actuar en la prolongación de los ciclos de provecho de los productos.

Es importante realizar una validación del modelo de Cs-tP en otros escenarios tanto de proyectos empresariales como de proyectos en comunidades productivas, haciendo énfasis en la gestión del conocimiento, el uso de energías renovables y materias primas vernáculas o biomiméticas, todo lo anterior desde el enfoque de la ecoefectividad.

Además, es necesario reconocer los conceptos de ecoeficiencia, ecoefectividad, socioeficiencia y socioefectividad a lo largo del Cs-tP, desde cuatro perspectivas, a) en la literatura; b) en los productos comercializados; c) en los registros de patentes y d) en las tecnologías existentes en determinado sector.

A nivel global se ha desarrollado lentamente y ante la evidencia irrefutable de fenómenos como el ‘calentamiento global’ o las ‘crisis económicas’, una nueva consciencia colectiva sobre la responsabilidad y el impacto del accionar humano (responsabilidad social), tanto en el estado actual y futuro del planeta, como en la supervivencia de las especies que en él habitamos (responsabilidad ambiental).

Numerosas son las iniciativas que toda suerte de agremiaciones y colectividades lideran. Se señala una en particular para poner en contexto la pertinencia de la ergoecología: la ‘International Ergonomics Association–IEA’, máxima autoridad a nivel mundial en el campo de la ergonomía y los factores humanos, conformó en el año 2008 el ‘Human Factors and Sustainable Development Technical Committee’ para fortalecer las relaciones entre los factores humanos / ergonomía y la sostenibilidad. Se percibe aquí la oportunidad de crecimiento e impulso que puede tener la ergoecología al integrarse a iniciativas como esta y la articulación del modelo de Cs-tP que permita un DDP orientados tanto a la responsabilidad social, como a la responsabilidad ambiental.

Aunado a lo anterior, la ‘International Ergonomics Association–IEA’ también está interesada en apoyar la noción de calidad de la ergonomía, no solo reflejada en el buen funcionamiento en los productos, sino en la calidad de la EFH, entendida a todo lo largo del Cs-tP y a partir de la convergencia y participación de diversas personas como partes interesadas, como lo contempla la iniciativa denominada EQUID ‘Ergonomics Quality In Design. Esta es también una oportunidad para aplicar el modelo Cs-tP propuesto en esta tesis, llevándolo a escenarios de difusión y públicos objetivo más amplios.

10. REFERENCIAS

Del capítulo 1. Introducción

- Bijker, W. E. (2006). Why and how technology matters. *Oxford handbook of contextual political analysis*, 681-706.
- Domènech, M., & Tirado, F. J. (1998). *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad. Claves para la lectura de textos simétricos*. Barcelona: Gedisa.
- IEA, I. E. A. (2000). What is Ergonomics—Definition and Domains of Ergonomics.
- Jastrzębowski, W. (1857). An outline of ergonomics, or the science of work. *Central Institute of Labour Protection, Warsaw*.

Del capítulo 3. Revisión sistemática de los modelos de ciclo de vida de producto

- Abernathy, W. J., & Utterback, J. M. (1978). Patterns of innovation in technology. *Technology Review*, 80(7), 40-47.
- Alting, L., & Legarth, J. B. (1995). Life cycle engineering and design. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 44(2), 569-580.
- Ameri, F., & Dutta, D. (2005). Product lifecycle management: closing the knowledge loops. *Computer-Aided Design and Applications*, 2(5), 577-590.
- Asimov, M. (1962). *Introducción To Design*. Englewood Cliffs, NJ. EUA: Prentice Hall Inc.
- Auty, R. M. (1984). The product life-cycle and the location of the global petrochemical industry after the second oil shock. *Economic Geography*, 60(4), 325-338.
- Ayres, R. U. (1995). Life cycle analysis: a critique. *Resources, Conservation and Recycling*, 14(3), 199-223.
- Ayres, R. U., & Martinas, K. (1992). Experience and the life cycle: some analytic implications. *Technovation*, 12(7), 465-486.
- Besbes, K., Allaoui, H., Goncalves, G., & Loukil, T. (2013). *A Green Supply Chain Design with Product Life Cycle Considerations*. Paper presented at the Supply Chain Forum: an International Journal.
- Bonner, J. T. (1993). *Life cycles: reflections of an evolutionary biologist*: Princeton University Press.
- Boothroyd, G., & Alting, L. (1992). Design for assembly and disassembly. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 41(2), 625-636.
- Buzzell, R. D. (1966). Competitive behavior and product life cycles. *New ideas for successful marketing*, 46-68.

- Calderón, S. (2014). *Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano y ambiental (ergoecología)*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
- Cooke, E. F., & Edmondson, B. C. (1973). Computer aided product life cycle forecasts for new product investment decisions. In T. Greer (Ed.), *Increasing Marketing Productivity and Conceptual and Methodological Foundations of Marketing*. Chicago: American Marketing Association.
- Cox, W. E. (1967). Product life cycles as marketing models. *Journal of Business*, 375-384.
- Curran, M. A. (2000). Life cycle assessment: an international experience. *Environmental Progress*, 19(2), 65-71.
- Danciu, V. (2013). The sustainable company: new challenges and strategies for more sustainability. *Theoretical and Applied Economics*, 18(9 (586)), 7-26.
- de Kluyver, C. A. (1977). Innovation and Industrial Product Life Cycles. *California Management Review*, 20(1).
- Dean, J. (1950). *Pricing policies for new products*: Harvard University Press.
- Dhalla, N. K., & Yuspeh, S. (1976). Forget the product life cycle concept. *Harvard Business Review*, 54(1), 102-112.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), 147-162.
- Dowling, G. R., & Cooper, J. A. (1989). Simulating the life cycles of products and services. *Behavioral Science*, 34(4), 291-304.
- Enis, B. M., La Garce, R., & Prell, A. E. (1977). Extending the product life cycle. *Business Horizons*, 20(3), 46-56.
- Field, G. A. (1971). Do products really have life cycles? *California Management Review*, 14(1).
- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering design. Part I: Descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51-67.
- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989 part II). A review of research in mechanical engineering design. Part II: Representations, analysis, and design for the life cycle. *Research in Engineering Design*, 1(2), 121-137.
- García-Acosta, G., Lange-Morales, K., Puentes-Lagos, D., & Ruiz-Ortiz, M. (2011). Addressing human factors and ergonomics in design process, product life cycle, and innovation: trends in consumer product design. In W. Karwowski, M. M. Soares, & N. A. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques* (pp. 133-154). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Greiner, A., & Hanusch, H. (1993). *Cyclic Product Innovations Or: a Simple Model of the Product Life Cycle*: Inst. für Volkswirtschaftlehre, Univ. Augsburg.
- Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, 57(1), 133-140.

- Heuss, E. (1965). *Allgemeine Markttheorie*: Mohr Tübingen.
- Hirao, M., & Fukushima, Y. (1999). Evaluation of environmental impacts of product lifecycle for process design. *Computers & Chemical Engineering*, 23, S823-S826.
- Ishii, K. (1998). Modularity: A key concept in product life-cycle engineering. Handbook of Life-cycle Enterprise Engineering. A. Molina and A. Kusiak: Kluwer Publisher.
- Jun, H.-B., Kiritsis, D., & Xirouchakis, P. (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry*, 58(8), 855-868.
- Keys, L. K. (1990). System life cycle engineering and DFX'. *Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on*, 13(1), 83-93.
- Kiritsis, D., Bufardi, A., & Xirouchakis, P. (2003). Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Informatics*, 17(3), 189-202.
- Kotler, P. (1988). *Marketing Management, Analysis, Planning, Implementation, and Control*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Krasowski, H. (2002). Life cycle engineering *Environmental management accounting: Informational and institutional developments* (pp. 153-157): Springer.
- Krumenauer, F., Matayoshi, C., da Silva, I., & Batalha, G. (2008). Concurrent engineering and DFMA approaches on the development of automotive panels and doors. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 31(2), 690-698.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., & Bruder, R. (2014). The EQUID approach: improving ergonomics quality in product life cycle. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM XI - NES 46* (pp. 435-440). Copenhagen: IEA Press.
- Lee, D. E., & Melkanoff, M. A. (1993). Issues in product life cycle engineering analysis. *Advances in Design Automation*, 65, 1.
- Lee, J. J., O'Callaghan, P., & Allen, D. (1995). Critical review of life cycle analysis and assessment techniques and their application to commercial activities. *Resources, conservation and recycling*, 13(1), 37-56.
- Levitt, T. (1965). Exploit the product life cycle. *Harvard Business Review*, 18, 81-94.
- Lundquist, L., Leterrier, Y., Sunderland, P., & Månson, J.-A. E. (2001). *Life Cycle Engineering of Plastics: Technology, Economy and Environment: Technology, Economy and Environment*: Elsevier.
- Marchetta, M. G., Mayer, F., & Forradellas, R. Q. (2011). A reference framework following a proactive approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*, 62(7), 672-683.
- Maropoulos, P. G., & Ceglarek, D. (2010). Design verification and validation in product lifecycle. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59(2), 740-759.
- McCracken, D. D., & Jackson, M. A. (1982). Life cycle concept considered harmful. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*(7), 29-32.

- Michael, G. C. (1971). Product petrification: A new stage in the life cycle theory. *California Management Review (pre-1986)*, 14(000001), 88.
- Michelle Grantham, L. (1997). The validity of the product life cycle in the high-tech industry. *Marketing Intelligence & Planning*, 15(1), 4-10.
- Orbach, Y., & Fruchter, G. E. (2014). Predicting product life cycle patterns. *Marketing Letters*, 25(1), 37-52.
- Patton, A. (1959). Stretch Your Product's Earning Years: Top Management's Stake in the Product Life Cycle. *Management Review*, 48(6), 9-14.
- Pennington, D. W., Norris, G., Hoagland, T., & Bare, J. C. (2000). Environmental comparison metrics for life cycle impact assessment and process design. *Environmental Progress*, 19(2), 83-91.
- Pineno, C. J. (2012). Simulation of the Weighting of Balanced Scorecard Metrics: Including Sustainability and Time-Driven ABC Based on the Product Life Cycle. *Management Accounting Quarterly*, 13(2), 21.
- Polli, R., & Cook, V. (1969). Validity of the product life cycle. *Journal of Business*, 385-400.
- Polli, R., & Cook, V. J. (1967). A test of the product life cycle as a model of sales behavior. *Market Science Institute, Working Paper*, 43.
- Pugh, S. (1991). *Total design: integrated methods for successful product engineering*: Addison-Wesley.
- Pyburn, P. J., & Curley, K. F. (1984). The evolution of intellectual technologies: Applying product life-cycle models to MIS implementation. *Information & Management*, 7(6), 305-310.
- Rae, R. A. E. (2001). Diccionario de la lengua española. *Vigésima segunda Edición*. Disponible en línea en <http://www.rae.es/rae.html>.
- Rink, D. R., & Swan, J. E. (1979). Product life cycle research: A literature review. *Journal of Business Research*, 7(3), 219-242.
- Segerstrom, P. S., Anant, T. C., & Dinopoulos, E. (1990). A Schumpeterian model of the product life cycle. *The American Economic Review*, 1077-1091.
- Shin, J.-H., Jun, H.-B., Kiritsis, D., & Xirouchakis, P. (2011). A decision support method for product conceptual design considering product lifecycle factors and resource constraints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(9-12), 865-886.
- Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research policy*, 24(3), 419-440.
- Vernon, R. (1966). International investment and international trade in the product cycle. *The quarterly journal of economics*, 190-207.
- Vernon, R. (1979). The product cycle hypothesis in a new international environment. *Oxford bulletin of economics and statistics*, 41(4), 255-267.
- Wells Jr, L. T. (1968). A product life cycle for international trade? *The Journal of Marketing*, 1-6.
- Wells, L. (1972). International trade: The product life cycle approach. *The Product Life Cycle and International Trade*, Boston, Harvard University, Graduate School of Business Administration, Division of Research.

- Wells, W. D., & Gubar, G. (1966). Life cycle concept in marketing research. *Journal of Marketing Research*, 355-363.
- Werker, C. (2003). Innovation, market performance, and competition: lessons from a product life cycle model. *Technovation*, 23(4), 281-290.
- Westkämper, E., Alting, L., & Arndt, G. (2001). Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 215(5), 599-626.
- Winter, S. G. (1984). Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 5(3), 287-320.
- Wong, H.-K., & Ellis, P. D. (2007). Is market orientation affected by the product life cycle? *Journal of World Business*, 42(2), 145-156.
- Wood, L. (1990). The end of the product life cycle? Education says goodbye to an old friend. *Journal of Marketing Management*, 6(2), 145-155.
- Yan, P., Zhou, M., & Sebastian, D. (1999). An integrated product and process development methodology: Concept formulation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(3), 201-210.
- Zheng, L., McMahon, C. A., Li, L., Ding, L., & Jamshidi, J. (2008). Key characteristics management in product lifecycle management: a survey of methodologies and practices. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(8), 989-1008.

Del capítulo 4. Abordaje simétrico

- Abukhader, S. M. (2008). Eco-efficiency in the era of electronic commerce—should ‘Eco-Effectiveness’ approach be adopted? *Journal of Cleaner Production*, 16(7), 801-808.
- Arellano, A., Ocampo, J., & Arellano, A. (2003). La sociología de las ciencias y de las técnicas de Bruno Latour y Michel Callon. *J. Ocampo, E. Patlán y A. Arellano (Comps.): Un debate abierto. Escuelas y corrientes sobre la tecnología, México, Universidad Autónoma de Chapingo*, 87-103.
- Clegg, C. W. (2000). Sociotechnical principles for system design. *Applied ergonomics*, 31(5), 463-477.
- Cherns, A. (1976). The Principles of Sociotechnical Design1. *Human relations*, 29(8), 783-792.
- Dhadphale, T. (2013). *Cultural Sustainability by Design: A Case of Food Systems in India*. Arizona State University.
- Domènech, M., & Tirado, F. J. (1998). *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad. Claves para la lectura de textos simétricos*. Barcelona: Gedisa.
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., . . . van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377-395.
- Hendrick, H. W. (2002). An overview of macroergonomics. In H. W. Hendrick & B. Kleiner (Eds.), *Macroergonomics: theory, methods, and applications* (pp. 1-23). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Hendrick, H. W. (2008). Applying ergonomics to systems: some documented “lessons learned”. *Applied ergonomics*, 39(4), 418-426.
- Hughes, T. P. (1983). *Networks of Power: Electric supply systems in the US, England and Germany, 1880-1930*: Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Karwowski, W. (2000 (2010)). Symvatology: The science. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1(1), 79-91.
- Lange-Morales, K., Thatcher, A., & García-Acosta, G. (2014a). Synergies between ergoecology and green ergonomics: a contribution towards a sustainability agenda for HFE. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM IX - NES 46* (pp. 771-776). Copenhagen: IEA.
- Lange-Morales, K., Thatcher, A., & García-Acosta, G. (2014b). Towards a sustainable world through human factors and ergonomics: it is all about values. *Ergonomics*, 57(11), 1603-1615.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social-an introduction to actor-network-theory* (Vol. 1): Oxford University Press.
- Lee, J. J., O’Callaghan, P., & Allen, D. (1995). Critical review of life cycle analysis and assessment techniques and their application to commercial activities. *Resources, conservation and recycling*, 13(1), 37-56.
- Legarth, J. B., Alting, L., Danzer, B., Tartler, D., Brodersen, K., Scheller, H., & Feldmann, K. (1995). A new strategy in the recycling of printed circuit boards. *Circuit World*, 21(3), 10-15.
- Marquez, M. T. (1998). La construcción de la tecnología. *Revista FAMECOS*, 1(9).
- Martínez-Alier, J., Pascual, U., Vivien, F.-D., & Zaccai, E. (2010). Sustainable de-growth: Mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm. *Ecological Economics*, 69(9), 1741-1747.
- McCracken, D. D., & Jackson, M. A. (1982). Life cycle concept considered harmful. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*(7), 29-32.
- Pantzar, M. (1997). Domestication of everyday life technology: dynamic views on the social histories of artifacts. *Design Issues*, 52-65.
- Qureshi, Z. Z. A. (2014). *Complex Industrial Sociotechnical Systems Dynamics Modeling and Ramp-up*. (Doctor of Philosophy), University of Windsor.
- Riba Romeva, C. (2011). *Recursos energètics i crisi: la fi de 200 anys irrepitibles*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sánchez-Criado, T. (2005). *La teoría del actor-red*. Paper presented at the Seminario de Estudios sobre Mediación en Arte y Ciencia (SEMAC), Facultad de Psicología
- Saravia-Pinilla, M. H. (2006). *Ergonomía de Concepción: su aplicación al diseño y otras disciplinas proyectuales*. Bogotá D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Thatcher, A., Garcia-Acosta, G., & Lange-Morales, K. (2013). Design principles for green ergonomics. In M. Anderson (Ed.), *Contemporary Ergonomics and Human Factors* (pp. 319-326).
- Valderrama, A. (2004). Teoría y crítica de la construcción social de la tecnología. *Revista colombiana de Sociología*(23), 217-233.

Vidal, M. C. R. (2010). *Principios para un abordaje macroergonómico: útil, práctico y aplicado*: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Enfermería.

Del capítulo 5. Tendencias y métodos

Calderón, S. (2014). *Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano y ambiental (ergoecología)*. Universidad Nacional de Colombia.

Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business strategy and the environment*, 11(2), 130-141.

García Acosta, G. (2009). *Enfoques de documentos (casos, métodos, técnicas y conceptos) relacionados con el diseño para seres humanos / usuarios / clientes / consumidores / colaboradores*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Puentes Lagos, D. E., García Acosta, G., & Lange Morales, K. (2013). Tendencias en diseño y desarrollo de productos desde el factor humano: una aproximación a la responsabilidad social. *Iconofacto*, 9(12), 71-97.

Restrepo, G. (2008). The Promise of Telemaco: Archaeology of the Subject. *universitas humanística*(65), 49-72.

Del capítulo 6. Caracterización de los ciclos socio-tecnológicos de producto

Alting, L. (1993). Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. In A. Kusiak (Ed.), *Concurrent engineering: automation, tools, and techniques* (pp. 1-17). New York: Wiley.

Álvarez, S., Lomas, P., Martín, B., Rodríguez, M., & Montes, C. (2006). *La síntesis emergética (“emergy synthesis”)*. Madrid: Laboratorio de Socio-ecosistemas. Departamento Interuniversitario de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid.

Ávila, S. (2015). Reliability analysis for socio-technical system, case propene pumping. *Engineering Failure Analysis*, 56(October), 177-184.

Ayres, R. U. (1998). Industrial metabolism: work in progress. In J. Van-den-Bergh & M. Hofkes (Eds.), *Theory and Implementation of Economic Models for Sustainable Development* (Vol. 15, pp. 195-228): Springer Science and Business Media, B.V.

Ayres, R. U. (2004). On the life cycle metaphor: where ecology and economics diverge. *Ecological Economics*, 48(4), 425-438.

Bakshi, B. R. (2000). A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2), 1767-1773.

Barlow, R. E., & Proschan, F. (1977). Techniques for Analyzing Multivariate Failure Data. In C. P. T. N. Shimi (Ed.), *The Theory and Applications of Reliability with Emphasis on Bayesian and Nonparametric Methods* (pp. 373-396): Academic Press.

Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2013). Absolute versus relative environmental sustainability. *Journal of Industrial Ecology*, 17(2), 321-332.

- Boada Ortíz, A., & Mont, O. (2005). *Desmaterialización Sistema producto-servicio, una estrategia diferente de negocios*. (U. E. d. Colombia Ed.). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Bras, B., & McIntosh, M. W. (1999). Product, process, and organizational design for remanufacture—an overview of research. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(3), 167-178.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13), 1337-1348.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13-14), 1337-1348.
- Brenan, R. A. (1976). Implementation of the Anik satellite Product Assurance requirements by. *Microelectronics Reliability*, 15, Supplement, 93-107. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714\(76\)90623-5](http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714(76)90623-5)
- Brown, M. B. (2001). The civic shaping of technology: California's electric vehicle program. *Science, Technology & Human Values*, 26(1), 56-81.
- Buche, J., & Cohen, I. (1987). Translating supportability requirements into design reality. *Journal of Aircraft*, 24(8), 490-494.
- Bust, P. D. (2011). *Changing occupational health and safety practices in the manual handling of highway kerbs: cultural impediments and obstacles to innovation*. © Philip D. Bust.
- Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
- Caravanos, J., Clark, E., Fuller, R., & Lambertson, C. (2011). Assessing worker and environmental chemical exposure risks at an e-waste recycling and disposal site in Accra, Ghana. *Journal of health and pollution*, 1(1), 16-25.
- Chandrasegaran, S. K., Ramani, K., Sriram, R. D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R. F., & Gao, W. (2013). The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, 45(2), 204-228.
- Chuang, L., & Jun-biao, W. (2009). Systematic modeling method for manufacturing knowledge of process domain [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 8, 007.
- Chung, W.-H., Kremer, G. E. O., & Wysk, R. A. (2014). Life cycle implications of product modular architectures in closed-loop supply chains. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 2013-2028.
- Dat, L. Q., Linh, D. T. T., Chou, S.-Y., & Vincent, F. Y. (2012). Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, 39(7), 6380-6387.
- Debref, R. (2012). The paradoxes of environmental innovations: The case of green chemistry. *Journal of Innovation Economics & Management*, 9(1), 83-102.
- Dewulf, J. P., & Van Langenhove, H. R. (2002). Quantitative assessment of solid waste treatment systems in the industrial ecology perspective by exergy analysis. *Environmental Science & Technology*, 36(5), 1130-1135.

- Dwek, M., & Zwolinski, P. (2015). How can we predict the evolution of recycling chains? *Matériaux & Techniques*, 103(1), 102.
- Eger, A. O., & Drukker, J. (2010). Phases of product development: a qualitative complement to the product life cycle. *Design Issues*, 26(2), 47-58.
- El-Diraby, T. E. (2006). Web-services environment for collaborative management of product life-cycle costs. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(3), 300-313.
- Elliott, J. F. (1959). Design consideration for a high reliability photovoltaic solar energy converter. *Solar Energy*, 3(2), 34-35. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(59\)90087-8](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(59)90087-8)
- Engel, A., & Browning, T. R. (2008). Designing systems for adaptability by means of architecture options. *Systems Engineering*, 11(2), 125-146.
- Española, R. A. (Ed.) (2007) Barcelona: Larousse Planeta SA.
- Eti, M., Ogaji, S., & Probert, S. (2007). Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station. *Applied Energy*, 84(2), 202-221.
- Farmer, F. R., & Beattie, J. R. (1976). Nuclear Power Reactors and the Evaluation of Population Hazards. In E. J. H. J. Lewins (Ed.), *Advances in Nuclear Science and Technology* (pp. 1-72): Academic Press.
- Fedrizzi, M. C., Ribeiro, F. S., & Zilles, R. (2009). Lessons from field experiences with photovoltaic pumping systems in traditional communities. *Energy for Sustainable Development*, 13(1), 64-70. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2009.02.002>
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., . . . Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21.
- Fischer, G. (2004). *Social creativity: turning barriers into opportunities for collaborative design*. Paper presented at the Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices-Volume 1.
- Fitzgerald, J., Larsen, P. G., & Verhoef, M. (2014). *Collaborative Design for Embedded Systems*: Springer.
- García-Acosta, G. (2002). *La ergonomía desde la visión sistémica* (Vol. 1). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- García-Acosta, G., & Flórez García, L. (2009). *Ingeniería concurrente. Diseño para el entorno en función de la disponibilidad*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- García-Acosta, G., Pinilla, M. H. S., Larrahondo, P. A. R., & Morales, K. L. (2014). Ergoecology: fundamentals of a new multidisciplinary field. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 15(2), 111-133.
- Gay, G., & Lentini, M. (1995). Use of communication resources in a networked collaborative design environment. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1(1), 0-0.
- Gnedenko, B. V., Belyayev, Y. K., & Solovyev, A. D. (2014). *Mathematical methods of reliability theory*: Academic Press.

- Goffin, K. (2000). Design for supportability: essential component of new product development. *Research-Technology Management*, 43(2), 40-47.
- Goldstein, S., Owen, D., & Richter, K. J. (1989). Product Supportability Issues in the Early Design Phases: DTIC Document.
- Greisel, M., Kissel, M., Spinola, B., & Kreimeyer, M. (2013). *Design for adaptability in multi-variant product families*. Paper presented at the DS 75-4: Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Design for Harmonies, Vol. 4: Product, Service and Systems Design, Seoul, Korea, 19-22.08. 2013.
- Guedes Soares, C. (2002). Recent advances in reliability theory: methodology, practice and inference: Limnios, N., Nikulin, M. (Eds.), Birkhäuser Verlag AG, 2000, 514 pages. *Reliability Engineering & System Safety*, 76(1), 105-106. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00144-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00144-2)
- Guinée, J. B., Heijungs, R., de Haes, H. A. U., & Huppes, G. (1993). Quantitative life cycle assessment of products: 2. Classification, valuation and improvement analysis. *Journal of Cleaner Production*, 1(2), 81-91.
- Hall, K. D. (2006). Computational model of in vivo human energy metabolism during semistarvation and refeeding. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 291(1), E23-E37.
- Hao, J. P., Yu, Y. L., & Xue, Q. (2002). A maintainability analysis visualization system and its development under the AutoCAD environment. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1-3), 277-282. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00665-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00665-9)
- Hauschild, M., Jeswiet, J., & Alting, L. (2005). From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54(2), 1-21.
- Horne, R., Grant, T., & Verghese, K. (2009). *Life cycle assessment: Principles, practice, and prospects*: Csiro Publishing.
- Houssin, R., & Coulibaly, A. (2011). An approach to solve contradiction problems for the safety integration in innovative design process. *Computers in Industry*, 62(4), 398-406.
- Hubka, V., & Eder, W. E. (1988). *Theory of technical system: a total concept theory for engineering design*. Alemania: Springer.
- Ishii, K., Eubanks, C. F., & Di Marco, P. (1994). Design for product retirement and material life-cycle. *Materials & Design*, 15(4), 225-233.
- Ismaila, S., & Samuel, T. (2014). Human-centered engineering: the challenges of Nigerian engineer. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 12(2), 195-208.
- Jianjun, Y., Baiyang, J., Yifeng, G., Jinxiang, D., & Chenggang, L. (2008). Research on evaluation methodologies of product life cycle engineering design (LCED) and development of its tools. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(8), 923-942.
- Jones, M., & Mielec, R. (1978). *Logistics supportability testing*. Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, Calif.
- Joshi, S. (2000). Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques. *Journal of Industrial Ecology*, 3(2-3), 95-120.
- Jowett, C. (1976). Reliability in the electronics manufacturing phase. *Microelectronics Reliability*, 15(6), 595-600. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714\(76\)90277-8](http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714(76)90277-8)

- Kai-Yuan, C. (1991). Fuzzy reliability theories. *Fuzzy Sets and Systems*, 40(3), 510-511. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114\(91\)90177-R](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114(91)90177-R)
- Karaağaç, C., Pakfiliz, A. G., Quagliotti, F., & Alemdaroglu, N. (2014). UAV Logistics for Life-Cycle Management *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* (pp. 2601-2635): Springer.
- Kasarda, M. E., Terpenney, J. P., Inman, D., Precoda, K. R., Jelesko, J., Sahin, A., & Park, J. (2007). Design for adaptability (DFAD)—a new concept for achieving sustainable design. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(6), 727-734.
- Keoleian, G. A., Menerey, D., & Curran, M. (1993) Life Cycle Design: Guidance Manual.
- Khadilkar, P., Lokras, S., Somashekar, H., Venkatarama Reddy, B., & Mani, M. (2015). *Using the Capability Approach to Detect Design Opportunities*. Paper presented at the Design for Sustainable Well-being and Empowerment, IISc Press and TU Delft.
- Kiritsis, D., Bufardi, A., & Xirouchakis, P. (2003). Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Informatics*, 17(3–4), 189-202. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2004.09.005>
- Kissel, M., Schrieverho, P., & Lindemann, U. (2012). *Design for Adaptability Identifying Potential for Improvement on an Architecture Basis*. Paper presented at the DS 71: Proceedings of NordDesign 2012, the 9th NordDesign conference, Aalborg University, Denmark. 22-24.08. 2012.
- Kobayashi, H. (2005). Strategic evolution of eco-products: a product life cycle planning methodology. *Research in Engineering Design*, 16(1-2), 1-16.
- Kriwet, A., Zussman, E., & Seliger, G. (1995). Systematic integration of design-for-recycling into product design. *International Journal of Production Economics*, 38(1), 15-22.
- Kusiak, A., & Park, K. (1990). Concurrent engineering: decomposition and scheduling of design activities. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 28(10), 1883-1900.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., & Bruder, R. (2014). The EQUID approach: improving ergonomics quality in product life cycle. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM XI - NES 46* (pp. 435-440). Copenhagen: IEA Press.
- Lappin, M. K. (1988). *Supportability evaluation prediction process*. Paper presented at the Reliability and Maintainability Symposium, 1988. Proceedings., Annual.
- Larousse, V. y. (Ed.) (2013) Larousse Diccionario Enciclopédico 2009.
- Lee, J. Y., Choi, S. S., Kim, G. Y., & Noh, S. D. (2011). Ubiquitous product life cycle management (u-PLM): a real-time and integrated engineering environment using ubiquitous technology in product life cycle management (PLM). *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(7), 627-649.
- Lee, S., & Xu, X. (2005). Design for the environment: life cycle assessment and sustainable packaging issues. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 5(1), 14-41.
- Leonard, W. R. (2003). Measuring human energy expenditure: what have we learned from the flex-heart rate method? *American Journal of Human Biology*, 15(4), 479-489.

- Mauerhofer, V. (2008). 3-D Sustainability: An approach for priority setting in situation of conflicting interests towards a Sustainable Development. *Ecological Economics*, 64(3), 496-506. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.011>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2001). The next industrial revolution *Sustainable solutions: Developing products and services for the future* (Vol. 139, pp. 139-150): Greenleaf Publishing in association with GSE Research.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. China: MacMillan.
- Morgan, C. (1978). *Planning for complete supportability (weapon systems life cycle cost)*. Paper presented at the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, Calif.
- Moser, A. (1995). Principia Ecologica: Eco-principles as a conceptual framework for a new ethics in science and technology. *Science and Engineering Ethics*, 1(3), 241-260.
- Mosquin, T., & Rowe, S. (2004). A manifesto for Earth. *Biodiversity*, 5(1), 3-9.
- Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization science*, 5(1), 14-37.
- Nonaka, I., & Von Krogh, G. (2009). Perspective-tacit knowledge and knowledge conversion: Controversy and advancement in organizational knowledge creation theory. *Organization science*, 20(3), 635-652.
- Nwuba, E. (1981). *Human energy demand of selected agricultural hand tools*.
- Odum, H. T. (1973). Energy, ecology, and economics. *Royal Swedish Academy of Science. Ambio*, 220-227.
- Odum, H. T. (1986). Emergy in ecosystems. In P. Naredo (Ed.), *Ecosystem theory and application* (Vol. John Wiley and Sons, pp. 337-369). New York.
- Odum, H. T. (1996a). *Environmental Accounting: Emergy and environmental and decision making*. New York: John Wiley.
- Odum, H. T. (1996b). *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making*. New York: John Wiley and Sons.
- Owens, J. (1997). Life cycle assessment. *J. of Industrial Ecology*, 1(1), 37-49.
- Pecht, M. (1995). *Product reliability, maintainability, and supportability handbook* (M. Pecht Ed.). Boca Raton, London, New York, Washington: CRC Press LLC.
- Pentland, B. T. (1995). Information systems and organizational learning: the social epistemology of organizational knowledge systems. *Accounting, Management and Information Technologies*, 5(1), 1-21.
- Peruzzi, L., Salata, F., de Lieto Vollaro, A., & de Lieto Vollaro, R. (2014). The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings. *Energy and Buildings*, 68, Part A, 19-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.027>
- Peschel, A. (1987). *On project standards for Ada software quality specification*. Paper presented at the AIAA Computers in Aerospace Conference, 6 th, Wakefield, MA.

- Pineno, C. J. (2012). Simulation of the Weighting of Balanced Scorecard Metrics: Including Sustainability and Time-Driven ABC Based on the Product Life Cycle. *Management Accounting Quarterly*, 13(2), 21.
- Podgórski, D., Oleszek, B., Bojanowski, R., & Karwowski, W. (2007). Deliverable 5.1: A report on complementarities and gaps in OSH research programmes on new and emerging risk factors.
- Popa, V. N., & Popa, L. I. (2013). The role of ecoefficiency & ecoeffectiveness in electronics sustainability. *Global Journal on Advances Pure and Applied Sciences*, 1.
- Rae, R. A. E. (Ed.) (2001) Disponible en línea en <http://www.rae.es/rae.html>.
- Raffler, N., Ellegast, R., Kraus, T., & Ochsmann, E. (2015). Factors affecting the perception of whole-body vibration of occupational drivers: an analysis of posture and manual materials handling and musculoskeletal disorders. *Ergonomics*(ahead-of-print), 1-13.
- Rammert, W. (1997). New rules of sociological method: Rethinking technology studies. *British Journal of Sociology*, 171-191.
- Rant, Z. (1956). Exergie, ein neues Wort für ‘Technische Arbeitsfähigkeit’(Exergy, a new word for technical availability). *Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens A*, 22(1), 36-37.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., . . . Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
- Riba i Romeva, C. (2009). *L'èsser humà com a referència energètica*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Riba i Romeva, C. (2012). *Recursos energètics i crisi. La fi de 200 anys irrepetibles*. Barcelona: Octaedro.
- Riba i Romeva, C., Llorens, S., Coll, J., & Maury, H. (2006). Familia, portafolio y gama de productos. In C. Riba I Romeva & A. Molina Gutiérrez (Eds.), *Ingeniería concurrente. Una metodología integradora* (Vol. 175, pp. 37-47). Barcelona: Politeix - Universitat Politècnica de Catalunya.
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente* (Vol. 126). Barcelona: Edicions UPC.
- Röbzig, S., Didier, M., & Bruder, R. (2011). Ergonomics and Usability in an International Context. In W. Karwowski, M. M. Soares, & N. A. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Uses and Applications* (Vol. Uses and Applications). United States of America: CRC Press.
- Rodriguez, L., & Bogett, W. R. (1989). Societal considerations in scaling injury severity and effects. *Journal of Safety Research*, 20(2), 73-83.
- Rowe, E. G. (1958). On Some Aspects of Tube Reliability. In L. Marton (Ed.), *Advances in Electronics and Electron Physics* (Vol. Volume 10, pp. 185-238): Academic Press.
- Royston, M. (1978). *Eco-productivity: a positive approach to non-waste technology*. Paper presented at the Non-waste technology and production: proceedings of an international seminar organized by the senior advisers to ECE governments on environmental problems on the principles and creation of non-waste technology and production, Paris, 29 November-4 December 1976.
- Ryerson, C. M. (1962). *The reliability and quality control field from its inception to the present*. Paper presented at the Proceedings of the IRE.

- Scaravetti, D., Nadeau, J.-P., Pailhès, J., & Sebastian, P. (2005). Structuring of embodiment design problem based on the product lifecycle. *International Journal of Product Development*, 2(1-2), 47-70.
- Sciubba, E., Bastianoni, S., & Tiezzi, E. (2008). Exergy and extended exergy accounting of very large complex systems with an application to the province of Siena, Italy. *Journal of Environmental Management*, 86(2), 372-382.
- Schmidheiny, S. (1992). *Changing course: A global business perspective on development and the environment* (Vol. 1): MIT press.
- Srinivasan, V., Schrieverhoff, P., Saavedra, C. C., Gürtler, M., & Lindemann, U. (2015). Validation of Methodology and Tool for Design for Adaptability in Accomplishment of Project Objectives *ICoRD'15–Research into Design Across Boundaries* (Vol. 2, pp. 339-350): Springer.
- Stark, J. (2005). Making Progress with PLM. In J. Stark (Ed.), *A Manual to Support PLM Initiatives and PLM Projects*. John Stark Associates: <http://www.johnstark.com/prgrs.html>.
- Tan, A. R., Matzen, D., McAloone, T. C., & Evans, S. (2009). *Strategies for designing and developing services for manufacturing firms*. Paper presented at the Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference.
- Thoft-Christensen, P., & Baker, M. J. (1982). *Structural reliability theory and its applications*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag.
- Tortorella, M. (2015a). Design for Supportability. *Reliability, Maintainability, and Supportability: Best Practices for Systems Engineers*, 396-418.
- Tortorella, M. (2015b). *Reliability, Maintainability, and Supportability: Best Practices for Systems Engineers*: John Wiley & Sons.
- Valyi, R., & Ortega, E. (2004). *Emergy simulator, an open source simulation platform dedicated to systems ecology and emergy studies*. Paper presented at the Proceedings of the IV International Biennial Workshop Advances in Energy Studies. Brazil.
- van Beek, J. H., Supandi, F., Gavai, A. K., de Graaf, A. A., Binsl, T. W., & Hettling, H. (2011). Simulating the physiology of athletes during endurance sports events: modelling human energy conversion and metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1954), 4295-4315.
- Van der Voet, E., Huele, R., & Stevers, R. (2001). *Industrial ecology: the biosphere—technosphere analogy applied to evolutionary processes*. Paper presented at the The First World Conference of the International Society for Industrial Ecology Proceedings. Leiden, The Netherlands.
- Vezzoli, C., & Sciama, D. (2006). Life Cycle Design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. *Journal of Cleaner Production*, 14(15), 1319-1325.
- Ward, S. J. (2011). User research by Designers. In W. Karwowski, M. M. Soares, & N. A. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Uses and Applications* (Vol. Uses and Applications). United States of America: CRC Press.
- Wenwei, C. (2006). Research on mining the mutative knowledge with extension data mining. *ENGINEERING SCIENCE*, 8(11), 70-73.

- Westkämper, E., Alting, L., & Arndt, G. (2001). Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 215(5), 599-626.
- Wiktorsson, M. (2012). Drivers for life cycle perspectives in Product Realization. *Acta Technica Corviniensis–Bulleting of Engineering*, 5, 81-86.
- Wisner, A. (1992). De la ergonomía a la antropotecnología: la organización de la empresa y del trabajo en las transferencias de tecnología. *Sociología del trabajo*(17), 3-72.
- Xie, S., Xu, X., & Tu, Y. (2005). A reconfigurable platform in support of one-of-a-kind product development. *International Journal of Production Research*, 43(9), 1889-1910.
- Yang, C.-y., & Cai, W. (2009). Recent progress in extension data mining. *Mathematics in Practice and Theory*, 39(4), 134-141.
- Yixin, Z. (2000). ; A Framework of Knowledge Theory: Toward a Unified Theory of Information, Knowledge and Intelligence [J. *ENGINEERING SCIENCE*, 9.
- Züst, R., Caduff, G., & Schumacher, B. (1997). Life-cycle modelling as an instrument for life-cycle engineering. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 46(1), 351-354.

Del capítulo 7. Bases axiológicas

- Clegg, C. W. (2000). Sociotechnical principles for system design. *Applied ergonomics*, 31(5), 463-477.
- Dekker, S. W., Hancock, P. A., & Wilkin, P. (2013). Ergonomics and sustainability: towards an embrace of complexity and emergence. *Ergonomics*, 56(3), 357-364.
- Elkington, J. (1998). Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37-51.
- Fronidizi, R. (1992). *Introducción a la Axiología.¿ Qué son los Valores?* México: Editorial Fondo de Cultura Económica.
- García-Acosta, G., & Riba i Romeva, C. (2010). *From anthropocentric design to ecospheric design: questioning design epicentre*. Paper presented at the DS 60: Proceedings of DESIGN 2010, the 11th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.
- Mosquin, T., & Rowe, S. (2004). A manifesto for Earth. *Biodiversity*, 5(1), 3-9.
- Thatcher, A. (2013). Green ergonomics: definition and scope. *Ergonomics*, 56(3), 389-398.
- Thatcher, A., Garcia-Acosta, G., & Lange-Morales, K. (2013). Design principles for green ergonomics. In M. Anderson (Ed.), *Contemporary Ergonomics and Human Factors* (pp. 319-326).
- Vogler, M. (2012). *Customer centred vehicle development based on the example of the Opel Insignia*.
- Wilkin, P. (2010). The ideology of ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 11(3), 230-244.

Del capítulo 8. Caso de estudio - corte de rosas

- Asocolflores. (2010). Reporte GRI Global Reporting Initiative del sector floricultor colombiano asociado en Asocolflores. Una apuesta por la sostenibilidad. Bogotá: Asociación Colombiana de Exportadores de Flores.
- Barrero, L., Pulido, J., Berrío, S., Monroy, M., Quintana, L., Ceballos, C., . . . Ellegast, R. (2012). Physical workloads of the upper-extremity among workers of the Colombian flower industry. *American journal of industrial medicine*, 55(10), 926-939.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry*: William Morrow New York.
- Berrío, S., Barrero, L., & Quintana, L. (2011). A field experiment comparing mechanical demands of two pruners for flower cutting. *Work*, 41, 1342-1345.
- Cordoba, J., & Quintana, L. (2014). Evaluación comparativa de factores de preferencia uso de una herramienta de corte para floricultura con un nuevo diseño, versus la herramienta tradicional, estudio piloto.
- Fasecolda. (2013). El Sistema General de Riesgos Laborales en Colombia (pp. 203-244). Bogotá: Fasecolda.
- García-Acosta, G., & Lange-Morales, K. (2007, 26-29 November 2007). *Ergonomic optimisation of greenhouse rose cutting*. Paper presented at the Agriculture Ergonomics Development Conference, Kuala Lumpur.
- García-Cáceres, R. G., Felknor, S., Córdoba, J. E., Caballero, J. P., & Barrero, L. H. (2012). Hand anthropometry of the Colombian floriculture workers of the Bogota plateau. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(2), 183-198.
- García Acosta, G., & Lange Morales, K. (2001). Modelo de Intervención Técnico-Tecnológico Integral (MITTI). *Revista Asocolflores*(61), 52-62.
- Ho, M., Squire, L., Sabeh, N., Giles, D., & VanderGheynst, J. (2005). Design and evaluation of a grapevine pruner for biofungicide application. *Bioresource technology*, 96(8), 963-968.
- Lange-Morales, K., & Garcia-Acosta, G. (2007, 26-29 November 2007). *Ergonomic intervention model for the Colombian flower industry*. Paper presented at the Agriculture Ergonomics Development Conference, Kuala Lumpur.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., & Bruder, R. (2014). The EQUID approach: improving ergonomics quality in product life cycle. In O. Broberg, N. Fallentin, P. Hasle, P. L. Jensen, A. Kabel, M. E. Larsen, & T. Weller (Eds.), *ODAM XI - NES 46* (pp. 435-440). Copenhagen: IEA Press.
- Lange-Morales, K., García-Acosta, G., Uruña-Téllez, W., & Pérez, A. (2012). Work situation operative model MOST: linking diagnosis and intervention to improve work conditions. *Work-Journal of Prevention Assessment and Rehabilitation*, 41, 136.
- Ministerio de la Protección Social. (2007a). *Guías de atención integral de Salud Ocupacional basadas en la evidencia (GATISO)*. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Ministerio de la Protección Social. (2007b). Informe de Enfermedad Profesional en Colombia 2003-2005. Bogotá: Ministerio de la Protección Social.
- Paget, S. A., Gibofsky, A., & Beary, J. F. (2001). *Reumatología y ortopedia ambulatoria*: Marbán.

- Riechmann, J. (2006). *Biomimesis: ensayos sobre imitación de la naturaleza, ecosocialismo y autocontención* (Vol. 227): Los libros de la Catarata.
- Superintendencia de sociedades. (2013). Desempeño del sector floricultor 2008-2012. Bogotá.
- Suratep. (2005). *Estudio del impacto en salud y calidad de la herramienta de corte (tijera) en corte de rosas*. Bogotá.
- Tenjo, F., Montes, E., & Martínez, J. (2006). Comportamiento reciente (2000–2005) del sector floricultor colombiano (Vol. 13). Bogotá.
- Wakula, J., Beckmann, T., Hett, M., & Landau, K. (2000). *Stress-strain-analysis of grapevine pruning with powered and non-powered hand tools*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Wakula, J., & Landau, K. (2001). *Stress-strain analysis of grapevine pruning with manual prunes to define work and hand tools design requirements and reduce the risk of CTD*. Paper presented at the Proceedings of NES.
- Zequera Díaz, M., García Acosta, G., Zequera Díaz, L. F., & Lange Morales, K. (2000). Evaluación biomecánica de tijeras podaderas para corte de rosa. Bogotá: Colmena Riesgos Profesionales.