

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Programa de Doctorado en Sostenibilidad

TESIS DOCTORAL

Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo

María Elena Blanco Romero

Directores

Dr. Carles Riba Romeva

Dra. Laia Ferrer Martí

Barcelona, junio de 2018

AGRADECIMIENTOS

Para llevar a cabo esta tesis se ha contado con la colaboración de muchas personas y entidades de diferentes países y ámbitos de conocimiento a las cuales quiero dirigir mi agradecimiento.

En primer lugar, debo agradecer enormemente al Centre de Disseny d'Equips Industrials (CDEI-UPC), al Departament d'Enginyeria Mecànica (DEM) y al Centre de Cooperació per al Desenvolupament (CCD), todos pertenecientes a la Universitat Politècnica de Catalunya, los medios, el apoyo, la experiencia y la financiación aportada para la realización de los proyectos de cooperación y la realización de la tesis. Nunca podré devolverles todo lo que me han dado.

En Ecuador y en Nepal, he de agradecer las contribuciones y la ayuda desinteresada de multitud de entidades que hicieron posible articular y llevar a cabo los proyectos en los que se ha basado esta investigación: en Nepal, a la ONG Practical Action Nepal y todo su equipo; en Ecuador, a la Universidad de las Fuerzas Armadas de Quito (ESPE) y a su Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Sta. Catalina y de Quevedo, a la Universidad Nacional de Loja y a la sede en Cariamanga de la ONG Ayuda en Acción. Individualmente, dar las gracias al Ingeniero Flavio Padilla por su tiempo y aportaciones sobre cultivos y maquinaria siempre que lo hemos requerido, y a Soledad Ortega por su entusiasmo, la coordinación y el contacto con los agricultores de Cariamanga.

De vuelta a casa, he de mencionar especialmente a mis directores de tesis: a Carles Riba Romeva agradecer su generosidad, su incansable espíritu de transmitirnos conocimientos (no solo para esta tesis), sus aportaciones siempre positivas y su inagotable energía, y a Laia Ferrer Martí su valentía y motivación para vencer a la página en blanco (sin ella, este trabajo aún no estaría escrito), su punto de vista tan enriquecedor y su capacidad de trabajo y síntesis. A los dos, gracias.

He de dar las gracias al equipo completo del CDEI-UPC por el ambiente que hace que cada día sea agradable llegar al trabajo y compartir el camino que ha supuesto esta tesis. A Toni Caverdós y Roger Teixido por hacerme pensar. Pero en especial, quiero dar las gracias a Andreu Presas, siempre presente, y a Carles Domènech, siempre brillante. Y por supuesto, ayudándome a ambos lados del océano en todos los ámbitos de la tesis y de la vida, Manuel Ayala. Sin él es seguro que esta tesis no estaría hecha. No te mueras nunca.

No puedo dejar de expresar mi agradecimiento a multitud de personas que han vivido, en algún momento, conmigo esta tesis y han contribuido a ella con su presencia, apoyo, enseñanzas o trabajo extra: Asociación Mediambiental Grodema, Santosha, Els Blaus, Departament de Mecànica de

Vilanova i la Geltrú, José Antonio, Inés, Paquita, Antonio, Concha, Mapi, Nuria, Ingrid, Joan, Mauri, Lluís, Toni, Ferran, Esteve, Carles, Jordi, Àngels Negro... y muchas otras que me dejaré. Perdonadme.

Y finalmente, como siempre en estos casos, mencionar a las personas que queremos y que sufren más de cerca estos proyectos: Maru, Vega, Francis, Pedro, gracias por comprender y ayudarme; Xavi, gracias por aparecer y darme un gran motivo para acabar esta tesis. Papás, gracias por mi educación y vuestra ayuda y esfuerzo toda la vida.

El diseño de un equipo o producto en un país desarrollado es un proceso caracterizado por la creatividad y, a la vez, marcado por el cumplimiento de unos requerimientos que impone el cliente, los usuarios, el mercado y/o la competencia. La complejidad y la importancia de este proceso de diseño han motivado multitud de estudios y el establecimiento de diversas metodologías que ayudan a los equipos de diseño a guiar los procedimientos, enfocar la creatividad y alcanzar los requerimientos acordados. Estas metodologías contemplan e incorporan en las decisiones de diseño los estudios de mercado, el análisis de necesidades de los usuarios, la generación de especificaciones, propuesta y valoración de alternativas, etc. Llama la atención, sin embargo, que todas ellas dan por hecho implícitamente que el producto o equipo se desarrollará, se fabricará y/o se utilizará a priori en un contexto industrializado. Esto implica unas características concretas del entorno: gran disponibilidad de recursos energéticos, materiales y tecnológicos, procesos dirigidos hacia la reducción de tiempos y costes, operarios y usuarios con una elevada formación, entre otras. Estas características condicionan de forma no manifiesta el proceso de diseño: no es necesario explicitar el contexto porque se da por supuesto.

Sin embargo, existen proyectos en los que el producto diseñado no va dirigido a un contexto desarrollado. Al contrario, su objetivo principal es ayudar al crecimiento y mejorar la calidad de vida de una comunidad en desarrollo. Estos proyectos están enmarcados dentro de las denominadas tecnologías apropiadas: aquellas que permiten a las personas salir de la pobreza, mejorar su situación económica y cubrir sus necesidades básicas con los recursos disponibles en su contexto de una manera sostenible. En estos proyectos, las características del contexto suelen ser factores clave que afectan en gran medida el diseño del equipo, por ejemplo, la formación y la cultura de los usuarios, los recursos materiales, tecnológicos y energéticos disponibles o las condiciones geográficas y climáticas específicas. Los proyectos de diseño de equipos para facilitar o mejorar los procesos agrícolas en países en desarrollo entran dentro del ámbito de las tecnologías apropiadas, ya que ayudan a mejorar la productividad y las condiciones de vida de los agricultores, y su diseño ha de adaptarse específicamente a las condiciones del contexto para asegurar una correcta apropiación del equipo a la comunidad.

La literatura analizada en el ámbito de las tecnologías apropiadas y de las metodologías de diseño muestra que no existe un procedimiento claro establecido para el diseño de máquinas apropiadas pero que éste se suele estructurar siguiendo las etapas establecidas por las metodologías clásicas de diseño. Sin embargo, estas metodologías no incluyen ninguna etapa que ayude a explicitar de forma

metódica el contexto y sus características, tan importante en estos proyectos de desarrollo, para tenerlas en cuenta en las especificaciones de diseño del equipo.

A partir de dos casos reales de diseño de máquinas agrícolas en dos contextos diferentes (un teleférico de transporte de productos agrícolas en Nepal y una máquina para deshojar mazorcas de maíz en Ecuador), en esta tesis se propone una metodología de diseño de máquinas apropiadas en el ámbito agrícola. Esta metodología tiene como objetivo incluir un análisis adecuado del contexto al proceso de diseño indicado por las metodologías habituales en ingeniería mecánica. Se presta especial atención a las fases iniciales del diseño y se amplía el procedimiento de las metodologías clásicas incorporando una etapa con entidad propia para realizar este análisis. La metodología proporciona una herramienta que ayuda a los equipos de diseño a documentar el contexto (sea cual sea) de forma fácil y ordenada, optimizando las entrevistas de campo, así como las necesidades y características de la comunidad de forma exhaustiva y sistemática para traducirlas en un diseño apropiado. Esta herramienta contempla aspectos relacionados con el medioambiente, los usuarios, las infraestructuras y las condiciones tecnológicas del entorno y el proceso agrícola que desarrolla la máquina o en el que ha de intervenir.

La metodología propuesta se aplica a los casos de diseño reales estudiados inicialmente, reformulando las especificaciones a partir del análisis del contexto con la herramienta proporcionada, y analizando el resultado final del diseño. Se aplica también en un proyecto real realizado de forma completa siguiendo esta metodología: el diseño de una trituradora de residuos agrícolas para la elaboración de abono natural en Ecuador. Finalmente se aplica al proyecto de diseño conceptual de una peladora de cañas en dos contextos diferentes, Nepal y Ecuador. Con este último ejemplo se muestra cómo el diseño cambia radicalmente en función del contexto al que vaya dirigido.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Justificación de la investigación	2
1.1.1.	Marco general	2
1.1.2.	Tecnologías para comunidades en desarrollo	6
1.2.	Objetivos	9
1.3.	Estructura de la tesis	11
1.4.	Metodología seguida	12
2.	ESTADO DEL ARTE	14
2.1.	Tecnologías apropiadas	15
2.1.1.	Inicio y evolución de las tecnologías apropiadas	15
2.1.2.	Definición y conceptos derivados de las tecnologías apropiadas	17
2.1.3.	Características de las tecnologías apropiadas	18
2.1.4.	Ejemplos de tecnologías apropiadas	23
2.2.	Metodologías de diseño	29
2.2.1.	Clasificación de las metodologías de diseño	30
2.2.2.	Metodologías de fases	31
2.2.2.1.	Etapa 1: Definición del producto. Especificaciones	38
2.2.2.2.	Etapa 2: Diseño conceptual	41
2.2.2.3.	Etapa 3: Diseño de materialización	41
2.2.2.4.	Etapa 4: Diseño de detalle	42
2.2.3.	Metodologías de diseño aplicadas a tecnologías apropiadas	42
2.3.	Limitaciones en el diseño de tecnologías apropiadas	48
2.3.1.	Factores de éxito y fracaso	48

2.3.2. Ejemplos prácticos.....	50
2.3.2.1. Lavabos públicos.....	50
2.3.2.2. Tanzania Canada Wheat Project.....	51
2.3.2.3. Maquinaria agrícola en Ecuador.....	52
2.4. Análisis del estado del arte.....	54
2.5. Resumen del capítulo.....	60
3. ANÁLISIS DE CASOS PRÁCTICOS DE DISEÑO DE MÁQUINAS APROPIADAS.....	63
3.1. Caso 1: Teleférico de transporte de productos agrícolas en Nepal.....	64
3.1.1. Motivación y marco del proyecto.....	64
3.1.2. Etapa 1. Definición.....	65
3.1.3. Etapa 2. Diseño conceptual.....	69
3.1.4. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle.....	71
3.1.5. Revisión del proyecto. Análisis de la etapa de definición.....	75
3.2. Caso 2: Deshojadora de mazorcas de maíz en Ecuador.....	78
3.2.1. Motivación y marco del proyecto.....	78
3.2.2. Etapa 1. Definición.....	79
3.2.3. Etapa 2. Diseño conceptual.....	83
3.2.4. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle.....	84
3.2.5. Revisión del proyecto. Análisis de la etapa de definición.....	86
3.3. Resumen del capítulo.....	89
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA DE DISEÑO DE MÁQUINAS APROPIADAS.....	90
4.1. Planteamiento de la metodología.....	91
4.2. El contexto en proyectos de diseño de máquinas apropiadas.....	94
4.3. Relación entre contexto y definición en el diseño de máquinas apropiadas.....	97
4.4. Desarrollo de la lista de referencia para el análisis del contexto.....	100
4.4.1. Consideraciones previas.....	100
4.4.2. Clasificación de aspectos de contexto.....	101
4.4.3. Contenido de la lista de referencia para el análisis del contexto.....	104
4.4.4. Medioambiente.....	105
4.4.4.1. Orografía y bioma.....	105

4.4.4.2. Clima	106
4.4.4.3. Recursos naturales.....	107
4.4.4.4. Impacto ambiental.....	107
4.4.5. Usuarios.....	107
4.4.5.1. Aspectos sociales	108
4.4.5.2. Aspectos económicos	109
4.4.6. Infraestructuras.....	109
4.4.6.1. Transporte	110
4.4.6.2. Tecnologías de comunicación y localización	110
4.4.6.3. Energía.....	111
4.4.7. Entorno tecnológico.....	111
4.4.7.1. Capacidad de fabricación y montaje.....	111
4.4.7.2. Capacidad de mantenimiento	112
4.4.7.3. Disponibilidad de materiales y componentes	113
4.4.7.4. Aspectos legales	114
4.4.8. Proceso operativo	114
4.4.8.1. Proceso actual	114
4.4.8.2. Equipos alternativos	115
4.4.8.3. Expectativas respecto al equipo.....	115
4.5. Lista de referencia para el análisis del contexto.....	116
4.6. Resumen del capítulo.....	121
5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MÁQUINAS APROPIADAS.....	122
5.1. Caso 1: Teleférico de transporte de productos agrícolas en Nepal.....	123
5.1.1. Etapa 0: Análisis del contexto	123
5.1.2. Etapa 1: Definición. Nuevas especificaciones del teleférico.....	126
5.1.3. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle	130
5.2. Caso 2: Deshojadora de mazorcas de maíz en Ecuador.....	131
5.2.1. Etapa 0: Análisis del contexto. Documento de contexto.....	131
5.2.2. Etapa 1: Definición. Nuevas especificaciones de la deshojadora.....	134
5.2.3. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle	138
5.3. Caso 3: Trituradora de residuos agrícolas en Ecuador	140

5.3.1. Etapa 0. Análisis del contexto	140
5.3.2. Etapa 1. Definición. Especificaciones.....	143
5.3.3. Etapa 2. Diseño conceptual.....	145
5.3.4. Etapa 3 y 4. Diseño de materialización y detalle	145
5.4. Caso 4: Peladora de cañas	147
5.4.1. Descripción del proyecto	147
5.4.2. Contexto 1: Ecuador	147
5.4.2.1. Etapa 0. Análisis del contexto	148
5.4.2.2. Etapa 1. Definición. Especificaciones.....	151
5.4.2.3. Etapa 2. Diseño conceptual.....	151
5.4.2.4. Etapa 3 y 4. Diseño de materialización y detalle	153
5.4.3. Contexto 2: Nepal.....	154
5.4.3.1. Etapa 0. Análisis del contexto	154
5.4.3.2. Etapa 1. Definición. Especificaciones.....	156
5.4.3.3. Etapa 2. Diseño conceptual.....	158
5.4.3.4. Etapa 3 y 4. Diseño de materialización y detalle	158
5.4.4. Comparación entre los dos contextos.....	159
5.5. Resumen del capítulo	160
6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	161
6.1. Extensión de la metodología y trabajos futuros	162
7. REFERENCIAS	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de una tecnología apropiada según diferentes autores.	19
Tabla 2.2. Etapas de diferentes métodos para el diseño de máquinas.	38
Tabla 2.3. Lista de referencia para confeccionar las especificaciones del producto.	40
Tabla 2.4. Pasos y actividades de la metodología propuesta por Sianipar et al.....	47
Tabla 2.5. Barreras y malas prácticas que contribuyen al fracaso de proyectos en países en desarrollo y retos asociados para evitarlo.	57
Tabla 3.1. Especificaciones originales para el teleférico instalado en Nepal	68
Tabla 3.2. Características del contexto que condicionan el diseño del teleférico.	77
Tabla 3.3. Especificaciones originales para la deshojadora de maíz en Ecuador	82
Tabla 3.4. Especificaciones añadidas una vez decidido el principio de funcionamiento de la deshojadora.	83
Tabla 3.5. Características del contexto que condicionan el diseño de la deshojadora.	87
Tabla 4.1. Clasificación de las preguntas sobre el contexto en función de su contenido.....	101
Tabla 4.2. Primera propuesta de lista de referencia para el análisis del contexto	102
Tabla 4.3. Lista de referencia del contexto propuesta	117
Tabla 4.4. Plantilla para la elaboración del documento de contexto	120
Tabla 5.1. Documento de contexto para el diseño de teleféricos en Nepal.	124
Tabla 5.2. Nueva lista de especificaciones revisada para el teleférico instalado en Nepal comparada con la especificación original.	128
Tabla 5.3. Documento de contexto para el diseño de la deshojadora en Ecuador.	131
Tabla 5.4. Nueva lista de especificaciones revisada para la deshojadora en Ecuador comparada con la especificación original.	135
Tabla 5.5. Documento de contexto para el diseño de la trituradora en Ecuador.....	141
Tabla 5.6. Especificaciones para la trituradora en Ecuador.	144
Tabla 5.7. Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Ecuador.....	148

Tabla 5.8. Especificaciones para la peladora de cañas en Ecuador.....	152
Tabla 5.9. Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Nepal.	154
Tabla 5.10. Especificaciones para la peladora de cañas en Nepal.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cantidad de personas en el mundo que vive con menos de 1,25 dólares al día....	2
Figura 1.2. Pobreza económica y multidimensional de la población mundial, 2013.....	3
Figura 1.3. Población de los países en desarrollo por debajo del umbral de la pobreza extrema, 2010.	3
Figura 1.4. Objetivo 8. Datos de productividad laboral por regiones y tasa media de crecimiento anual del PIB de los países menos adelantados (PMA).....	4
Figura 1.5. Objetivo 9. Valor añadido por manufactura en los países menos adelantados y los desarrollados.	4
Figura 1.6. Objetivo 12. Cantidad de materia prima utilizada (huella material) en 2000 y 2010.	4
Figura 1.7. Vínculos entre tecnología y desarrollo humano.....	5
Figura 2.1. Indicadores de sostenibilidad de una tecnología en países en desarrollo.....	21
Figura 2.2. Aspectos fundamentales de las AT (a) y niveles de apropiatividad de una AT.....	22
Figura 2.3. Indicadores de idoneidad vs frecuencia de aparición en la bibliografía.	23
Figura 2.4. Actividad central de la Ingeniería de Diseño.	30
Figura 2.5. Estructura de diseño propuesta por Asimow.	32
Figura 2.6. Etapas de diseño propuestas por French.....	32
Figura 2.7. Estructura de diseño según Pahl & Beitz.	33
Figura 2.8. Estructura de diseño según la norma alemana VDI 2221.	34
Figura 2.9. Estructura de diseño según Ullman.	34
Figura 2.10. Estructura de diseño según Hubka & Eder.	35
Figura 2.11. Estructura de diseño según Ulrich & Eppinger.....	36
Figura 2.12. Etapas de diseño propuestas por Pugh.....	36
Figura 2.13. Espiral de desarrollo de proyectos de diseño mecánico.....	37
Figura 2.14. Elementos básicos del diseño de materialización, según Ullman (2010)	42

Figura 2.15. Relaciones entre los agentes clave en el diseño co-evolucionario.	44
Figura 2.16. Proceso de diseño de óvalos concéntricos según Mattson & Wood.....	45
Figura 2.17. Proceso de diseño básico para tecnologías apropiadas (a) y propuesto (b) por Sianipar et al.....	46
Figura 2.18. Relaciones entre usuarios, diseñadores e intermediarios en diferentes contextos.	49
Figura 2.19. Áreas de oportunidad y retos.	49
Figura 3.1. Esquema del teleférico por gravedad utilizado en Nepal para el transporte de productos agrícolas.....	64
Figura 3.2. Cesta y carro de unión al cable tractor	65
Figura 3.3. Estación superior de un teleférico	66
Figura 3.4. Estación inferior de un teleférico.....	66
Figura 3.5. Esquema de la unión de la cesta a los cables.	66
Figura 3.6. Alternativas conceptuales para la disposición de las poleas tractoras.....	69
Figura 3.7. Alternativas conceptuales para el diseño del carro	70
Figura 3.8. Concepto de freno pasivo accionado con el pie	70
Figura 3.9. Diseño de la estación superior	71
Figura 3.10. Diseño de la estación inferior con sistemas de freno y accionamiento manual montados.	71
Figura 3.11. Diseño del sistema de freno.....	72
Figura 3.12. Diseño del sistema de accionamiento manual.	72
Figura 3.13. Diseño de la nueva cesta.....	73
Figura 3.14. Sistema de paso por la torre intermedia.....	73
Figura 3.15. Funcionamiento del mecanismo de paso por la torre intermedia	74
Figura 3.16. Diseño de detalle del primer prototipo de deshojadora.....	85
Figura 3.17. Primer prototipo de deshojadora construido en Ecuador.	86
Figura 3.18. Segundo prototipo construido de deshojadora y despiece.	86
Figura 4.1. Secuencia básica de etapas de las metodologías de fases.	91
Figura 4.2. Influencia del contexto en cada una de las 4 etapas de las metodologías de fases.	92
Figura 4.3. Secuencia básica de etapas de la metodología propuesta para el diseño de máquinas agrícolas apropiadas.....	92

Figura 4.4. Modelo de doble diamante de diseño.....	94
Figura 4.5. Tareas, herramienta y resultado de la nueva etapa de la metodología.	95
Figura 4.6. Espiral de desarrollo de Ullman (arriba) y propuesta para proyectos de diseño mecánico.....	96
Figura 4.7. Relación entre la etapa propuesta de análisis del contexto y la de definición del equipo.	98

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se justifica el interés del problema y el contexto de estudio. Inicialmente se argumenta porqué la tecnología es necesaria para el avance y crecimiento de comunidades en desarrollo y porqué es necesario, además, adaptarla a sus contextos y a sus miembros para que sea efectiva y se produzca la apropiación por parte de esta población. Entrando en el ámbito de la ingeniería de máquinas (o bienes de equipo), se expone brevemente cómo enfocan las metodologías actuales de diseño los proyectos de diseño de equipos para contextos en desarrollo y se cuestiona si son adecuadas en estos casos.

Una vez justificada la necesidad de una metodología particular para los proyectos de diseño de máquinas apropiadas en contextos en desarrollo, se establecen los objetivos y alcance de la tesis.

Finalmente, se detalla la estructura de este documento que pretende reflejar ordenadamente el trabajo realizado durante la elaboración de la tesis para conseguir los objetivos marcados.

1.1. Justificación de la investigación

1.1.1. Marco general

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), acordados para el período 2000-2015 por 189 países miembros de las Naciones Unidas, tenían como finalidad, entre otras prioridades de desarrollo, hacer frente a la pobreza extrema, el hambre y mejorar la calidad de vida de millones de personas de los países en desarrollo. Según la ONU y los datos disponibles, durante estos años, la cantidad de personas que viven en pobreza extrema se ha reducido a más de la mitad, cayendo de 1900 millones en 1990 a 836 millones en 2015 (ONU, 2015; Figura 1.1).

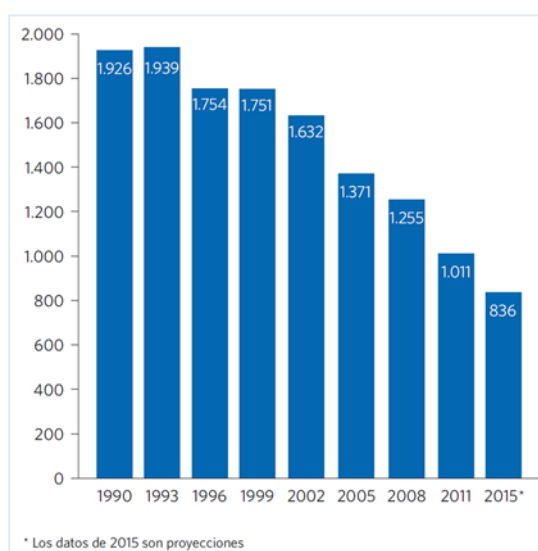


Figura 1.1. Cantidad de personas en el mundo que vive con menos de 1,25 dólares al día.

Fuente: ONU, 2015.

Pese a estos progresos, casi un 22% de la población mundial sigue viviendo con menos de 1,25 dólares al día (umbral de pobreza extrema) (Figura 1.2). Considerando el índice de pobreza multidimensional (IPM¹), más de 2.200 millones de personas se encontraban en situación de pobreza multidimensional o cerca de ella. Esto significa que más del 15 % de la población mundial sigue siendo vulnerable a la pobreza multidimensional (PNUD, 2014). Este indicador, además de considerar la pobreza económica, considera diez indicadores de desarrollo agrupados en tres aspectos básicos: acceso a educación, sanidad y calidad de vida o bienestar social. Este indicador considera las privaciones que experimentan las personas pobres, así como el marco en que éstas ocurren. Contemplando únicamente los datos de los países en desarrollo, una proporción considerable de sus habitantes sigue siendo pobre y corre el riesgo de sumirse aún más en esa situación: un 50% subsiste con menos de 2,50 dólares (Figura 1.3).

¹ El índice de pobreza multidimensional (IPM) es un índice de pobreza estadístico sobre la situación de las personas por países, elaborado desde 2010 por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en colaboración con la OPHI (Oxford Poverty & Human Development Initiative). Este índice sustituye a los Índices de Pobreza Humana (IPH e IPH-1/IPH-2). Una persona se considera pobre si no tiene acceso en al menos 30% de los indicadores ponderados. La intensidad de la pobreza indica la proporción de los indicadores a los que no se tiene acceso (PNUD, 2010).

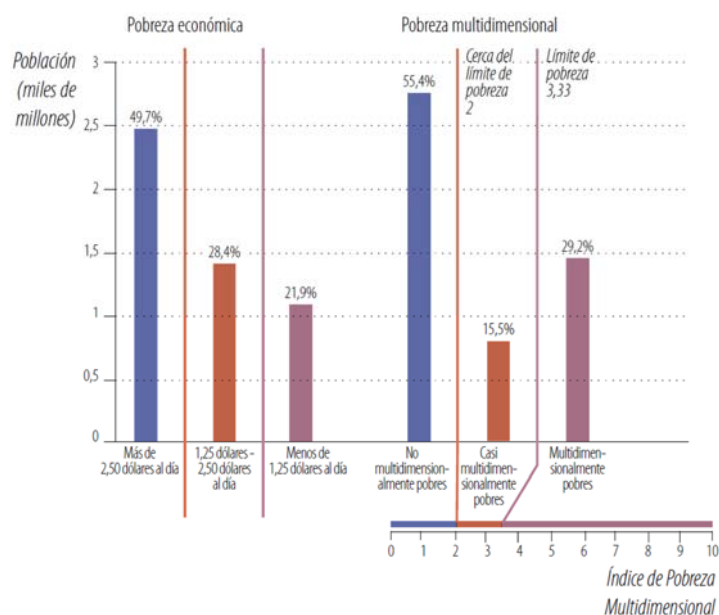


Figura 1.2. Pobreza económica y multidimensional de la población mundial, 2013.

Fuente: PNUD, 2014.

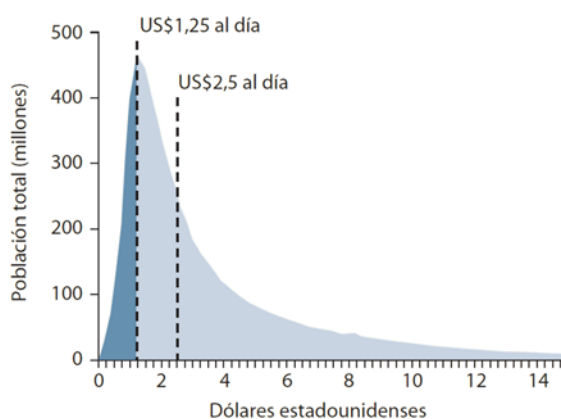


Figura 1.3. Población de los países en desarrollo por debajo del umbral de la pobreza extrema, 2010.

Fuente: Banco Mundial, 2013.

En el año 2015, 193 países se comprometieron a unos nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), válidos hasta el año 2030. Estos 17 objetivos se dirigen a todos los países (no solo a los países en desarrollo) y todas las personas, son de amplio alcance y contemplan de manera interconectada elementos sociales, de medio ambiente y desarrollo económico para abordar las causas fundamentales de la pobreza (PNUD, 2017). Entre ellos se destacan los siguientes:

- Objetivo 7: Acceso a energía asequible, fiable, sostenible y moderna. Requiere ampliar el acceso a la energía eléctrica (alrededor de 1,1 millones de personas no cuentan con acceso a servicios de electricidad (Naciones Unidas, 2016)), a nuevas tecnologías y a combustibles limpios y tecnologías más eficientes para cocinar, equiparando las zonas rurales (73% de acceso) a las urbanas (96%) (Naciones Unidas, 2017), así como mejorar la eficiencia energética y aumentar el uso de las energías renovables.

- **Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico.** Se pretende estimular el crecimiento económico sostenible mediante el aumento de los niveles de productividad y la innovación tecnológica (Figura 1.4).

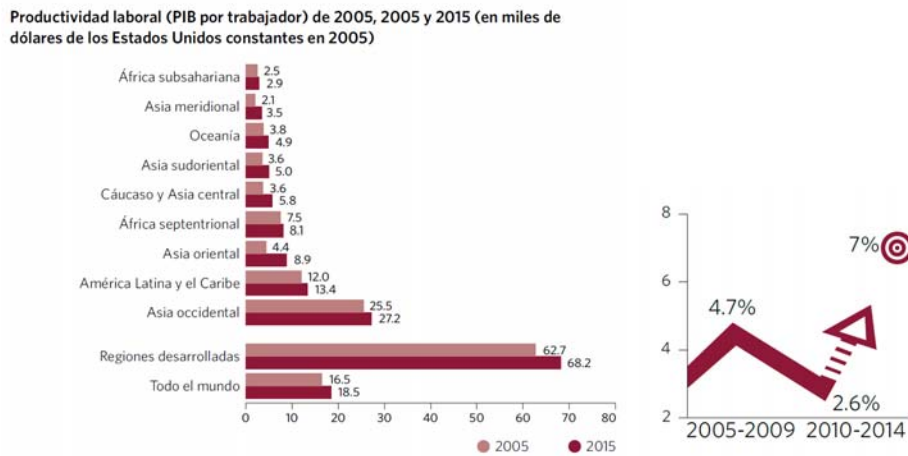


Figura 1.4. Objetivo 8. Datos de productividad laboral por regiones y tasa media de crecimiento anual del PIB de los países menos adelantados (PMA).

Fuente: Naciones Unidas, 2016.

- **Objetivo 9: Industria, innovación tecnológica e infraestructura.** Se consideran motores fundamentales del crecimiento y el desarrollo económico. Los avances tecnológicos se muestran esenciales para encontrar soluciones a los desafíos económicos y ambientales, así como la inversión en investigación e innovación científicas (Figura 1.5).



Figura 1.5. Objetivo 9. Valor añadido por manufactura en los países menos adelantados y los desarrollados.

Fuente: Naciones Unidas, 2016.

- **Objetivo 12: Tecnologías de producción y consumo responsables y sostenibles.** Se considera urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en las tecnologías de producción y apoyar a los países en desarrollo a avanzar hacia patrones sostenibles de consumo de bienes y recursos.

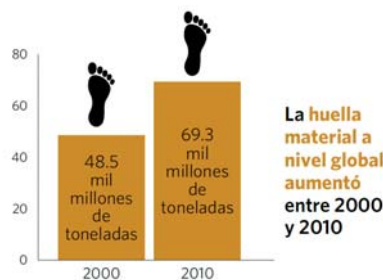


Figura 1.6. Objetivo 12. Cantidad de materia prima utilizada (huella material) en 2000 y 2010.

Fuente: Naciones Unidas, 2017.

Como puede verse, en estos objetivos la tecnología y la innovación juegan un papel fundamental, y siempre ha sido así. A lo largo de la historia, la tecnología y los avances científicos han sido un poderoso e incontestable instrumento de desarrollo humano y reducción de la pobreza (Kaplinisky, 2011; PNUD, 2001; Thomas, 2009): producción de alimentos, vivienda, transporte, energía, acceso a conocimientos y cultura, organización social.

Sin embargo, es evidente que el desarrollo no se ha producido de forma homogénea y equitativa en todos los países del mundo, ya sea por motivos ambientales, económicos, políticos, etc. Así, existe un conjunto de países (del norte, habitualmente) donde la ciencia y la tecnología han contribuido a un gran desarrollo de estas regiones, favoreciendo la esperanza de vida, el bienestar de sus poblaciones, la cultura y, a su vez, los avances científicos y tecnológicos. Por el contrario, muchas regiones del mundo viven con gran escasez de recursos a todos los niveles y quedan fuera de este círculo de desarrollo: la ciencia y la tecnología se ven desde lejos en estas comunidades, pocas veces los avances tecnológicos llegan o cubren las necesidades de estas poblaciones. El índice de pobreza multidimensional mencionado anteriormente contempla de forma más amplia esta pobreza de acceso a recursos y tecnología, no sólo la disponibilidad de recursos económicos.

La tecnología ha de servir a las personas para salir de la pobreza; ha de ser entendida como un instrumento, un medio de desarrollo, no un fin. Por una parte, los avances técnicos han de mejorar la calidad de vida de las personas a nivel de salud, nutrición o conocimientos. Y por otra parte, han de contribuir al crecimiento económico gracias al incremento de productividad que generan: se incrementa el rendimiento agrícola y la productividad y eficiencia de los obreros y de las pequeñas empresas, se crean nuevas iniciativas de negocio y se genera empleo (PNUD, 2001: Figura 1.7). La tecnología genera tecnología; el desarrollo genera desarrollo.

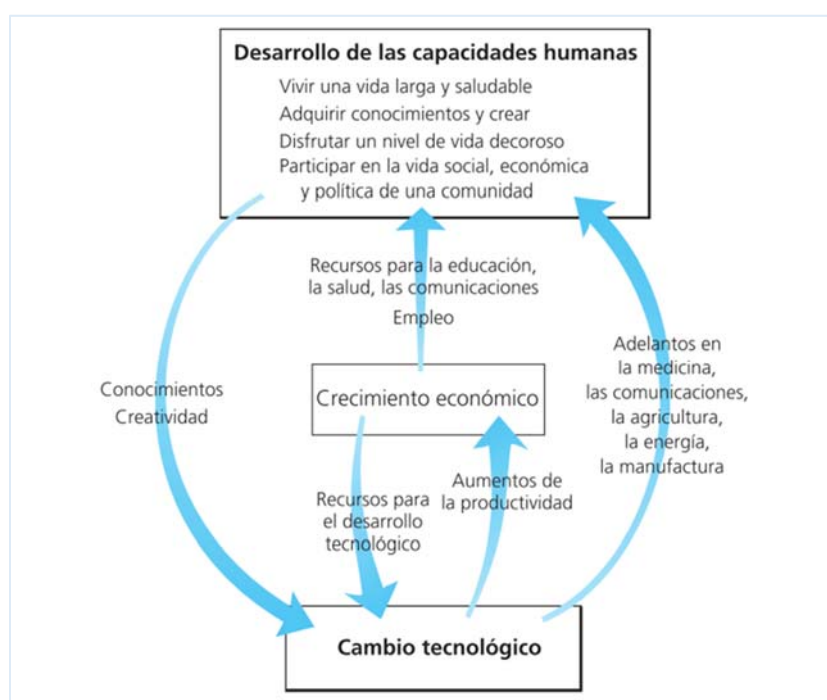


Figura 1.7. Vínculos entre tecnología y desarrollo humano.

Fuente: PNUD, 2001.

Tal como afirma el Informe sobre Desarrollo Humano del año 2001 del PNUD:

“Los adelantos sin precedentes registrados en el siglo XX en cuanto a promover el desarrollo humano y erradicar la pobreza fueron en gran medida consecuencia de grandes adelantos tecnológicos. (...) En todo el mundo, las personas tienen grandes esperanzas de que esas nuevas tecnologías redunden en vidas más saludables, mayores libertades sociales, mayores conocimientos y vidas más productivas.” (PNUD, 2001).

Sin embargo, también se afirma lo siguiente:

“La tecnología se crea en respuesta a las presiones del mercado y no de las necesidades de los pobres, que tienen escaso poder de compra.”

“El mercado es un poderoso impulsor del progreso tecnológico, pero no es suficientemente poderoso para crear y difundir las tecnologías necesarias a fin de erradicar la pobreza.”

“El desarrollo y la tecnología suelen tener una relación inestable: en los círculos del desarrollo se sospecha con frecuencia que los impulsores de la tecnología promueven arreglos costosos e inapropiados sin tomar en cuenta la realidad del desarrollo.” (PNUD, 2001).

1.1.2. Tecnologías para comunidades en desarrollo

En los países industrializados se desarrollan tecnologías y, en concreto, máquinas, equipos o bienes de equipo, principalmente desde el punto de vista de y para estas sociedades. Todos los aspectos del ciclo de vida de estas máquinas (diseño, fabricación, uso, fin de vida) están pensados para llevarse a cabo en contextos con una amplia disponibilidad de recursos técnicos, enfocados a la reducción de costes laborales, a la aceleración de los tiempos y en un marco de competencia internacional. En sociedades y comunidades en desarrollo estos parámetros suelen pasar a un segundo plano mientras otros aspectos de las máquinas toman especial importancia: cubrir necesidades básicas de supervivencia, adaptarse a las características sociales, ambientales y culturales de la comunidad, propiciar el desarrollo de la comunidad por sus propios medios o capacitar a sus miembros para el desarrollo sostenible de su propia tecnología.

Por tanto, las máquinas o equipos producidos en los países industrializados, que van dirigidos habitualmente a los propios países industrializados, se crean usando criterios de diseño y uso basados en el contexto de los países desarrollados, pero de poco servirían si se trasladan sin adaptación previa a comunidades en desarrollo. Por ejemplo, Witherspoon & Harris (2011) exponen un caso muy claro de tecnología inapropiada: en 2002, el Instituto de Educación de Kenia, en asociación con Worldspace (una red de distribución de contenido por satélite con sede en los EE.UU.) entregó miles de radios por satélite a las escuelas en un esfuerzo por ofrecer una programación educativa de calidad dirigida a las escuelas de Kenia. La idea era buena: la radio por satélite es razonablemente fiable, tiene una calidad de audio adecuada y el proceso de implementación de las transmisiones es sencillo. Sin embargo, este proyecto fracasó: las escuelas y los maestros no podían

pagar las baterías que alimentaban las radios y muchas escuelas no contaban con conexión a la red eléctrica.

Diferentes autores y profesionales refieren, como se verá en el capítulo siguiente, casos de proyectos de desarrollo en campos tan diversos como sanidad, potabilización de agua o telecomunicaciones donde la clave de su éxito o fracaso estuvo en contemplar adecuadamente las necesidades de los usuarios y su contexto. Así, se pueden intuir los motivos por los cuales fracasan estos proyectos. Citando a Mattson & Wood (2014):

“Most engineering projects for the developing world do not fail because of the mechanics of the generic solution finding process. They fail because of a weak understanding of the context. This lack of understanding unfortunately leaves little opportunity for the solution finding process to produce a valuable outcome.”

En este artículo los autores establecen una serie de principios como guía para ayudar a los diseñadores mecánicos en sus proyectos. Según ellos el desconocimiento del contexto es la causa del fracaso de algunos proyectos, ya sea dentro del ámbito del diseño de máquinas como de cualquier otro ámbito tecnológico:

“(...) the principles introduced here help overcome the challenges of design for the developing world, which are often dominated by designer unfamiliarity with poverty and foreign culture and the constraint of extreme affordability.”

En esta línea aparecieron durante la segunda mitad del siglo XX las tecnologías apropiadas, es decir, aquellas en las que en su diseño se han considerado condicionantes técnicos, económicos, ambientales y socioculturales de la comunidad en que se utilizará, así como su sostenibilidad en el tiempo. Estas características son algunas de las que se incluyen en las definiciones de **tecnologías apropiadas o adaptadas** que se analizarán en el siguiente capítulo. Siguiendo el enfoque de las tecnologías apropiadas, se utilizará el término *máquinas apropiadas* para hacer referencia a las máquinas diseñadas y desarrolladas bajo este paradigma, adaptadas al contexto de comunidades en desarrollo.

Centrándonos en máquinas y en las metodologías que se siguen en su proceso de diseño, se puede afirmar que las metodologías más utilizadas actualmente son las metodologías de fases. Éstas surgieron y han evolucionado dentro del marco proporcionado por las sociedades desarrolladas. Cuando se trata de diseñar máquinas para contextos no industrializados estas metodologías, o determinadas etapas de ellas, no resultan del todo apropiadas y presentan carencias respecto al conocimiento del contexto, que se da como ya conocido. Así, en la mayoría de proyectos de diseño llevados a cabo en los países desarrollados, no se realiza un análisis del contexto: se asume implícitamente que ya es conocido, es el que rodea a estos países. Y si se realiza, no se hace de forma explícita y metódica.

Sin embargo, cuando se inicia un proyecto de diseño de una máquina apropiada, el análisis del contexto adquiere una relevancia fundamental, ya que condiciona en gran medida el diseño del equipo. Este análisis también facilitará al diseñador ser consciente de su propio contexto y reconocer sus limitaciones y “permisividades” ante el uso de materiales, costes, tecnologías, etc., para identificar adecuadamente las características y limitaciones de otros contextos.

Por lo tanto, se considera que una metodología para diseño de máquinas agrícolas apropiadas ha de incluir, como una tarea fundamental, el análisis y la explicitación del contexto, el estudio adecuado de los requerimientos de los usuarios y la correcta elaboración de las especificaciones basadas en ese contexto y usuarios. Esta tarea no se contempla en las metodologías tradicionales y las propuestas para tecnologías apropiadas son demasiado abiertas o demasiado complejas. Se hace, pues, necesario un análisis metodológico de todos los condicionantes que pueden afectar al diseño en cada caso. Se deberán analizar aspectos de la comunidad en desarrollo que permitan enmarcar el contexto del equipo a diseñar: entorno físico, económico, político, cultural y social.

En esta tesis se presenta una propuesta metodológica que ha de servir como referencia y apoyo a los ingenieros dedicados al diseño de máquinas agrícolas apropiadas para comunidades en desarrollo. Así, en esta tesis se propone una modificación de las metodologías de fases para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo que tenga en cuenta el análisis del contexto como etapa inicial, con entidad propia y diferenciada.

1.2. Objetivos

En los proyectos de diseño de máquinas orientadas a comunidades en desarrollo es necesario contar con una metodología que preste especial atención al contexto y ayude a analizar sus características y las necesidades de los usuarios a fin de tenerlas en cuenta en las especificaciones y las soluciones que serán la base del diseño. Sólo de esta manera se asegurará que la máquina será aceptada por la comunidad y que su diseño será sostenible.

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo de una metodología que asista en el proceso de diseño de máquinas apropiadas para comunidades en desarrollo y que permita obtener, la solución de diseño más sostenible y adecuada posible a las características de la comunidad, adaptada a sus necesidades, recursos y características concretas. La metodología se centra en el diseño de máquinas agrícolas pero es fácilmente extrapolable y adaptable a cualquier otro tipo de equipos apropiados.

Así pues, los objetivos principales de esta tesis son:

1. Análisis de proyectos reales de desarrollo de máquinas agrícolas apropiadas y sus diseños. Identificación de los puntos de mejora y puntos fuertes de la metodología seguida.
2. Establecimiento de una metodología específica para el diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Esta metodología ha de ser simple en su implementación pero suficientemente exhaustiva para contemplar e integrar toda la información y características del contexto al que va dirigida la máquina agrícola.
3. Elaboración de una guía para el análisis del contexto basada en casos reales, que permita definirlo de manera adecuada y estructurada: lista de referencia del contexto. Esta guía ha de facilitar la definición del diseño y la elaboración de las especificaciones y ser una referencia durante todo el desarrollo del proyecto. Dado que el análisis del contexto donde ha de funcionar una máquina puede ser muy amplio, esta guía debería ayudar a determinar qué aspectos del contexto afectarán a su definición y especificación y cuáles conviene analizar en detalle.
4. Validación de la metodología aplicándola en casos reales de diseño de máquinas agrícolas en diferentes contextos.

En síntesis, se trata de disponer de una metodología estructurada de diseño de máquinas que guíe al equipo del proyecto a obtener diseños apropiados. Seguir esta metodología de forma sistematizada ha de asegurar la realización de todos los pasos necesarios sin la necesidad de que el diseñador sea experto en diseños apropiados, lo cual garantiza buenos resultados. También ha de permitir no tener que repensar y listar todos los pasos o consideraciones en cada caso de diseño, lo cual facilita el trabajo.

La estructura de esta metodología, además, ha de ser generalizable y aplicable a otros ámbitos. Primero, la propuesta aquí presentada, se ha desarrollado principalmente para máquinas agrícolas, pero, como se verá, se ha desarrollado para que sea fácilmente adaptable a otros tipos de máquinas y ha de ser una base metodológica para aplicar a otros desarrollos tecnológicos. Por otra parte, esta

metodología se ha planteado para el ámbito de las tecnologías apropiadas en contextos en desarrollo, pero también sería adaptable y es extrapolable a cualquier contexto.

En resumen, en este trabajo se desarrolla una propuesta metodológica a aplicar principalmente para el diseño de máquinas agrícolas en contextos en desarrollo, pero a la vez puede ser la base y puede adaptarse a otras aplicaciones. En definitiva, esta tesis propone una base metodológica que se puede generalizar para aplicarse a cualquier tipo de máquina en cualquier ámbito y contexto, que incluya a los usuarios y su contexto en el desarrollo de equipos o tecnología en general.

1.3. Estructura de la tesis

La presente tesis doctoral se estructura de la siguiente forma:

- **Estado del arte**

Búsqueda y exposición de las referencias bibliográficas existentes relacionadas con los temas de interés. La necesidad de implementar una metodología específica para el diseño de máquinas apropiadas a comunidades en desarrollo focaliza la investigación en:

- tecnologías apropiadas, características y ejemplos;
- metodologías de diseño de máquinas, con especial atención en las metodologías de fases;
- metodologías de diseño aplicadas a tecnologías apropiadas.

Se estudian las limitaciones sobre el diseño de tecnologías apropiadas en base a ejemplos de proyectos de este tipo referenciadas en la bibliografía y, finalmente, se realiza un análisis de global del estado del arte.

- **Análisis de casos prácticos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas**

Se exponen en detalle dos proyectos de diseño de máquinas apropiadas en los que ha participado la autora como ingeniera de diseño y el Centre de Disseny d'Equips Industrials de la Universitat Politècnica de Catalunya (CDEI-UPC) en colaboración con ONG y entidades de cooperación y desarrollo (teleférico de productos agrícolas en Nepal y deshojadora de maíz en Ecuador). Se analiza el proceso de diseño llevado a cabo y se revisa el tratamiento de la información de los dos contextos y cómo afectó a la elaboración de las especificaciones en ambos casos.

- **Desarrollo de la propuesta metodológica de diseño de máquinas apropiadas**

El análisis de la bibliografía y de los casos prácticos justifica la necesidad de la propuesta metodológica y permite definir las bases de la metodología que se describe en este capítulo. Se establece la relación entre contexto y definición de máquina en el proceso de diseño de máquinas apropiadas y, finalmente, se desarrolla en profundidad la lista de referencia del contexto que ha de servir como herramienta para llevar a cabo la etapa de análisis del contexto, previa a la definición de máquina.

- **Aplicación de la metodología de diseño de máquinas apropiadas**

Se aplica la metodología propuesta a los dos casos descritos anteriormente y a dos nuevos casos concretos de diseño de máquinas apropiadas: una máquina para triturar residuos agrícolas y otra para pelar cañas. Se analizan los resultados y se contrastan con los obtenidos previamente. En el caso de la trituradora se realiza el diseño completo del equipo incluyendo la nueva etapa propuesta y se comparan los diseños entre diferentes contextos para el caso de la peladora de cañas.

- **Conclusiones**

Se plantean las conclusiones de la tesis respecto a la metodología desarrollada y se proponen aspectos para futuras investigaciones.

1.4. Metodología seguida

Para la elaboración de esta tesis se ha contado con los medios y la infraestructura del Centro de Diseño de Equipos Industriales (CDEI-UPC) y del Departamento de Ingeniería de Máquinas (DEM) así como con el soporte del Centro de Cooperación para el Desarrollo, de la Universitat Politècnica de Catalunya. Tanto el DEM como el CDEI-UPC cuentan con una amplia experiencia en diseño de máquinas y desarrollo de equipos industriales. La autora desarrolla su actividad principal como jefe de proyectos del CDEI-UPC, ejecutando proyectos de diseño de equipos en todas sus etapas, desde la concepción hasta a la gestión del prototipado y el ensayo. En el ámbito de tecnologías apropiadas el CDEI-UPC ha desarrollado diversos proyectos en comunidades en desarrollo, en los que la autora ha participado, que han originado la motivación de esta investigación y posibilitado la obtención de datos, corroborar y aplicar la metodología.

El trabajo descrito en esta tesis se ha desarrollado, por una parte, en Barcelona (CDEI-UPC) y, por otra, durante los viajes sobre el terreno a los países donde se han llevado a cabo los proyectos de diseño de máquinas agrícolas. Estos casos reales de diseño han servido como punto de partida y para la validación de la propuesta metodológica que se desarrolla en esta tesis.

Los viajes a los países de destino han servido para:

- identificar las necesidades de los agricultores,
- recoger información sobre los procesos, los productos y el contexto
- validar los diseños y la metodología seguida

En concreto, la autora ha realizado los siguientes desplazamientos, gracias al soporte de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y del CCD-UPC:

- Año 2012: estancia en Ecuador durante el mes de enero y febrero. Visita a diferentes comunidades e instituciones agrícolas de la Sierra de Ecuador: provincias de Pichincha, Santo Domingo, Cotopaxi y Tungurahua. Se realiza una prospección para establecer qué máquina sería la más adecuada diseñar según las necesidades y solicitudes de los propios campesinos mediante visitas, entrevistas y cuestionarios.
- Año 2013: estancia en Quito (Ecuador) durante el mes de julio. Se realiza el seguimiento final de la fabricación del equipo en un taller de Quito (máquina deshojadora, ver apartado 3.2), puesta en marcha y entrega a los usuarios.
- Año 2016: estancia en Loja (Ecuador) durante el mes de enero. Se realiza la detección de necesidades de los agricultores respecto a sus procesos agrícolas y las máquinas disponibles en diferentes comunidades de la provincia de Loja. Obtención de toda la información necesaria para llevar a cabo el diseño. Se determina la máquina a diseñar (tritadora de residuos agrícolas, ver apartado 5.3).
- Año 2017: estancia en Loja (Ecuador) durante del mes de septiembre Se realiza el seguimiento final de la fabricación del equipo en un taller de Loja, su puesta en marcha, y la entrega a los usuarios. Se recoge la respuesta y las sugerencias de los agricultores respecto al funcionamiento de la máquina y nuevas necesidades. Se valida con este diseño la metodología seguida.

El trabajo llevado a cabo durante estos mismos años desde Barcelona ha sido:

- realización de los diseños de los proyectos iniciales (deshojadora), elaboración de planos y envío a las zonas de destino para su fabricación (Nepal y Ecuador);
- detección de la necesidad de una metodología concreta para el diseño de máquinas apropiadas;
- análisis de los proyectos de diseño llevados a cabo en comunidades en desarrollo y planteamiento de la metodología de diseño de máquinas apropiadas (teleférico y deshojadora);
- diseño de un equipo (tritadora de residuos agrícolas) en base a la metodología propuesta para su validación; elaboración de planos y envío a la zona de destino para su fabricación (Ecuador);
- diseño de un prototipo y diseño conceptual de un nuevo equipo (peladora de cañas) siguiendo la metodología propuesta para su validación.

Esta metodología de trabajo ha permitido a la autora tener inputs de todas las fases del diseño, desde el nacimiento de la idea, pasando por el desarrollo del concepto, hasta las pruebas de campo. Su participación activa en el diseño de las máquinas ha permitido detectar y validar qué aspectos son esenciales y útiles para el proceso de diseño y qué información debía recoger la metodología propuesta para asegurar un buen resultado.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta el resultado del análisis bibliográfico sobre los temas principales de la investigación:

1. **Tecnologías apropiadas:** se analiza la literatura referente a tecnologías apropiadas con el fin de estudiar sus definiciones, características básicas y el desarrollo de diferentes proyectos de estas tecnologías;
2. **Metodologías de diseño de máquinas:** se estudian las diferentes metodologías utilizadas en el campo de la ingeniería mecánica, su estructura y su aplicación, y se analizan las metodologías que se han utilizado en proyectos de tecnologías apropiadas según la bibliografía.
3. **Limitaciones en el diseño de tecnologías apropiadas:** se referencian los factores de éxito y fracaso de los proyectos de tecnologías apropiadas mencionados en la literatura y se describen las limitaciones de estos proyectos con ejemplos no exitosos de estas tecnologías.

Finalmente, se realiza un análisis sobre la literatura estudiada en estos temas focalizado en las barreras y malas prácticas que contribuyen al fracaso de proyectos de tecnologías apropiadas y retos asociados para evitarlo.

2.1. Tecnologías apropiadas

2.1.1. Inicio y evolución de las tecnologías apropiadas

En la década de los 70 del siglo pasado, y como reacción al acelerado desarrollo industrial que se estaba llevando a cabo desde los años 50, surgieron diferentes voces que defendían un modelo de diseño y desarrollo diferente de los productos y servicios. En 1970, a petición de la oficina de Ciencia y Tecnología de la ONU, un grupo de académicos del SPRU (*Science and Technology Policy Research Unit* de la Universidad de Sussex) y del IDS (*Institute of Development Studies*) de la Universidad de Sussex, redactó el que se conoció como *Manifiesto Sussex*. Este documento cambió la forma de pensar sobre Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, presentando un enfoque sistemático sobre la temática e incorporando la reflexión sobre problemas ambientales y de desarrollo (Kaplinsky, 2011). También a principio de los años 70, Victor Papanek, un diseñador industrial, publicaba su libro *Design for the real world* (Papanek, 1972) donde hacía una dura crítica a las repercusiones sociales y ecológicas del diseño industrial que se realizaba en los Estados Unidos en aquellos años. Para combatir esta tendencia destructiva, el autor ofrecía ideas fundamentales sobre el diseño social, moral y ambientalmente responsable, así como ideas para lograr esos objetivos. Y paralelamente, en 1973, coincidiendo con la crisis del petróleo y la aparición de la globalización, el economista alemán E. F. Schumacher, influenciado por las ideas de Gandhi, publica su obra *Small is beautiful: economics as if people mattered* (en la traducción española, *Lo pequeño es hermoso*, 1978). En su trabajo (Schumacher, 1978) propone el desarrollo económico y social de las áreas rurales, evitando las grandes migraciones a las ciudades y creando una industria “a escala” que fuese:

- poco intensiva en capital;
- que priorizase las oportunidades de empleo antes que la productividad;
- que no despreciase la capacidad productiva de los sectores tradicionales;
- orientada a la resolución de problemas locales;
- que no generase dependencias externas debido a su complejidad o requerimientos técnicos;
- que utilizase materias primas y recursos humanos disponibles.

La apuesta por crear empleo antes que por generar una industria muy productiva entraba en fuerte contradicción con el pensamiento económico del momento. Schumacher acuña en este libro el término *tecnologías intermedias* que define así:

*“(…) Yo la he denominado **tecnología intermedia** para dar a entender que es muy superior a la tecnología primitiva de épocas pasadas. Pero al mismo tiempo mucho más simple, más barata y más libre que la súper-tecnología de los ricos. Se podría llamar también tecnología de la autoayuda, tecnología democrática o tecnología del pueblo. Una tecnología a la cual todo el mundo puede tener acceso y que no está reservada solo para aquellos que ya son ricos y poderosos.”*

Nace así el movimiento de las tecnologías intermedias, entre otras corrientes alternativas de la época, que se distinguían por dos características concretas (Thomas, 2009):

- se basaban en tecnologías industriales maduras;

- se trataba de tecnologías intensivas en mano de obra dirigidas a la solución del problema de desempleo en los países en desarrollo, orientadas a satisfacer los mercados de consumo locales.

En 1965, siguiendo las líneas que plasmaría después en su libro, Schumacher había cofundado el *Intermediate Technology Development Group* (ITDG) que en 2005 cambió su nombre a *Practical Action* (“History. From Intermediate Technology to Practical Action,” 2016). Desde entonces la misión de esta Organización No Gubernamental (ONG) es usar la tecnología para erradicar la pobreza desarrollando las capacidades de las personas, mejorando su acceso a opciones técnicas y al conocimiento, y trabajando con la población pobre para influir en los sistemas sociales, económicos e institucionales que favorezcan la innovación y la tecnología (“Quiénes somos. Misión,” 2013).

Posteriormente, el término *tecnología intermedia* fue puesto en cuestión porque sugería una tecnología inferior o de segunda categoría, porque implicaba una solución tecnológica a los problemas de desarrollo, separada de los factores sociales y políticos involucrados (Bowonder, 1979; Hollick, 1982; Kaplinsky, 2011). En una conferencia de ITDG esta denominación fue sustituida por la de *tecnologías apropiadas* y el ITDG tituló *Appropriate Technologies* a su publicación principal (Hollick, 1982). Desde entonces el término tecnologías apropiadas (AT) es el más utilizado para referirse al movimiento iniciado por Schumacher.

El término y el cambio de paradigma propuesto por Schumacher tuvieron desde el inicio numerosos seguidores y hoy en día se mantiene su filosofía básica en determinados ámbitos. Aun así, este paradigma lleva implícitos una serie de aspectos y opiniones desfavorables sobre los que algunos autores han reflexionado:

- el propio término implica que hay tecnologías inapropiadas (Jequier, 1976);
- la solución a una economía pobre excedente en mano de obra no siempre ha de ser intensiva en mano de obra y un bien apropiado no siempre es un bien básico (Ranis, 1980);
- son tecnologías ineficientes, no afines al crecimiento y a la mejora de la calidad de vida (Akubue, 2000);
- se basan en tendencias románticas, utópicas y anti-modernistas que generan el desarrollo de un mercado de tecnologías disociado para los países en desarrollo (Rybczynski, 1980; Thomas, 2009);
- promueve un enfoque paternalista hacia las sociedades en desarrollo y permite el dominio socioeconómico de los países desarrollados (Akubue, 2000; Thomas, 2009);

En este sentido, muchos otros autores que pueden encontrarse en la bibliografía referente a este tema entienden y utilizan en sus proyectos el concepto de tecnologías apropiadas como tecnologías integradas en las comunidades en desarrollo, destinadas a mejorar las condiciones de vida de estas comunidades, no como tecnologías exportadas a estos países, ni con una visión de dependencia, paternalista o utópica (Amiolemen, Ologeh, & Ogidan, 2012; Andersen & Kim, 2011; Bauer & Brown, 2014; Buitenhuis, Zelenika, & Pearce, 2010; Fisher, 2006; Kuhr et al., 2013; Murphy, McBean, & Farahbakhsh, 2009; Nieuwsma & Riley, 2010; J. M. Pearce, 2012; Polak, 2008; Corinthias Pamatang Morgana Sianipar, Dowaki, Yudoko, & Adhiutama, 2013a; Wasley, Lewis, & Mattson, 2012; R. C.

Wicklein, 1998; Zelenika & Pearce, 2011, etc.). En este sentido, es interesante ver como algunos autores plantean, ya desde los años 70, el tema de la adecuación de la tecnología a diferentes países:

“(...) la adecuación no reside en la propia tecnología o diseño concreto sino en los criterios de evaluación en que se basa su desarrollo y aplicación. (...) Por ejemplo, una empresa de producción de acero trabajando a su máxima capacidad, puede ser muy eficiente y adecuada a nivel de producción interna, pero externamente inapropiada por la energía o los materiales disponibles en el país donde se localiza, la mano de obra disponible, etc.” (Hollick, 1982; Jequier, 1976).

En la misma línea de las tecnologías apropiadas, Fernández-Baldor et al. (2012) propone el término *Technologies for Freedom*. Esta perspectiva aplica el foco en las capacidades de las personas y propone una visión de la tecnología que refuerce sobre todo el papel que ésta puede jugar a la hora de ampliar las capacidades de las personas, la autonomía, la habilidad de ayudarse a sí mismas e influir en los procesos de cambio que consideran importantes.

Como puede verse, desde los años 70 diferentes voces dentro del ámbito de la tecnología han abogado por lo que podría llamarse un *diseño social*, que cubriría tanto las necesidades de los países en desarrollo como las de los discapacitados, ancianos o pobres de cualquier contexto. En este modelo social, los ingenieros tendrían una responsabilidad para mejorar las condiciones de vida de estos colectivos y deberían trabajar en colaboración con otros profesionales (sociólogos, psicólogos, educadores, etc.) (Margolin & Margolin, 2002).

2.1.2. Definición y conceptos derivados de las tecnologías apropiadas

No existe una única definición para el concepto tecnologías apropiadas y el término sirve de paraguas para un amplio abanico de denominaciones de este tipo de tecnologías: tecnologías alternativas, tecnologías adaptadas, tecnologías para la comunidad o para las personas, tecnologías democráticas, tecnologías sociales, tecnologías blandas o ligeras, etc. La definición que da el Merriam-Webster Dictionary (en español no hay una definición disponible) es:

“Technology that is suitable to the social and economic conditions of the geographic area in which it is to be applied, is environmentally sound, and promotes self-sufficiency on the part of those using it.”

Analizando la literatura sobre el tema, diversos autores han definido desde su inicio las tecnologías apropiadas aportando matices que ayudan a su mejor comprensión:

- Dunn (1978) las definía como un enfoque completo de sistemas para el desarrollo autoadaptativo y dinámico, porque a medida que los usuarios incrementan sus recursos y capacidades, pueden permitirse adquirir y utilizar medios técnicos más caros.
- Pellegrini (1979) sugería que una tecnología debe ser considerada apropiada cuando su introducción en una comunidad crea un proceso de auto-refuerzo interno en la propia comunidad que ayuda a soportar el crecimiento de las actividades locales y el desarrollo de las capacidades locales (Akubue, 2000).
- Akubue (2000) define tecnología apropiada como un enfoque para el desarrollo que no solo enfatiza en la creación de puestos de trabajo y en el uso optimizado de recursos y

capacidades, sino que también trabaja sobre los recursos y las capacidades para mejorar la capacidad productiva de la comunidad.

- Murphy et al. (2009) definen las tecnologías apropiadas como una estrategia que permite a hombres y mujeres salir de la pobreza y mejorar su situación económica, satisfaciendo sus necesidades básicas, mediante el desarrollo de sus propias habilidades y capacidades y haciendo uso de los recursos disponibles de una manera ambientalmente sostenible. Esta autora propone un nuevo término más amplio y flexible que el de tecnologías apropiadas: innovación colaborativa.
- Witherspoon & Harris (2011) utilizan el término *contextually appropriate technology* y lo definen como *“technology solutions that truly make sense, that function as intended in a particular environment, that are operable and maintainable by the recipients, and so provide a genuinely useful service”*.

Como vemos, el término se ha ido transformando en numerosas ocasiones hasta día de hoy en que diferentes términos se superponen y comparten definiciones: ingeniería para el desarrollo, ingeniería humanitaria, ingeniería social, diseño para el desarrollo, etc.

Todas estas definiciones citadas enmarcan las tecnologías apropiadas dentro de contextos en desarrollo. Sorlini et al. (2015) añaden un matiz a estas definiciones y abren su campo de aplicación a los países desarrollados: *“AT is not a prerogative of developing countries because it plays a critical role in building sustainable communities in both southern and northern countries.”*

2.1.3. Características de las tecnologías apropiadas

La dificultad de dar una definición concreta que resuma y contemple la amplitud del concepto ha llevado a numerosos autores a definir las características o criterios que debe cumplir una tecnología para definirla como apropiada. Así, Thormann (1979), apuntaba que, en términos de recursos disponibles, las tecnologías apropiadas eran intensivas en el uso de los factores abundantes (mano de obra), económicas en el uso de los factores escasos (capital y personal altamente capacitado) e intensivas en el uso de insumos de producción nacional. En términos de pequeñas unidades de producción, las tecnologías apropiadas son de pequeña escala pero eficientes, replicables en numerosas unidades, fácilmente operadas, mantenidas y reparadas, de bajo coste y accesibles para las personas de bajos ingresos. En cuanto a las personas que las utilizan o se benefician de ellas, las tecnologías apropiadas buscan ser compatibles con los entornos culturales y sociales locales (Akubue, 2000).

Los criterios y características principales encontrados en la literatura que identifican una tecnología como apropiada se han resumido cronológicamente en la Tabla 2.1 y clasificado por categorías de aspectos. En ella se contemplan los trabajos de Teitel (1978), Bowonder (1979), Jequier & Blanc (1983), Wicklein (R. Wicklein, 2004; R. C. Wicklein, 1998), Akubue (2000), Fisher (2006) y Murphy et al. (2009). Los estudios de Teitel, Bowonder, Jequier & Blanc y Akubue, así como de otros autores posteriores (Bruun et al., 1996; Hyman, 1987; Mefford et al., 1998) están orientados a la adecuación y la transferencia de tecnologías de producción a gran escala desde multinacionales de los países desarrollados a países en desarrollo (principalmente de la industria de la automoción, farmacéutica, metalúrgica o química). Aunque su enfoque de desarrollo de la comunidad es diferente de la que se

CARACTERÍSTICAS DE UNA TECNOLOGÍA APROPIADA							
	Teitel (1978)	Bowonder (1979)	Jequier & Blanc (1983)	Wicklein (2004; 1998)	Akubue (2000)	Fisher (2006)	Murphy et al. (2009)
ASPECTOS TÉCNICOS		<ul style="list-style-type: none"> - adaptable a diferentes localizaciones 		<ul style="list-style-type: none"> - imagen de modernidad - multifuncional - alta capacidad de evolución 	<ul style="list-style-type: none"> - compatible con infraestructura existente 	<ul style="list-style-type: none"> - diseño ergonómico - resistente y duradero, baja probabilidad de fallo 	<ul style="list-style-type: none"> - cumple las necesidades básicas de los usuarios - cumple los requisitos técnicos deseados - flexible, adaptable a diferentes lugares y circunstancias
ASPECTOS PRODUCTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> - contempla las necesidades y preferencias de los mercados locales y consumidores - no impacta negativamente en la industria local - escalada al mercado local 	<ul style="list-style-type: none"> - alta productividad - capacidad de adaptación a producción a baja escala - capacidad de contribuir a más de un sector (agricultura, energía, transporte, alimentación, etc.) 		<ul style="list-style-type: none"> - elevado riesgo y muchos factores de fracaso 	<ul style="list-style-type: none"> - diseñada a pequeña escala 		
COSTE	<ul style="list-style-type: none"> - la transferencia de la tecnología es barata 	<ul style="list-style-type: none"> - bajo coste 	<ul style="list-style-type: none"> - baja inversión por puesto de trabajo - baja inversión por unidad producida - bajo coste del producto final 	<ul style="list-style-type: none"> - bajo coste 	<ul style="list-style-type: none"> - bajo coste, asequible 	<ul style="list-style-type: none"> - bajo coste, asequible para la comunidad 	<ul style="list-style-type: none"> - asequible
MATERIALES Y RECURSOS	<ul style="list-style-type: none"> - no basada en el uso de materiales importados, si en los disponibles localmente - no usa bienes de equipo importados - usa pocos recursos energéticos o disponibles abundantemente 	<ul style="list-style-type: none"> - uso de materiales locales disponibles - baja necesidad de importación - bajo consumo energético 	<ul style="list-style-type: none"> - uso racional de los recursos naturales locales 	<ul style="list-style-type: none"> - funcionamiento independiente de otros sistemas de apoyo 	<ul style="list-style-type: none"> - utilización racional de los recursos locales eficiente en el uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> - fabricable localmente 	<ul style="list-style-type: none"> - utiliza materiales y recursos locales

Tabla 2.1. Características de una tecnología apropiada según diferentes autores.

Fuente: elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS DE UNA TECNOLOGÍA APROPIADA (cont.)							
	Teitel (1978)	Bowonder (1979)	Jequier & Blanc (1983)	Wicklein (2004; 1998)	Akubue (2000)	Fisher (2006)	Murphy et al. (2009)
ASPECTOS SOCIO-CULTURALES	- no se necesitan capacidades y habilidades especiales o se pueden aprender en poco tiempo	- adaptada a las condiciones y capacidades rurales - conservación de las condiciones socioculturales - promoción de estructuras participativas	- adaptabilidad al contexto social y cultural	contempla estándares sociales y culturales		- culturalmente aceptable	- cultural y socialmente apropiada - potencia la participación local - contribuye a la participación de las mujeres
USO Y MANTENIMIENTO		- fácil manejo - bajo mantenimiento - disponibilidad de componentes	- simplicidad de organización		- fácil de mantener	- fácil de transportar y almacenar (pequeño, ligero, desmontable) - fácil de instalar - fácil de usar	- localmente sostenible (usada, controlada, mantenida por la comunidad)
MEDIOAMBIENTE	- no contamina el ambiente	- ecológicamente sostenible - reutilización de productos de deshecho			- utilización de fuentes de energía renovables - eficiente ambientalmente	- energéticamente eficiente - ambientalmente sostenible	- ambientalmente sostenible
MANO DE OBRA	- usa mano de obra local	- alta necesidad de mano de obra	- alto potencial de empleo		- capacidad de creación de puestos de trabajo	-	-

Tabla 2.1 (cont). Características de una tecnología apropiada según diferentes autores.
Fuente: elaboración propia.

da en esta tesis a las tecnologías apropiadas, se ha considerado que sus conclusiones y criterios para la identificación de una tecnología apropiada son útiles para este estudio (uso de mano de obra, materiales y recursos energéticos locales). Por su parte, Wicklein, Fisher y Murphy coinciden más en el tratamiento del concepto actual de tecnologías apropiadas y sus enfoques están más en consonancia con la orientación de esta tesis. A pesar de estas diferencias en la perspectiva y tratamiento del término, se observa que la mayoría de autores coinciden en una serie de características que ha de cumplir una tecnología apropiada: la asequibilidad de la tecnología, la adecuación a los estándares sociales y culturales de la comunidad y el uso racional de los recursos locales (materiales, energéticos y humanos).

Por su parte, Dunmade (2002) introduce otra característica importante de las tecnologías apropiadas: el concepto de sostenibilidad no sólo desde el punto de vista ambiental de una tecnología apropiada en países en desarrollo. Según su punto de vista, la adaptabilidad de una tecnología se basa principalmente en su sostenibilidad técnica, económica y socio-política además de la ambiental (Figura 2.1). Este autor clasifica en estos cuatro ámbitos los aspectos que condicionan la adaptabilidad de una tecnología que utilizan más adelante otros autores, como Sianipar et al. (2013).

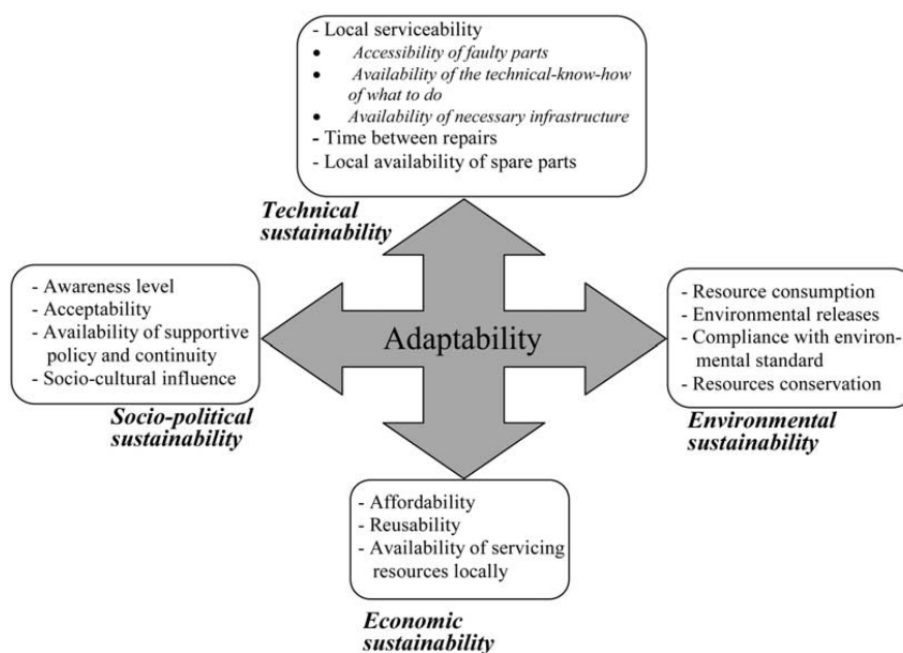


Figura 2.1. Indicadores de sostenibilidad de una tecnología en países en desarrollo.

Fuente: Dunmade, 2002.

Sianipar et al. (2013) hacen una clasificación de los criterios de Wicklein (R. C. Wicklein, 1998) y Dunmade teniendo en cuenta su naturaleza tangible, intangible o intermedia y a quiénes involucra (ingenieros, gobierno y comunidad) (Figura 2.2.a). Según esta clasificación, se definen tres niveles de idoneidad de una tecnología (Figura 2.2.b): básica, ambientalmente apropiada y socialmente apropiada. Este tercer nivel de apropiación asegura la sostenibilidad y la supervivencia de la tecnología en la comunidad.

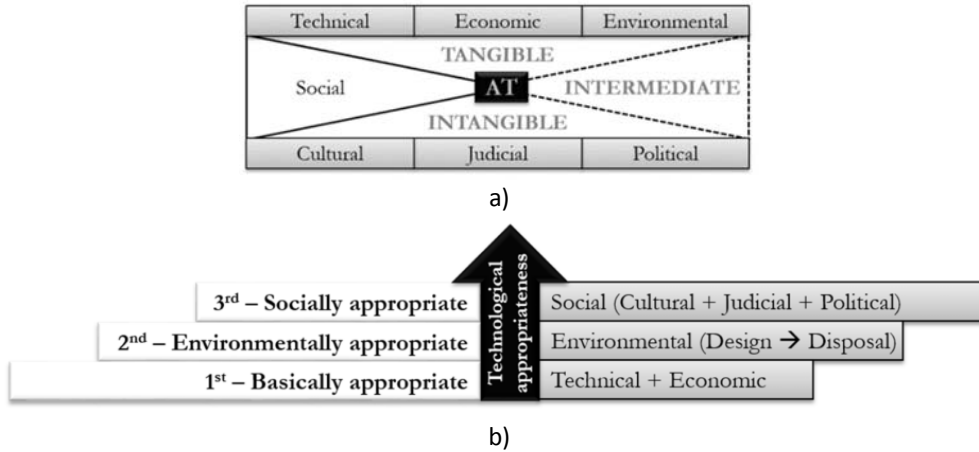


Figura 2.2. Aspectos fundamentales de las AT (a) y niveles de apropiatividad de una AT.

Fuente: Sianipar et al., 2013.

Finalmente, Bauer & Brown (2014) realizan un análisis de la bibliografía existente sobre indicadores de idoneidad de tecnologías apropiadas (53 artículos, libros y conferencias) y elaboran un gráfico de indicadores ordenados por su frecuencia de aparición en la bibliografía (Figura 2.3).

El factor más citado es la aportación de la comunidad. Este indicador resumiría y englobaría todas las actividades enfocadas a obtener información sobre las necesidades de la comunidad, donde el autor incluye intermediarios, usuarios y/o personas locales. El segundo indicador más citado, lejos del tercero, es la asequibilidad de la tecnología, donde estaría contemplado el coste. A continuación, se encuentran una serie de factores con frecuencias de aparición similares que se podrían englobar en aspectos técnicos (conocimientos, habilidades y realimentación de los usuarios durante el uso de la tecnología, autonomía, materias primas, simplicidad), aspectos sociales (control de la comunidad, cultura y sociedad, aceptación) y económicos (escalada a las condiciones locales, intensiva en mano de obra, generadora de puestos de trabajo).

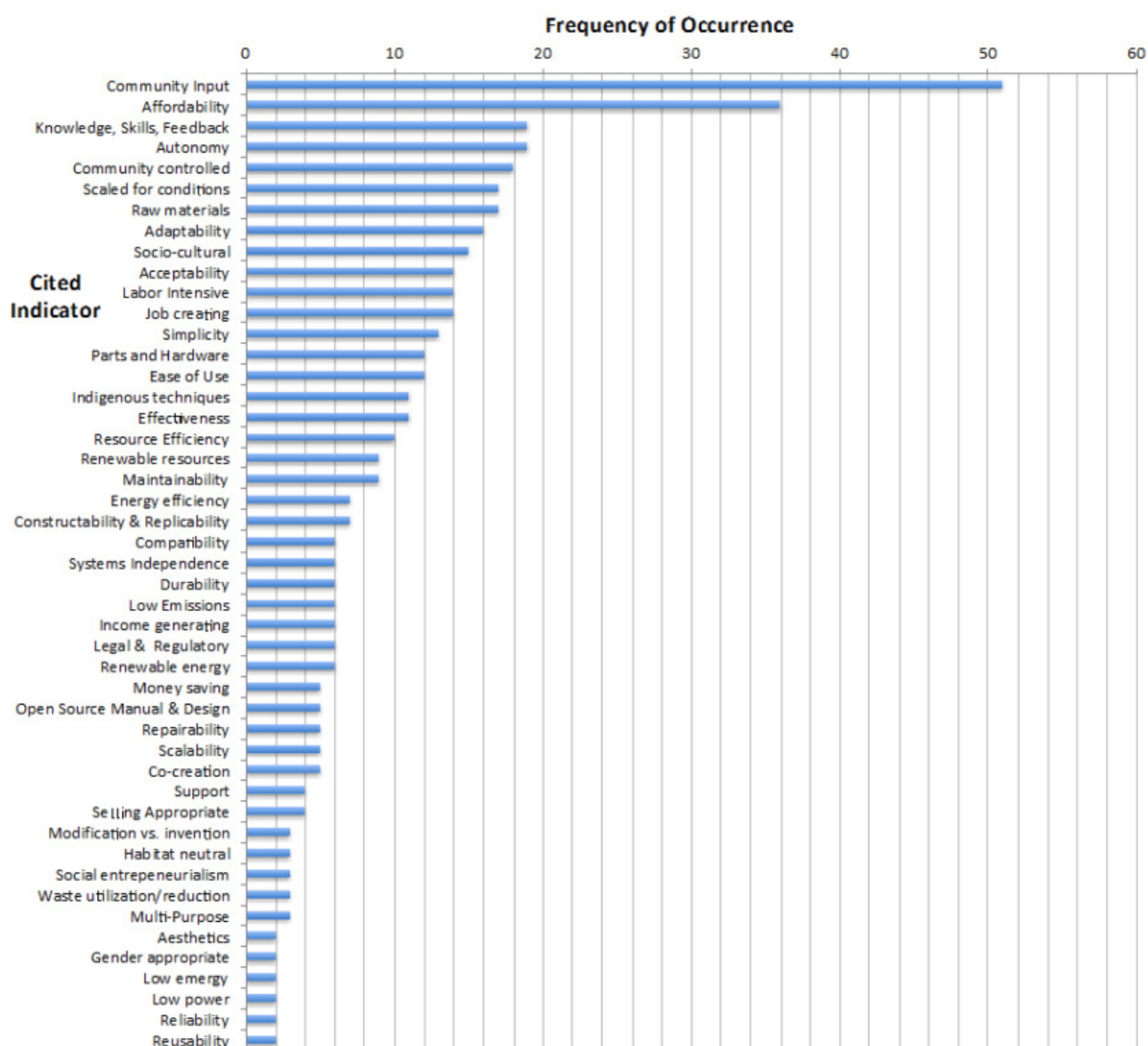


Figura 2.3. Indicadores de idoneidad vs frecuencia de aparición en la bibliografía.

Fuente: Bauer & Brown, 2014.

2.1.4. Ejemplos de tecnologías apropiadas

La literatura contempla numerosos ejemplos de proyectos de tecnologías apropiadas llevados a cabo en diferentes países. En general, la mayoría de los autores describen las decisiones previas, el diseño y los cálculos realizados para la ejecución del proyecto (máquina o equipo) y algunos describen su implementación, implantación y el funcionamiento final de la tecnología (habitualmente prototipo). Sin embargo en pocos casos se describe el contexto de la comunidad en la que se implementará la tecnología o la sostenibilidad a medio o largo plazo de los proyectos. Entre los artículos publicados sobre aplicación de este tipo de tecnologías destacan los siguientes ejemplos por contener algún aspecto diferenciado del resto y relevante para el tema de esta tesis:

- Grover, Mishra, & Clancy (1994) y Mazzù (2007, 2010) describen tecnologías apropiadas para la obtención de briquetas a partir de biomasa en países en desarrollo. Grover muestra el diseño de una prensa de husillo en India. Se analizan los tipos de tecnologías disponibles para

la compactación y se selecciona la más apropiada para el contexto de la zona. Se tiene en cuenta la disponibilidad de fabricación y mantenimiento locales, las mejoras técnicas para reducir el coste, el mantenimiento y el consumo energético con el objetivo de popularizar la tecnología en el país. Mazzù describe el diseño de una prensa briquetadora de tracción animal y otra manual. Se detallan los mecanismos diseñados, los cálculos realizados y los ensayos llevados a cabo, así como la instalación de ambos prototipos en Senegal, Burundi y Chad, con resultados satisfactorios. No se hace referencia a un análisis del contexto a donde se destinará el equipo, ni se detalla la metodología del proceso de diseño. Los inconvenientes finales que apuntan los autores en ambas máquinas son el elevado coste y la dificultad de fabricación de algunas piezas en la zona de destino.

- Murcott (2007) muestra el éxito de la aplicación de su propuesta metodológica para proyectos de desarrollo (ver apartado 2.2.3). En su trabajo describe el diseño y la implementación de un innovador filtro doméstico de agua para la eliminación de arsénico y microbios en áreas rurales de Nepal. Acorde con su propuesta metodológica, plantea unas breves especificaciones de diseño que contemplan algunos aspectos del contexto:
 - Design a household drinking water treatment unit to remove arsenic and pathogens.
 - Technical Performance: remove arsenic, bacteria and parasites to Nepali National Standards or WHO Guideline values.
 - Water Quantity: the flow rate should be >10 L/hour.
 - Cost: the cost/unit should be <\$30, and yearly replacement parts <\$2, designed for use by individuals in rural areas and urban slums who earn <\$1/day.
 - Manufacturing: to be produced by local people, using locally available materials, creating local jobs.
 - User friendly: socially acceptable to women and children users.

Sin embargo, no se realiza un análisis del contexto para obtener información, por ejemplo, de los materiales o componentes disponibles localmente y algunos de los ocho prototipos han de importarse total o parcialmente de Estados Unidos. Finalmente, se distribuyen tres filtros y se prueban durante 12 meses. Se selecciona el más aceptado por los usuarios basándose en el bajo mantenimiento y la disponibilidad de recambios. El proyecto continuó con la implementación local de este filtro, la búsqueda de financiación para su distribución y la ejecución de programas de formación para el uso y mantenimiento del filtro.

- Bixler (2011) y Winter et al. (2012) dirigen el foco de sus proyectos de tecnologías apropiadas en la participación constante de los usuarios y/o *stakeholders*¹. Bixler describe el diseño en Honduras de un sistema doméstico de acuaponía autónomo, barato y sostenible que supone una fuente de alimento suplementaria para una familia. También muestra el caso de rediseño de una bomba manual en la República Centroafricana de la que no se disponía de

¹ Interlocutores del proyecto en el terreno, agentes implicados que articulan la relación entre todos los participantes del proyecto. Pueden ser usuarios, líderes comunitarios, voluntarios, colaboradores de ONGs, administraciones locales, etc.

recambios localmente. Estos casos de estudio se utilizan para formular las bases de una metodología que incluya a los usuarios finales como co-diseñadores (ver apartado 2.2.3). Por su parte, Winter et al. describen cómo se mejora el diseño inicial de una silla de ruedas propulsada mediante una palanca y adaptada a diferentes terrenos. La participación de usuarios de diferentes países (Tanzania, Uganda, Kenia, Guatemala e India) mejora progresivamente el diseño. Para estos autores, cuando se diseña una tecnología apropiada para países en desarrollo el equipo de diseño debe reconocer a los usuarios y otros *stakeholders* como colaboradores y darles la oportunidad de articular soluciones a sus problemas. Estos autores centran el diseño en las necesidades de los usuarios y en su colaboración pero no analizan el contexto general del proyecto para tener en cuenta, por ejemplo, la disponibilidad de materiales y componentes o las tecnologías disponibles.

- Vaccari et al. (2012) muestran el estudio llevado a cabo sobre cocinas de leña en el valle del río Logone, entre el Chad y Camerún. El artículo recoge datos sobre el contexto general de la zona (población, urbanización, porcentaje de pobreza, mortalidad, esperanza de vida, etc.) y acerca del acceso a la energía (electricidad y petróleo) y los combustibles usados para cocinar. Compara diferentes aspectos de dos tipos de cocinas de leña disponibles localmente para evaluar cuál de ellas, en combinación con el combustible apropiado, es la más adecuada para la difusión entre la población local: diseño, coste, pruebas de uso, combustible y energía utilizada en cada una, etc. En este caso, todas las pruebas del estudio se realizan localmente, con los materiales disponibles, sin embargo, no se realiza la consecución del proyecto para diseñar o mejorar estas cocinas. Los autores refieren la necesidad de ampliar el estudio para evaluar la apropiación y sostenibilidad de la solución propuesta considerando aspectos sociales, económicos, técnicos, ambientales y de salud.
- Banzaert & Winter (2013) detallan sus investigaciones y aplicación en Nicaragua sobre la viabilidad de un nuevo proceso de obtención de combustible para cocinar a partir de residuos agrícolas. Los autores describen el proceso utilizado para medir las emisiones de CO₂ sobre el terreno de diferentes combustibles y refieren las dificultades encontradas en esta fase: humedad, temperatura, carencia de energía eléctrica, dificultad de acceso a las zonas del proyecto, etc. Mencionan que, al integrar la investigación técnica de este nuevo combustible con el contexto social, fue posible una mejor optimización debido a los inputs recibidos sobre fabricación y proceso, sobre las expectativas del productor y las necesidades del usuario final, pero no se muestra un análisis explícito del contexto del proyecto.
- Kusakana (2014) muestra diferentes tecnologías innovadoras de micro-hidroelectricidad apropiadas para áreas rurales aisladas de Suráfrica que disponen de agua para la generación de electricidad. Tiene en cuenta principalmente el coste de las tecnologías y la capacidad de generación necesaria para estas comunidades concretas. Tampoco muestra un análisis del contexto en que se realiza el proyecto.
- Pérez et al. (2014) y A. M. Olaniyan et al. (2017) entre otros, centran sus estudios en la obtención de biogás (metano) a partir de residuos agrícolas y domésticos. Olaniyan describe el proceso diseño, cálculos, fabricación y pruebas de un reactor de biogás a partir de cáscara

de yuca y estiércol en Nigeria. La única referencia al contexto es que todos los materiales necesarios para su fabricación estaban disponibles localmente. Pérez explica las pruebas realizadas para comparar dos biodigestores domésticos seleccionados por estar adaptados a las condiciones de altitud a los Andes peruanos.

- Uddin et al. (2014) muestran un claro ejemplo de tecnología apropiada que requiere un gran conocimiento y análisis del contexto. Se trata de la implantación de urinarios secos, un sistema muy útil para el saneamiento de residuos humanos en países en desarrollo que sin embargo puede topar con el rechazo de la población (cuestiones religiosas, tabús, etc.) si no se implanta de forma apropiada y adaptada a las condiciones socio-culturales de cada contexto. En este proyecto se identifican los factores que influyen en la no aceptación de estos urinarios en comunidades musulmanas de Bangladesh y cómo pueden trabajarse: la viabilidad económica, la aceptación de los usuarios y la adecuación técnica (a niños, mujeres o ancianos, a áreas rurales, etc.) e institucional. No se trata el diseño de los urinarios sino únicamente el estudio de su implantación, por lo tanto, no se realiza una descripción de los aspectos técnicos del sistema ni de las restricciones que imponen el contexto sobre el diseño.
- Sorlini et al. (2015) realizan un estudio de las tecnologías apropiadas para el tratamiento de agua potable en los países del Mediterráneo ya que, según estos autores, no se pueden aplicar por igual las mismas tecnologías a todos los países o comunidades de la región mediterránea debido a las características específicas de cada contexto. Estas características deben analizarse cuidadosamente para desarrollar las tecnologías más apropiadas para cada zona. El documento presenta los principales procesos de tratamiento asociados con los principales contaminantes del agua, según la zona. También se analizan estudios de casos de plantas de tratamiento de agua potable, presentando tecnologías alternativas apropiadas para contextos específicos. Es un ejemplo de tecnología apropiada en países desarrollados.

En el ámbito agrícola existen numerosas referencias a proyectos sobre diseños de máquinas apropiadas en diferentes contextos:

- Fisher (2006), fundador de KickStar, una organización que promueve el crecimiento económico y la creación de empleo desarrollando e impulsando tecnologías apropiadas, describe su proyecto sobre el diseño de bombas para regar en Kenya. Estas bombas están diseñadas pensando en las necesidades de los agricultores keniatas más pobres: son de bajo coste, transportables, se actúan mediante pedal y pueden succionar y presurizar adecuadamente, en función del modelo, para salvar los desniveles de cada explotación. Con estas bombas los agricultores pueden acceder a las aguas subterráneas de sus tierras, regar sus cultivos y mejorar su producción y sus condiciones de vida. Contempla adecuadamente el contexto del proyecto pero no lo describe explícitamente en relación al diseño de las bombas.
- Weiss et al. (2006) detallan cómo se llevó a cabo el rediseño de una máquina trituradora del fruto del árbol del pan siguiendo los principios de DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) ya que el primer prototipo diseñado no se podía fabricar localmente debido a la no disponibilidad de algunos materiales y componentes. El objetivo es hacer la máquina más

sencilla de fabricar en un país en desarrollo (Haití), introducir materiales disponibles localmente, reducir el número de piezas, facilitar el uso, limpieza y mantenimiento y reducir el coste. Para ello, aparte de revisar el diseño, los autores realizan entrevistas a personal experto con el fin de obtener información del contexto sobre costes de materiales, disponibilidad de cada material, disponibilidad de procesos de fabricación, etc. Se muestran los resultados de reducción de tiempos y costes respecto al diseño inicial; la reducción principal se da en el coste total de la máquina. No se detalla la información recogida del contexto.

- Ogunidipe et al. (2011) describen el diseño de una prensa eléctrica de bajo coste, fabricada localmente, para la extracción de aceite (manteca) del cacao en Nigeria. Estos autores refieren que las prensas disponibles en Nigeria son importadas e incluyen tecnología sofisticada que las hace demasiado caras para el país. Así, se hace necesario el diseño de una máquina de bajo coste asequible para los hogares de Nigeria. No se hace una descripción del contexto en el que se ha de utilizar la máquina, pero citan los criterios de diseño que se han tenido en cuenta: bajo coste de mantenimiento, facilidad de operación, fácil fabricación, uso de materiales disponibles localmente, facilidad de montaje y desmontaje de componentes, rigidez, durabilidad y portabilidad.
- Aliu & Ebunilo (2012) describen el diseño de una máquina para romper la vaina del cacao e llechie et al. (2011) lo hacen de un molino a pequeña escala para el procesado del aceite de palma en Nigeria. Estos proyectos se desarrollan en los países de destino de estas tecnologías y los autores son conocedores de sus contextos pero no los describen explícitamente.
- Olaniyan & Babatunde (2012) detallan el diseño y la construcción de un pequeño extractor de jugo de caña de azúcar, adaptado a los pequeños agricultores de comunidades rurales de Nigeria. Se describe de forma breve la problemática del contexto relacionada con el procesamiento de la caña de azúcar pero no se explicita ordenadamente: pequeñas explotaciones, infraestructuras de transporte inadecuadas, falta de tecnologías apropiadas para el procesado a pequeña escala, falta de recambios y de capacidades técnicas de los operarios para las máquinas importadas disponibles. La máquina diseñada es de bajo coste, transportable, sin complejidad técnica y fácil de operar y mantener por los agricultores locales.
- Raichle et al. (2012) describen el diseño, la construcción e instalación en Nicaragua de un sencillo sistema hidráulico para actuar una máquina depulpadora de café. Explica el proceso de tratamiento del café y las características de operación del sistema. Aporta pocos datos del contexto donde se instala el sistema y no explica la metodología adoptada en el proceso de diseño. Indica que los materiales para su implementación son llevados a la zona en avión con lo que se deduce que no están disponibles localmente.
- Tekale et al. (2017) exponen el proceso de diseño y cálculo de un extractor de aceite del maní actuado mediante tracción humana para ser utilizado por pequeños agricultores en la India. Hacen referencia a la observación de las técnicas utilizadas por los agricultores para aplicarlas al diseño. El objetivo principal es diseñar una máquina de bajo coste, fácil de usar, fabricar y

mantener en las áreas rurales que satisfaga la necesidad de los usuarios de incrementar sus beneficios. Los autores conocen el contexto de destino ya que es el suyo propio pero no lo explicitan formalmente para su aplicación en el diseño.

- Yusuf et al. (2017) muestran el diseño y la evaluación de una prensa de tornillo manual para extraer aceite del maní y el anacardo en Nigeria. El trabajo se centra principalmente en optimizar las características del prensado. Como en el caso anterior, los autores conocen el contexto pero no dan referencias sobre él ni sobre el proceso de diseño.

2.2. Metodologías de diseño

Para centrar el estado del arte de las metodologías de diseño (y, en particular, en el diseño de bienes de equipo y máquinas) se hace necesario definir previamente términos como metodología, ingeniería, producto, máquina, diseño y el tratamiento que se les da en esta tesis:

- **Metodología:** hace referencia al estudio del conjunto de métodos utilizados en una determinada rama del pensamiento o de la actividad humana. Un método, como define Riba (2002), es una forma específica y ordenada de actividades para conseguir un determinado fin. En los años 50 y 60 del siglo pasado, a raíz del incremento de producción de las empresas y de la complejidad de los productos desarrollados, las tareas de diseño ganan atención y exigen mayores y más específicos conocimientos técnicos. Esto hace que se desarrollen metodologías generales de diseño que definan las tareas concretas del proceso de diseño en cualquier ámbito o disciplina.

Según Pahl & Beitz (2007), las metodologías de diseño en ingeniería son una secuencia concreta de acciones para el diseño de sistemas técnicos que derivan su conocimiento de la ciencia del diseño, de la psicología cognitiva y de la experiencia práctica en diferentes campos. Según estos autores, una metodología de diseño, entre otras características, debe:

1. ser aplicable a todo tipo de actividad de diseño, no importa de qué especialidad se trate;
 2. facilitar la búsqueda de soluciones óptimas;
 3. ser compatible con los conceptos, métodos y resultados de otras disciplinas;
 4. no confiar en la casualidad en la búsqueda de soluciones;
 5. facilitar la aplicación de soluciones conocidas a tareas relacionadas;
 6. ser sencilla;
 7. reducir la carga de trabajo, ahorrar tiempo y evitar el error humano;
 8. facilitar la planificación y la gestión del trabajo en equipo en un proceso de desarrollo de productos integrado e interdisciplinar.
- **Producto y servicio:** En términos generales, un producto es el resultado de cualquier actividad humana realizada de forma metódica cuyo objeto es resolver una necesidad (algunos autores usan el término *artefacto* como equivalente a *producto*). En sentido más restrictivo, se usa el término producto cuando el resultado es de naturaleza material (una barra de pan, una nevera, una máquina herramienta) y se denomina servicio cuando, en su totalidad o en parte, el resultado es de naturaleza inmaterial (educación, información).
 - **Bienes de equipo (y máquinas):** Los bienes de equipo son las instalaciones, las máquinas y los aparatos utilizados en los procesos de fabricación de productos o en la prestación de servicios. Las máquinas, en las cuales las funciones mecánicas (fuerzas y movimientos) son esenciales, destacan entre los bienes de equipo, especialmente en las actividades agrícolas.
 - **Ingeniería:** aplica los conocimientos científicos y técnicos a la resolución de problemas en el marco de unas restricciones y requisitos impuestos por los materiales, la tecnología, así como económicos, legales, ambientales y humanos.

- **Ingeniería de Diseño:** agrupa todas aquellas actividades que tienen por objeto la concepción y definición de un producto o servicio adecuado a las especificaciones y su concreción en todas aquellas determinaciones que permitan su posterior fabricación y utilización (Riba, 2002). Algunos autores definen la labor de los ingenieros de diseño como una actividad a caballo entre el arte, la ciencia, la tecnología y la sociología (Figura 2.4). Así, según Pahl & al. (2007), el diseño en ingeniería es una actividad multidisciplinar que afecta a casi todas las áreas de la vida humana y que requiere responsabilidad e integridad profesional.
- **Diseño de producto (o de máquinas, o de bien de equipo):** Aplicación de la ingeniería de diseño a un producto (por extensión, a una máquina; o a un bien de equipo). Es importante matizar que el resultado del diseño como respuesta a unas especificaciones no es único y, normalmente, pueden encontrarse diferentes soluciones válidas (diferentes variantes de producto). Se suele hablar de diseño concurrente cuando éste tiene en cuenta y optimiza todas las etapas del ciclo de vida del producto o servicio objeto de la definición y concreción.
- **Desarrollo de producto:** incluye una amplia variedad de actividades dirigidas a articular un negocio alrededor de un producto o un servicio: además del diseño propiamente dicho, estarían incluidos en este término la planificación, estudios de mercado, organización de actividades financieras, productivas y comerciales así como el lanzamiento, servicio post-venta o retirada (Riba, 2002). Este trabajo se centrará exclusivamente en el diseño de máquinas (como producto del diseño) y se diferenciará *diseño* de *desarrollo*.

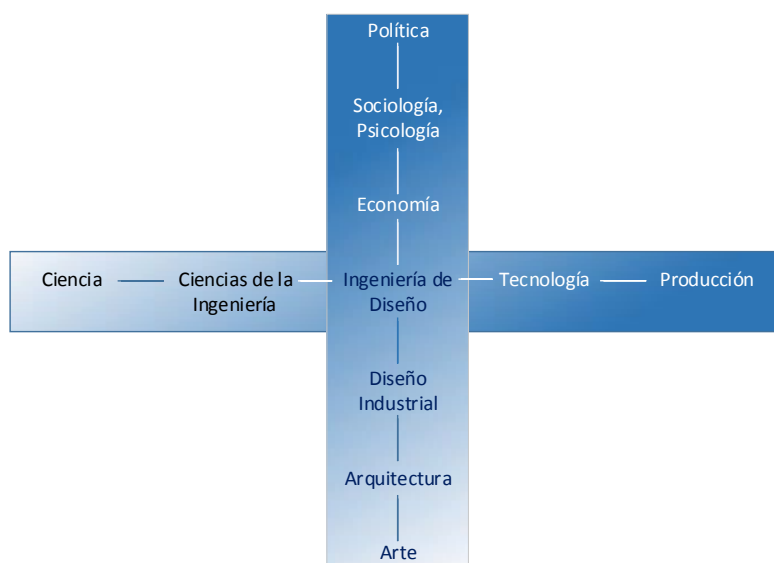


Figura 2.4. Actividad central de la Ingeniería de Diseño.

Fuente: Pahl et al., 2007.

2.2.1. Clasificación de las metodologías de diseño

Los diferentes enfoques dados a los métodos empleados en el proceso de diseño de máquinas han dado lugar a diferentes metodologías. Los autores Pahl & Beitz, en la última edición de su obra *Engineering Design* (2007, p. 20) muestran una exhaustiva clasificación cronológica de publicaciones sobre metodologías de diseño de máquinas sin agruparlas por tipología. Cross (2000) sí plantea una clasificación de estas metodologías según si el procedimiento es descriptivo o prescriptivo:

1. **Metodologías descriptivas:** responden a la pregunta *¿Qué hacer?* y describen simplemente la secuencia de actividades que típicamente ocurren en el diseño. Tienen un enfoque heurístico, es decir, se basan en la experiencia previa. No dan una pauta sistemática y cerrada sino reglas generales y buenas prácticas que conducen a lo que puede ser la solución correcta. Las metodologías propuestas por French (1997) y Nigel (1994) (Cross, 2000; Ferrer Real, 2007) están dentro de este grupo, así como la del ciclo básico de diseño de Roozenburg & Eekels (1995).
2. **Metodologías prescriptivas:** responden a la pregunta *¿Cómo hacerlo?* y recomiendan un patrón sistemático de actividades a realizar durante el proceso de diseño. Enfatizan en la necesidad de un trabajo más analítico que las anteriores para llegar a la generación de soluciones conceptuales. Hacen incidencia en la identificación y comprensión total del problema de diseño.

Más allá de si la metodología aplicada pertenece a uno u otro grupo, en la práctica se puede hablar de la filosofía o enfoque dado por el equipo de diseño al proyecto: enfoque descriptivo, más abierto a la espontaneidad y más flexible a la hora de seguir una pauta sistemática; enfoque prescriptivo, más pautado y secuencial en las actividades a seguir durante el diseño.

Dentro de las metodologías prescriptivas se diferencian dos tipos:

- 2.1. **Modelos de fases:** estructuran el proceso de diseño en etapas y la secuencia recomendada para llevarlas a cabo. En este grupo se encuentran las metodologías más conocidas como las propuestas por la norma alemana VDI 2222 o Pahl & Beitz en los 70, Ullman, Hubka & Eder o la VDI 2221 en los 80, Pugh en los 90 (Pahl et al., 2007) o Riba (2002). Los modelos propuestos por Otto y Wood (2001) y Ulrich y Eppinger (Ulrich & Eppinger, 2013) son modelos de fases orientados a desarrollo de producto.
- 2.2. **Modelos de producto (o artefacto):** Se centran básicamente en cómo evolucionar la información hasta obtener el diseño final. En este grupo se encuentra la técnica del Desarrollo de la Función de Calidad (QFD) y el modelo de Diseño Axiomático de Suh (1990, 2001)(Ferrer Real, 2007). Este último modelo se aleja de los modelos desarrollados hasta el momento y estructura el proceso en cuatro dominios. Se trata de métodos complejos y su uso a nivel práctico es bastante limitado (Ferrer Real, 2007).

En muchas ocasiones, se aplica una metodología de fases pero con un proceso de diseño muy flexible y, casi siempre, iterativo permitiendo volver atrás y revisar planteamientos previos de etapas anteriores. Por tanto, se está a medio camino entre las dos clasificaciones, tomando elementos de ambas.

Se describen a continuación las metodologías más destacadas de los métodos de fases por ser éstas las más utilizadas en la práctica diaria por los ingenieros de diseño de máquinas. Cabe destacar que estos modelos aquí descritos se centran en el diseño del producto y aunque todas las metodologías hablan de diseño de producto y se conserva esa terminología, en esta tesis se aplicarán concretamente al diseño de máquinas (entendidas como producto).

2.2.2. Metodologías de fases

Tal como se ha descrito, estos modelos establecen las etapas del problema a resolver para facilitar su entendimiento y la secuencia más recomendable para llevarlas a término. Dentro del ámbito del

diseño de máquinas se encuentran diversas metodologías de este tipo que se describen a continuación:

- **M. Asimow** (1962): plantea una metodología que contempla tres etapas propiamente de diseño y cuatro de producción y uso (Figura 2.5). Las tres etapas de diseño corresponden a: análisis de factibilidad, diseño preliminar y diseño de detalle (Adams, 2015).

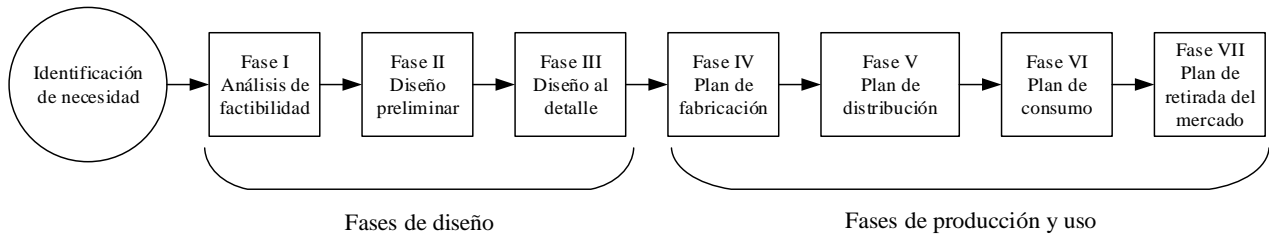


Figura 2.5. Estructura de diseño propuesta por Asimow.

Fuente: traducción propia a partir de Adams (2015).

- **M. J. French** (1971): presenta el proceso de diseño dividido en cuatro etapas: análisis del problema, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño de detalle (French, 1999).

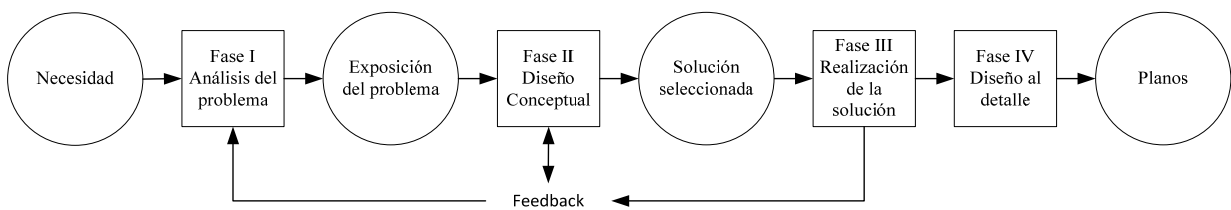


Figura 2.6. Etapas de diseño propuestas por French.

Fuente: traducción propia a partir de Adams (2015).

- **Pahl & Beitz** (1977): proponen una metodología simple basada en cuatro etapas principales (Figura 2.7): clarificación de la tarea y generación de especificaciones, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño de detalle (Pahl & Beitz, 1972, 1977, 2007).

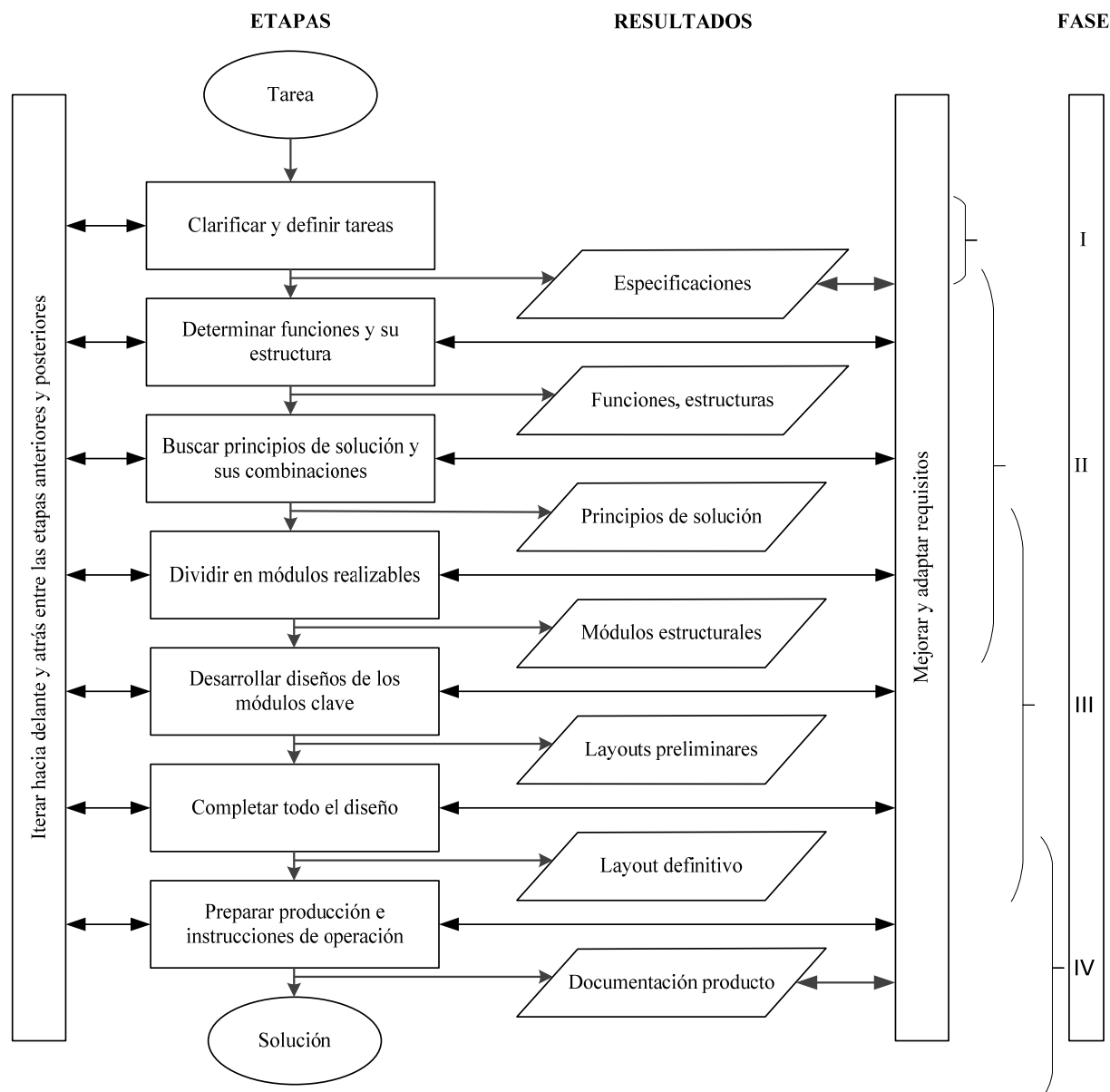


Figura 2.7. Estructura de diseño según Pahl & Beitz.
Fuente: traducción propia a partir de Pahl & Beitz (2007).

- **VDI 2221 (1987):** norma de la Asociación de Ingenieros Alemana. Propone una metodología de cuatro etapas basadas en siete pasos (Figura 2.8): definición y clarificación de la tarea, estructura funcional, principios de solución, estructura modular, diseño preliminar, diseño definitivo y diseño de detalle (VDI, 1987).

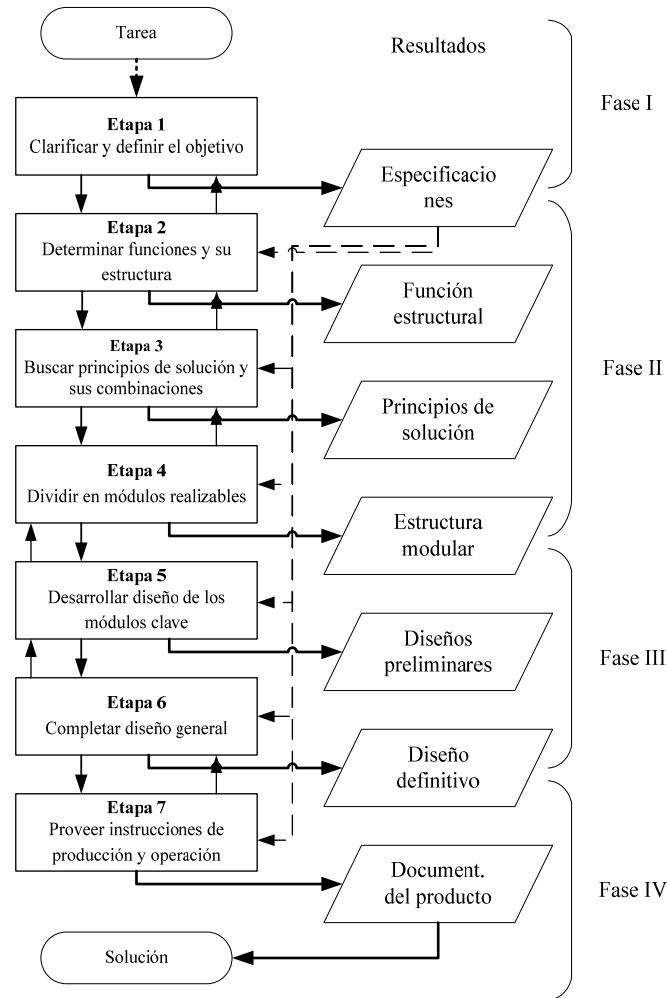


Figura 2.8. Estructura de diseño según la norma alemana VDI 2221.

Fuente: traducción propia a partir de VDI 2221 (1987).

- **D. G. Ullman (1988):** establece un método basado en seis etapas (Figura 2.9): establecimiento del producto a diseñar, planificación, definición, diseño conceptual, desarrollo del producto y soporte post-venta (Ullman, 2010).

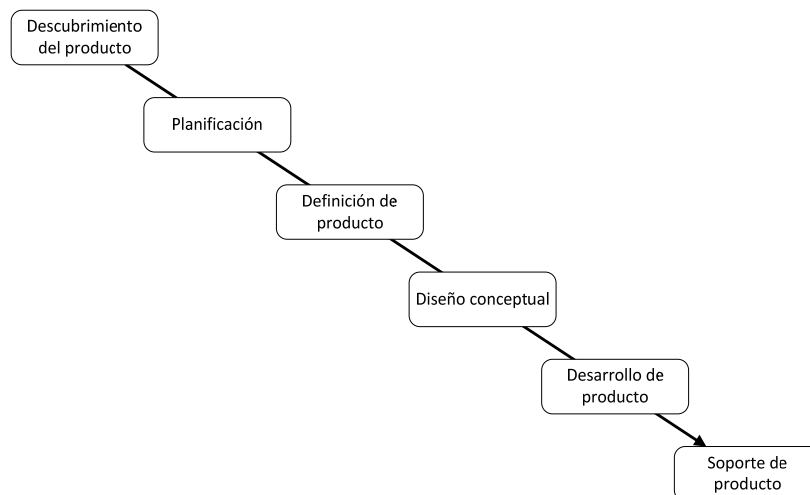


Figura 2.9. Estructura de diseño según Ullman.

Fuente: traducción propia a partir de Ullman (2010).

- **Hubka & Eder (1988)**: proponen una metodología dividida en seis pasos (Figura 2.10) que son: elaboración de la tarea decidida, conceptualización, diseño conceptual, materialización, layout y diseño de detalle (Hubka & Eder, 1996).

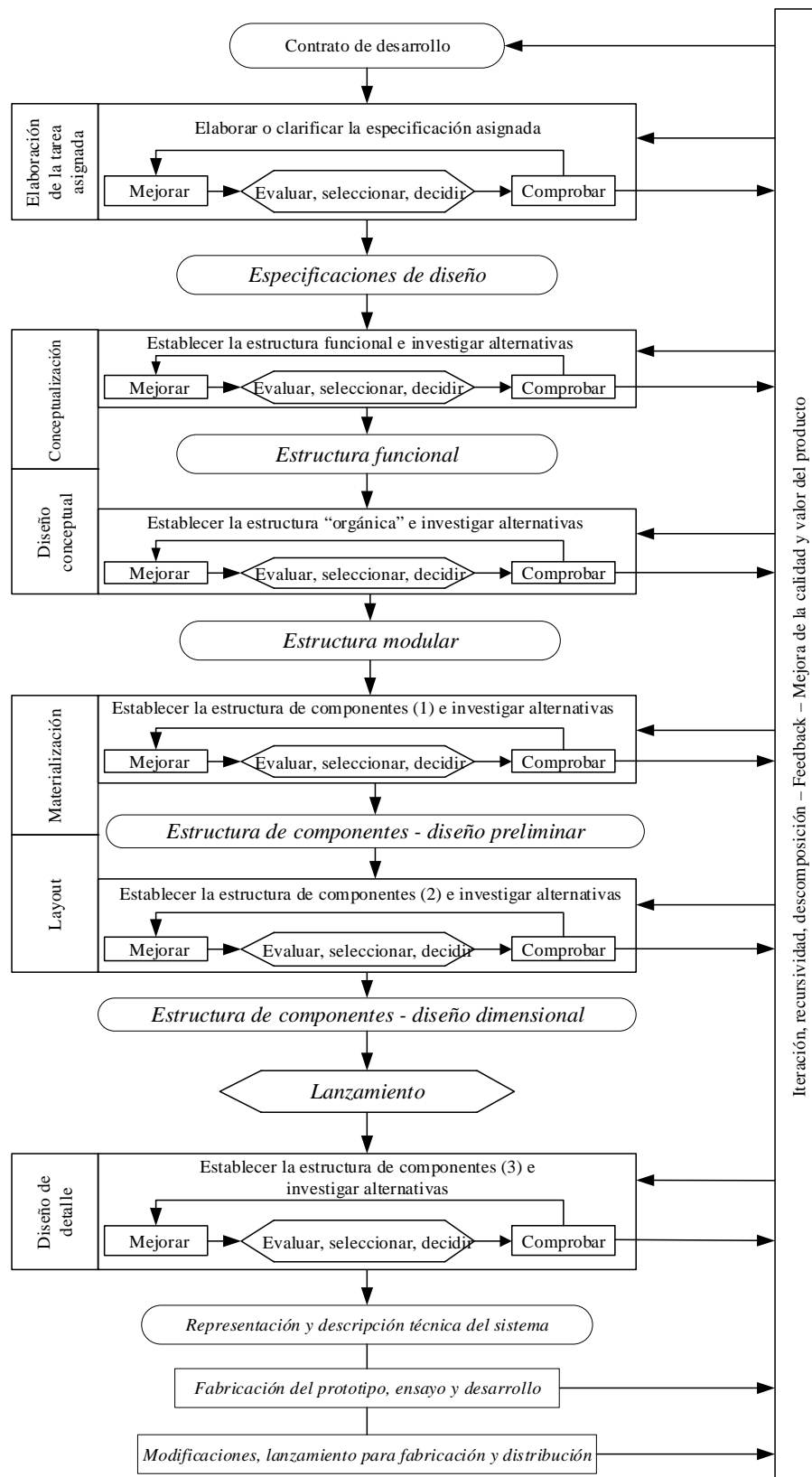


Figura 2.10. Estructura de diseño según Hubka & Eder.
Fuente: traducción propia a partir de Adams (2015).

- **Ulrich & Eppinger:** establece un método basado en seis etapas (Figura 2.11): planificación, desarrollo conceptual, diseño del sistema, diseño de detalle, ensayos y mejoras y producción (Ulrich & Eppinger, 2013).

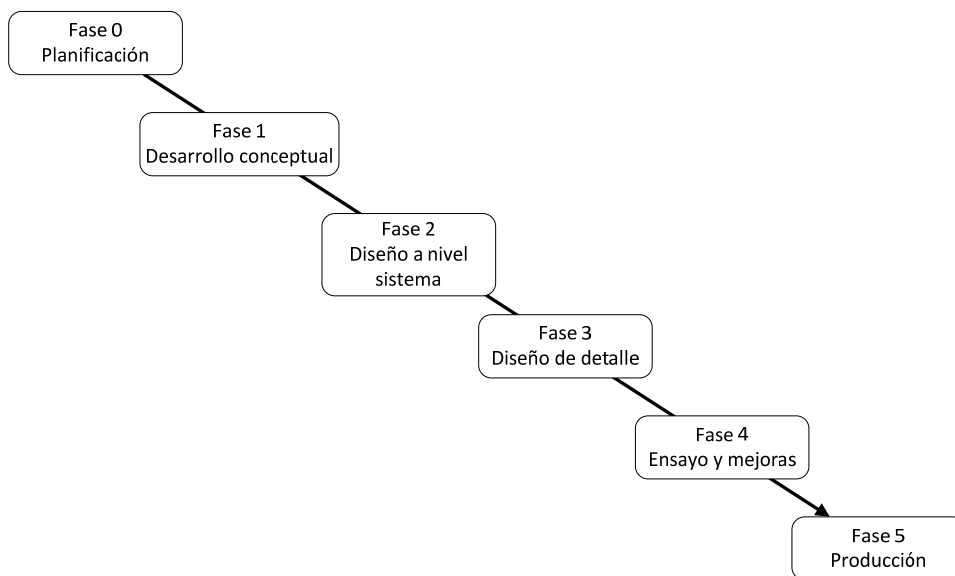


Figura 2.11. Estructura de diseño según Ulrich & Eppinger.
Fuente: traducción propia a partir de Ulrich & Eppinger (2013).

- **S. Pugh (1990):** basada en una visión transversal del diseño, donde los ingenieros de diseño participan en todas las etapas del desarrollo del producto, está dividida en seis etapas (Figura 2.12): análisis de la necesidad del usuario y del mercado, especificación de producto, diseño conceptual, diseño de detalle, fabricación y venta (Pugh, 1990).

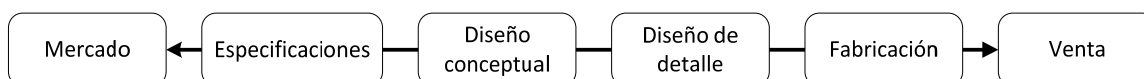


Figura 2.12. Etapas de diseño propuestas por Pugh.
Fuente: traducción propia a partir de Adams (Adams, 2015).

- **C. Riba (2002):** basándose en la metodología de la VDI 2221 y de Pahl & Beitz, sintetiza las etapas centrales del diseño en cuatro etapas, que se han tomado aquí como referencia de las etapas básicas de diseño: definición, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño de detalle.

Como se ha mencionado, estas metodologías son las más comunes en la práctica del diseño de máquinas y, en concreto, la VDI 2221 se considera la inspiradora de muchas otras y la más completa por los siguientes motivos (C. Sianipar, Yudoko, Dowaki, & Adhiutama, 2013):

- Adapta de forma concisa diversas metodologías desarrolladas previamente
- Sirve de base para metodologías posteriores
- Se aplica ampliamente en el proceso de diseño de productos en diferentes sectores

En todas estas metodologías la delimitación entre etapas parece muy concreta, aunque en la práctica las fronteras pueden ser difusas. En muchas ocasiones se definen aspectos del diseño correspondientes a una etapa posterior (p. e. material, fabricación) en etapas indicadas como

precedentes. Por este motivo, los modelos de Pahl & Beitz, VDI y Ullman proponen que las etapas se ejecuten de forma secuencial pero realizando iteraciones o bucles entre ellas. Así pues, en ocasiones el ciclo de diseño se representa mediante una espiral (Figura 2.13) que muestra cómo las etapas de definición, concepto, desarrollo y evaluación se van sucediendo varias veces en un único proyecto de diseño hasta dar con el producto definitivo.

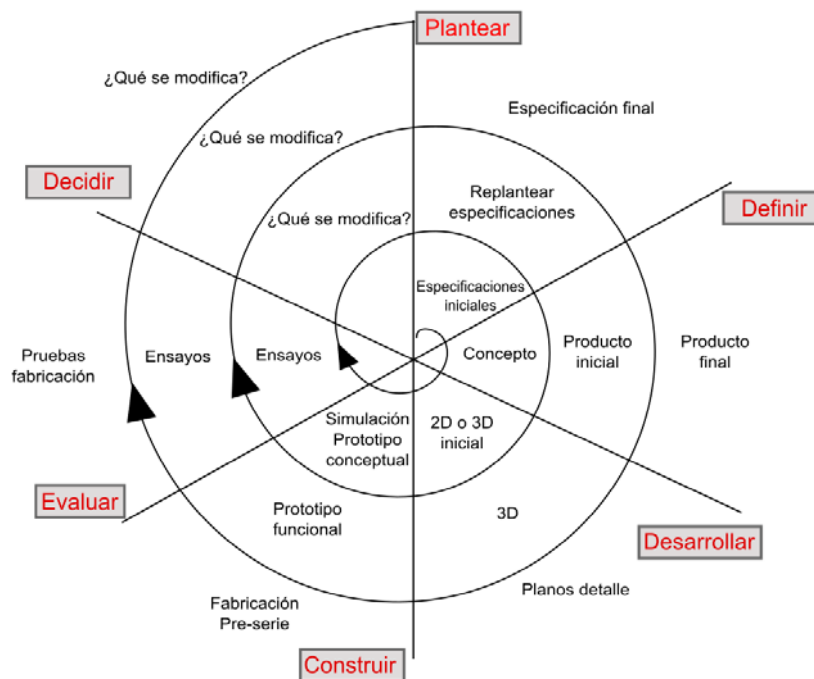


Figura 2.13. Espiral de desarrollo de proyectos de diseño mecánico.

Fuente: traducción propia a partir de Ullman (2010).

En la Tabla 2.2 se muestra una comparativa entre las etapas de las metodologías de diseño más habituales y estudiadas aquí. En la última columna se muestran los resultados y documentación entregable que debe obtenerse al final de cada una de ellas. Como puede observarse, las etapas iniciales y finales de algunas de estas metodologías (sombreadas en azul) contemplan la detección de la necesidad, el análisis de mercado y la planificación, al inicio, o la fabricación, las ventas, el servicio post-venta y la retirada, al final. Para algunos autores, estas tareas se enmarcarían dentro del proceso general de desarrollo de producto, más que en el diseño propiamente dicho. Sin embargo, es destacable que, para las etapas de diseño, todas ellas establecen fundamentalmente las siguientes, utilizando la nomenclatura propuesta por Riba (2002), por ser la más sencilla y unificadora:

- Etapa 1: Definición
- Etapa 2: Diseño conceptual
- Etapa 3: Diseño de materialización
- Etapa 4: Diseño de detalle

ASIMOW (1962)	VDI 2221 (1977)	PAHL & BEITZ (1977)	FRENCH (1985)	ULLMAN (1989)	PUGH (1991)	ULRICH & EPPINGER (1995)	HUBKA & EDER (1996)	RIBA (2002)	Resultados (entregables)
Identificación de la necesidad		Mercado, empresa, entorno	Necesidad	Descubrimiento del producto	Análisis de mercado		Contrato de desarrollo		
				Planificación		Planificación			
Análisis de factibilidad	Definición y clarificación	Planificación	Análisis. Establecimiento del problema	Definición de producto	Especificación		Especificaciones de diseño	ETAPA 1 DEFINICIÓN	Especificación
	Especificación	Especificación				Desarrollo conceptual			
Diseño preliminar	Principios de solución						Conceptualización (Estr. Funcional)	ETAPA 2 DISEÑO CONCEPTUAL	Principio de funcionamiento Arquitectura de máquina (estructura funcional y modular)
	Funciones estructuras, módulos	Diseño conceptual	Diseño conceptual	Diseño conceptual	Diseño conceptual		Diseño conceptual (Estr. Modular)		
	Diseño definitivo	Diseño de materialización	Esquemas de materialización	Desarrollo del producto	Diseño detallado	Diseño de sistema	Materialización (diseño preliminar) Layout (diseño dimensional)	ETAPA 3 DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN	3D de conjunto Prototipos
Diseño de detalle	Documentación detallada	Diseño de detalle	Diseño de detalle				Diseño de detalle Ensayo y mejoras	Diseño de detalle	ETAPA 4 DISEÑO DE DETALLE
Construcción				Producción	Fabricación	Producción			
Distribución				Servicio	Ventas				
Consumo									
Retirada				Retirada					

Tabla 2.2. Etapas de diferentes métodos para el diseño de máquinas.

Fuente: elaboración propia.

Ninguna de estas metodologías hace referencia al análisis del contexto (sólo Pahl & Beitz hacen referencia al entorno, pero también desde un punto de vista industrializado), ni contempla que pueda ser diferente al de los países desarrollados (industria, mercado, competencia), ni da pautas para su análisis.

Para definir las tareas que se desarrollan en cada etapa y situar algunos de los términos que se utilizarán en esta tesis, se analizan a continuación cada una de ellas, siguiendo la estructura de Riba (2002).

2.2.2.1. Etapa 1: Definición del producto. Especificaciones

Esta etapa tiene un comienzo difuso respecto a sus tareas iniciales en función del tipo de empresa, proyecto o motivación que lo inicie. Como se ha comentado en el apartado anterior, algunas metodologías incluyen en esta etapa tareas como la planificación del proyecto o la decisión de qué producto diseñar, basada en estudios de mercado, de la competencia o de la tecnología, y/o en aspectos internos de la compañía: estrategia, objetivos, capacidades, fortalezas, desarrollos futuros, gamma de producto, etc. Tomando la división establecida por Riba, estas tareas quedan fuera del diseño de máquinas propiamente dicho, entran dentro del desarrollo de producto (tal como se ha definido previamente, página 29) y suelen estar en manos de departamentos diferentes al de diseño (fabricación o marketing).

Independientemente de la procedencia del estímulo que desencadena el inicio del diseño, la etapa de definición es una etapa común a todos los proyectos de diseño de máquinas. Se parte de un enunciado que contempla la necesidad u objetivos a cumplir expresados en el “lenguaje vago del cliente” (Pahl et al., 2007). En esta etapa se toman decisiones sobre el objetivo y las funciones de la máquina a diseñar basadas en criterios y pautas que establece el impulsor (o promotor) del producto

(o máquina) y que se concreta en la definición inicial. El resultado de esta etapa se concreta, además de la descripción de esta definición, en un documento de especificaciones de diseño que, según Riba (2002), se definen como:

“conjunto de determinaciones, características o prestaciones, completo y suficiente, que ha de fundamentar y guiar el diseño del producto en todas las etapas posteriores.”

Riba también apunta que la especificación ha de ser lo más general posible y evitar la descripción de formas constructivas que constituyan tan solo una de las posibles soluciones. Distingue entre dos tipos de especificaciones:

- Requisito (R): especificación necesaria, sin la cual la máquina pierde su objetivo.
- Deseo (D): especificación conveniente que, sin ser estrictamente necesaria para el objetivo de la máquina, mejoraría determinados aspectos.

Según Ulrich (2013):

“en esta etapa se establecen las acciones destinadas a definir el producto de manera completa y precisa en términos cuantificables.”

Según Ullman (2010):

“Estas especificaciones son la re-expresión del problema de diseño en términos de parámetros que pueden medirse y tener valores objetivo. (...) Sirven como visión del producto ideal y se utilizan como criterios para las decisiones de diseño.”

Estas dos últimas definiciones vinculan, desde un enfoque claramente prescriptivo, las especificaciones con parámetros cuantitativos. Para Pahl & Beitz (2007), desde un enfoque más descriptivo, no todas las especificaciones son cuantificables numéricamente y pueden ser revisadas en todo momento:

“Requirements should, if possible, be quantified and, in any case, defined in the clearest possible terms. Special indications of important influences, intentions or procedures may also be included in the requirements list (...). Requirement list not only reflects the initial position but, since it is continually reviewed, also serves as an up-to-date working document.”

Según Otto & Wood (2001) existen diferentes tipos de especificaciones: cualitativas y cuantitativas, así como requerimientos funcionales (intrínsecos al funcionamiento) y restricciones (limitaciones externas).

Todos los autores coinciden en cuantificar las especificaciones en unidades medibles pero algunos dejan margen para las especificaciones cualitativas o descriptivas. También hay consenso en que las especificaciones han de formularse de la forma más neutral posible, sin dar o sugerir principios de solución o alternativas de diseño.

Como resultado de esta etapa de definición, muchos autores coinciden en un documento o lista de especificaciones, con contenido y formato similar, que servirá de guía durante el proyecto y que ha de reflejar:

- origen o motivación de la especificación, quién propone cada especificación (cliente, equipo de diseño, fabricante, proveedor, etc.);

- fecha de aparición o modificación de la especificación;
- si es un requisito (R) o un deseo (D)

A la hora de elaborar estas especificaciones, todos los autores describen procedimientos para la generación y documentación de especificaciones (método QFD, por ejemplo). Roozenburg & Eekels (1995), Pugh (1990), Otto & Wood (2001), Riba (2002), Pahl & Beitz (2007) y Ullman (2010) recomiendan seguir una lista de referencia (checklist) de especificaciones clasificadas en categorías. En la Tabla 2.3 se muestra la lista propuesta por Riba, similar a la de otros autores. En este trabajo se ha tomado la lista de referencia de este autor por su gran utilidad, comprobada a nivel práctico en gran número de proyectos realizados en colaboración con empresas desde el CDEI-UPC (www.cdei.upc.edu).

LISTA DE REFERENCIA DE ESPECIFICACIONES	
Categoría	Descripción
Función	Descripción de las funciones principales, ocasionales y accidentales del producto. Secuencia de operaciones.
Dimensiones	Espacios, volúmenes, masas, longitud, anchura, altura, diámetros; número y disposición de elementos, extensiones.
Movimientos	Tipos de movimiento; desplazamientos, tiempos; trayectorias, velocidades y aceleraciones.
Fuerzas	Magnitud, dirección y sentido de las fuerzas y momentos; frecuencia; desequilibrios, rigidez, deformaciones admisibles.
Energía	Flujos de energía; accionamientos y otros convertidores: alimentación y control; transmisiones; potencia y rendimiento.
Materiales	Flujos, transporte, transformación y propiedades de materiales. Materiales a utilizar, limitaciones, preferencias; condicionantes de mercado.
Señales y control	Flujos de información, inputs/outputs, sensores, actuadores, sistema de control, interfaz con usuario.
Fabricación y montaje	Volumen previsto de producción y cadencia en el tiempo; limitaciones y preferencias en procesos y equipamiento, calidad, tolerancias; variantes del producto, flexibilidad en la fabricación.
Transporte y distribución	Embalaje y medios: dimensiones, masas, orientación, golpes, entrega. Instalación y puesta a punto.
Vida útil	Operaciones, usos especiales, desgaste, ruido, vibraciones, ambiente de trabajo, vida prevista, fiabilidad.
Mantenimiento	Intervalos de servicio, inspecciones, mantenimiento predictivo, limpieza, criterios sobre recambios.
Costes	Costes de desarrollo, fabricación y utillaje, inversión inicial, depreciación
Plazos	Plazos de desarrollo, entrega y lanzamiento.
Seguridad y ergonomía	Sistemas y dispositivos de seguridad, seguridad ambiental. Interacción con el usuario: operación, confort, aspecto, iluminación.
Impacto ambiental	Consumos de energía y materiales; limitaciones en el impacto ambiental en la fabricación, utilización y fin de vida.
Aspectos legales	Cumplimiento de normativas, evitar patentes. Homologaciones, certificaciones.

Tabla 2.3. Lista de referencia para confeccionar las especificaciones del producto.

Fuente: elaboración propia basado en (Riba, 2002).

Las especificaciones varían sustancialmente en función del tipo de proyecto del que se trate y la bibliografía sobre metodologías de diseño describe los siguientes tipos de proyectos en función de su grado de innovación:

- Proyecto innovador: nuevo diseño, con nuevas funciones, nuevo principio de funcionamiento (a veces basado en un nuevo descubrimiento o avance científico) y nueva relación con los usuarios.
- Proyecto original: nuevo diseño, nuevas funciones con un principio de funcionamiento conocido.
- Modificación o rediseño: se mantiene el diseño general pero se modifican los diseños de conjuntos y piezas.
- Variante: se mantiene el diseño, sólo cambia dimensiones, materiales, componentes o su disposición.

Las especificaciones para un proyecto innovador deberán contemplar aspectos mucho más generales como, por ejemplo, el proceso global en el que se integra la máquina y dejar abierta la decisión de qué fuente de energía y tipo de accionamiento incorporará la máquina. Un proyecto de variante o de modificación partirá de un mayor nivel de concreción de las especificaciones y contemplará aspectos como, por ejemplo, la potencia y las dimensiones del motor que ha de montarse.

2.2.2.2. Etapa 2: Diseño conceptual

Partiendo de la definición y del documento de especificaciones elaborado en la etapa anterior, en esta etapa se establece el principio de solución y la arquitectura de producto. Es la etapa de creación del proceso de diseño y la más innovadora. Se establece aquí la estructura funcional del producto (los principios de funcionamiento), se determinan las estructuras físicas adecuadas y se combinan para obtener la estructura final que definirá el concepto (Pahl et al., 2007). Se proponen diferentes alternativas y se escoge la más adecuada. La metodología propuesta por la norma VDI 2221 considera en esta etapa una sub-etapa explícita de división del producto en módulos (Figura 2.8) que facilita en gran manera el proceso de diseño y etapas posteriores de desarrollo del producto (mantenimiento, adaptabilidad, gamma de producto, futuras modificaciones, etc.).

En definitiva, en esta etapa de diseño conceptual se determinan los principios de funcionamiento de la solución (con los cálculos y ensayos preliminares justificativos) así como la arquitectura básica del producto o máquina (la estructura modular y las pautas de diseño) (Pahl et al., 2007). En este punto es usual modificar, renegociar o incluir algún requerimiento en el documento de especificaciones.

2.2.2.3. Etapa 3: Diseño de materialización

Partiendo del principio de solución de la etapa anterior, se determina la configuración global de diseño (layout) del producto que permite obtener una visión general de los materiales, las formas y dimensiones y del proceso de fabricación (Figura 2.14). Estos tres elementos condicionan las decisiones de diseño de esta etapa y están estrechamente relacionadas entre ellas: un diseño concreto puede requerir formas complejas para ser funcional o para reducir el número de piezas

pero su fabricación puede ser más costosa y compleja así como los materiales necesarios para llevarlo a cabo.

En esta etapa también es necesario aplicar criterios de selección de soluciones de forma iterativa y decidir entre diferentes alternativas para las tres áreas de decisión: forma, material y fabricación. También se verificarán las soluciones mediante prototipos funcionales y se evaluarán mediante ensayos (fiabilidad, durabilidad, etc.).

En el diseño de máquinas, el resultado de esta etapa se da hoy día por medio de modelos 3D de conjunto o esquema de configuración, la lista de subconjuntos, piezas y componentes (muchos de ellos de suministros exteriores) y, convenientemente, una memoria con los aspectos más relevantes del proceso de esta etapa (criterios de decisión y cálculos, soluciones descartadas y motivos, resultados de las simulaciones y ensayos, prototipos, etc.).

Las metodologías clásicas dan recomendaciones y reglas básicas sobre cómo obtener en esta etapa soluciones correctas en ingeniería mecánica, verificar y optimizar el diseño para su fabricación (*Design for Manufacturing, DFM*), su montaje (*Design for Assembly, DFA*), ambas cosas (*DFMA*), para su calidad (DFQ) o para reducir costes, y cómo establecer los protocolos de ensayo (Pahl et al., 2007; Riba, 2002; Ullman, 2010).

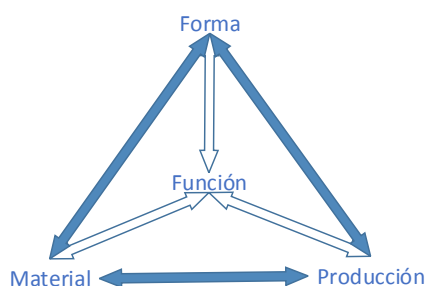


Figura 2.14. Elementos básicos del diseño de materialización, según Ullman (2010)

2.2.2.4. Etapa 4: Diseño de detalle

En esta etapa se definen la configuración final así como las formas, dimensiones y propiedades de acabado de todas las piezas y componentes del diseño, la selección definitiva de materiales, los procedimientos de fabricación y la estimación de costes (Pahl et al., 2007). Como resultado de esta etapa se obtienen los documentos para la producción: planos de pieza y de conjunto, todos con su correspondiente denominación, codificación y especificaciones técnicas necesarias, planos de soldadura, de montaje, lista de componentes y piezas.

En este momento no sólo se da la forma final al diseño de materialización de la etapa anterior sino que se añaden funciones características de esta etapa como la comprobación de las funciones y la depuración de soluciones para simplificar, eliminar o refundir elementos (Riba, 2002). De hecho, en múltiples ocasiones las etapas de materialización y detalle se solapan.

2.2.3. Metodologías de diseño aplicadas a tecnologías apropiadas

Las metodologías descritas hasta ahora se aplican ampliamente en Ingeniería Mecánica y su análisis sigue siendo foco de estudio, investigación y docencia en las universidades. Estas metodologías se engloban dentro del modelo generalizado de diseño y desarrollo de productos enfocados al

mercado. Se ha teorizado ampliamente sobre este modelo y abarca campos como la gestión, los métodos o el marketing. Sin embargo, se ha teorizado mucho menos sobre el proceso de diseño enfocado a las necesidades sociales y a los países en desarrollo.

Según Margolin & Margolin (2002) la metodología de diseño seguida en estos proyectos no ha de ser completamente diferente, sino que lo que ha de cambiar son las prioridades del proyecto. Otros autores indican que las metodologías tradicionales seguidas por los equipos de diseño han de adaptarse cuando se aplican a proyectos de diseño en comunidades en desarrollo. Por ejemplo, Murphy et al. (2009) apuntan que “los enfoques tradicionales de la ingeniería necesitan ampliarse con técnicas más flexibles, participación de los usuarios y colaboración multidisciplinar (...)” y que los tres puntos críticos de las metodologías convencionales de diseño son:

1. Los usuarios finales no intervienen hasta el final del proyecto.
2. No analizan explícitamente las consideraciones sociales, culturales y de género en ninguna de sus etapas.
3. Se enfocan principalmente a la tecnología en sí y no se enfatiza en la identificación de la necesidad y la solución, la transferencia de tecnología y los mecanismos de creación de capacidades en el contexto en desarrollo.

Los autores que sí hacen referencia a la metodología seguida en este tipo de proyectos aplican la estructura fundamental de las metodologías convencionales de diseño en ingeniería y, en concreto, de las metodologías de fases. Según diferentes autores éstas metodologías son totalmente aplicables al diseño de tecnologías apropiadas, pero requieren cierta adaptación para conseguir un producto apropiado (Murcott, 2007; Kuhr et al., 2013; Mattson & Wood, 2014; C. Sianipar et al., 2013). La adaptación de estas metodologías se centra básicamente en la etapa de definición (siguiendo la estructura de fases de Riba (2002), Tabla 2.2) y, en menor medida, en la de diseño conceptual del producto, para conocer a los usuarios, sus necesidades y su contexto (Mattson & Wood, 2014). Nieusma & Riley (2010) apuntan que, además de tener en cuenta el contexto local en los primeros pasos del diseño, es necesario indicar exactamente de qué manera este contexto es comunicado y asimilado por los participantes del proyecto de desarrollo, sin embargo, no propone una metodología concreta.

Como propuestas concretas de metodologías o pasos a seguir en proyectos de tecnologías apropiadas se pueden citar las siguientes:

- Date (1984), tras el análisis de varios casos de estudio en aplicaciones de tecnologías apropiadas, propone una metodología para el diseño de estas tecnologías en una serie de pasos:
 1. Identificación de la necesidad;
 2. Especificación de las condiciones del entorno con el fin de determinar el nivel de colectividad de las personas relacionadas con la necesidad y otras situaciones relevantes;
 3. Conversión de la necesidad en un problema tecnológico solucionable;
 4. Análisis del espectro de soluciones técnicas disponibles;

5. Selección de una solución disponible o innovar con una nueva solución técnica a través de la investigación y el desarrollo experimental;
6. Micro-difusión;
7. Búsqueda de mecanismos de transferencia de difusión más amplia.

Estos pasos siguen la estructura básica de las metodologías de fases con diferencias fundamentales en las etapas iniciales y finales. En concreto, el paso 2 es nuevo respecto a las metodologías convencionales ya que introduce la especificación de las condiciones del entorno. Este autor, sin embargo, no propone cómo ha de realizarse esta especificación.

- Murcott, (2007) revisa de forma crítica el proceso convencional de diseño ya que concibe al diseñador y a la tecnología como entidades separadas y operando en un ambiente, cultura o localización concretas. En consecuencia, la autora introduce el concepto *co-evolutionary design for development* y lo define como un proceso colaborativo entre diseñadores técnicos y comunidades usuarias (Figura 2.15). Este concepto establece una relación igualitaria entre los socios de desarrollo y enfatiza los conceptos de interdependencia y de aprendizaje y mejora iterativos. Además, cambia radicalmente la ubicación del "laboratorio de investigación", de "adentro" a "afuera", en el contexto, y vuelve a conceptualizar el conjunto de pasos de diseño o planificación de proyectos. Reconoce a los usuarios como expertos locales que participan activamente en la búsqueda y materialización de la solución. Esta solución no es un diseño de los países desarrollados "adaptado" a los países en desarrollo, sino que la solución parte directamente de los expertos locales. Finalmente, introduce la idea de "open-source" aplicada a la innovación y el conocimiento para el desarrollo, en oposición a la privatización de la tecnología.

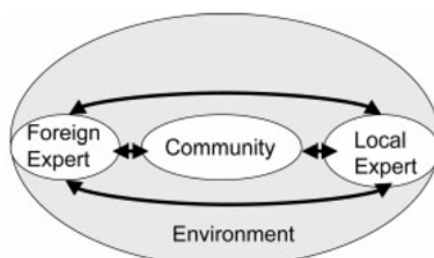


Figura 2.15. Relaciones entre los agentes clave en el diseño co-evolucionario.

Fuente: Murcott (2007)

- Bixler, (2011) también focaliza su propuesta metodológica en los usuarios finales. Según este autor, y basándose en proyectos reales, una metodología de diseño de tecnologías apropiadas ha de implicar a los usuarios como co-diseñadores. No ha de ser un método donde el equipo de diseño decida los requisitos del proyecto sino uno en que los usuarios desarrollen estos requisitos desde el inicio; los diseñadores deben ofrecer consejo de manera que no condicionen al usuario. La metodología propuesta debería seguir estos pasos:
 1. Adquisición de los requisitos del usuario final
 2. Priorización de requisitos por el usuario final guiado por el equipo de diseño
 3. Co-diseño con los usuarios finales
 4. Evaluación del diseño con el usuario final

Bixler enfatiza en las labores de escuchar, respetar y procurar pensar como los usuarios durante todo el proceso de diseño, pero principalmente en las etapas iniciales. Como vemos, no hace referencia al contexto ni cómo explicitarlo.

- Mattson & Wood (2014) realizan una revisión de la literatura sobre trabajos y proyectos de diseño en países en desarrollo, listan los principios de diseño encontrados o que se derivan de estos textos y los clasifican en relación con los principios de diseño tradicionales. Defienden las metodologías convencionales para el diseño de máquina apropiadas en países en desarrollo, en concreto las metodologías de fases, asociados con frecuencia al mundo desarrollado:

“We believe it is valuable to consider all of these traditional principles useful for developing world projects—they support finding a technically sound solution to the design problem. We also believe, however, that to have impact in the developing world, solutions must be both technically sound and desirable to those who will use or purchase them.

Proponen, por tanto, el proceso de diseño con una estructura de óvalos concéntricos (Figura 2.16). Las etapas del proceso de diseño son las mismas que en las metodologías convencionales, pero establecen que sólo puede llevarse a cabo cuando el contexto del problema (anillo intermedio) y la solución (anillo interno) está claramente determinado y comprendido por el equipo de desarrollo (anillo externo).

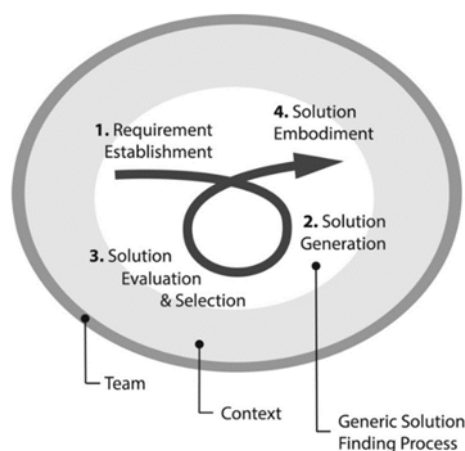


Figura 2.16. Proceso de diseño de óvalos concéntricos según Mattson & Wood.

Fuente: Mattson & Wood (2014).

- Algunos autores plantean metodologías para optimizar la estructura de un producto para comunidades en desarrollo basadas en la modularidad (Lewis & Murray, 2010) y el diseño colaborativo (Morris, Lewis, Mattson, & Magleby, 2011). Según estas propuestas basadas en un diseño modular, los productos diseñados de manera colaborativa reducen su coste, su peso y su tamaño. Por su parte los productos reconfigurables, pueden ser adaptados más fácilmente a las necesidades cambiantes de los usuarios y así permitir el desarrollo sostenible y hacer más provechosa y atractiva la inversión inicial en estos productos. Ambos casos, son estrategias a aplicar en la etapa de diseño conceptual (etapa 2) de la metodología de fases.

Como puede verse, todos estos autores focalizan su atención en las necesidades de los usuarios y el análisis del contexto para la correcta apropiación de la tecnología, pero ninguna de estas metodologías da una pauta concreta para la realización de este análisis.

Sianipar et al. (2013) proponen una metodología más concreta de diseño para tecnologías apropiadas basada también en las metodologías de fases (concretamente en la VDI alemana) donde la intervención de las personas de la comunidad a la que va dirigido el producto es la clave diferenciadora. Sin embargo, el procedimiento de aplicación es extremadamente complejo. Ante una estructura básica de proceso de diseño de tecnologías apropiadas (Figura 2.17.a) estos autores proponen una estructura que involucra en todas las etapas a los usuarios locales (Figura 2.17.b). Aunque se distingue entre ingenieros y diseñadores, siendo estos últimos los encargados del diseño mecánico, se indica que es conveniente que sean los mismos profesionales los encargados de esta etapa del proceso.

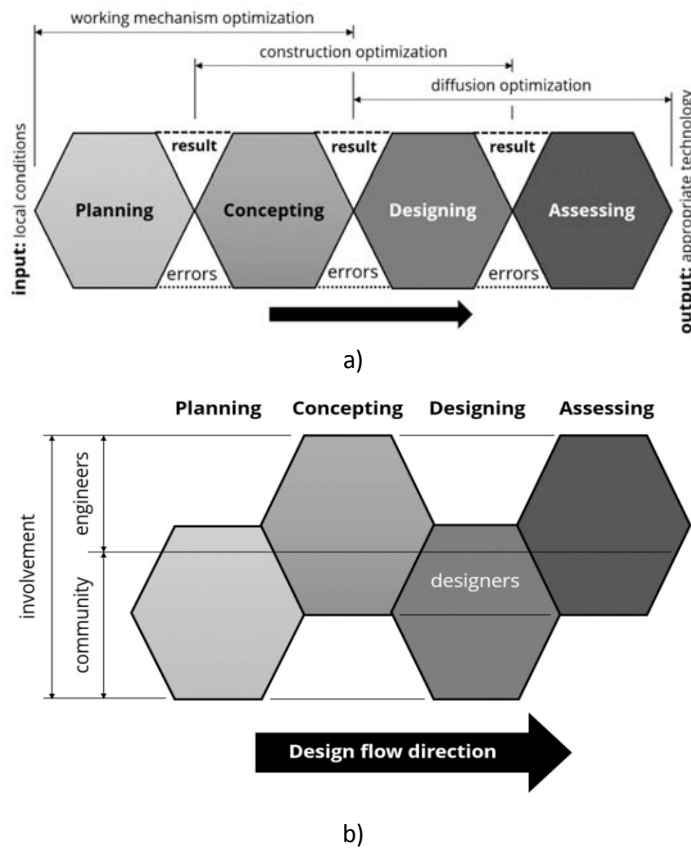


Figura 2.17. Proceso de diseño básico para tecnologías apropiadas (a) y propuesto (b) por Sianipar et al.

Fuente: C. Sianipar et al. (2013)

La metodología propuesta por estos autores divide cada etapa en diferentes pasos y en cada paso se realizan diferentes actividades. La Tabla 2.4 muestra todas las actividades que se contemplan en este proceso. Como puede observarse, la etapa de diseño mecánico propiamente dicha no ocupa más actividades que las de esbozos y construcción de los diseños. El resto de actividades se concentran principalmente en las etapas de planificación y evaluación. Este método define en la etapa inicial una serie de aspectos, variables teóricas y variables operacionales que utiliza para la estandarización de los requerimientos, aplicando una formulación propia para su clasificación y posterior uso en la etapa de diseño conceptual. Se determinan mediante esta formulación una serie

de funciones fisiológicas y se generan conceptos fisiológicos mediante combinación. Esta formulación, y la propia metodología en sí, supone un trabajo muy complejo para llevarlo a cabo en proyectos de desarrollo, cuando uno de los objetivos en este tipo de proyectos es seguir una metodología sencilla.

METODOLOGÍA PROPUESTA POR SIANIPAR ET AL. (2013)	
PASO	ACTIVIDAD
Etapa de planificación	
Selección de los observadores	Testeo de la fiabilidad
	Categorización
	Selección
Detección de inputs sobre el terreno	Elaborar pregunta maestra
	Pregunta & respuesta informal
	Información de terceros
	Triangulación
Recopilación de requerimientos	Nombrar
	Agrupar
	Especificación cualitativa/cuantitativa
Etapa conceptual	
Escarlar el grado de creatividad	Diferenciar grados de libertad y restricciones
	Agrupar por patrones
	Rellenar y cumplir normas y notas adicionales
Establecimiento conceptos fisiológicos	Derivación de funciones fisiológicas (PF)
	Explorar alternativas para cada PF
	Componer los conceptos fisiológicos
	Detallar los conceptos fisiológicos
Etapa de diseño	
Construcción de los diseños	Esbozos de diseño
	Construcción de los diseños de tecnología apropiada (AT)
Ensayos de campo	Situar las AT en sus contextos de uso
	Desarrollo de los protocolos de ensayo
	Preparación de documentos y personas para el ensayo
	Ensayos y repeticiones
	Recopilación de resultados
Etapa de evaluación	
Valoración de las prestaciones	Establecimiento de normas de valoración
	Recopilación de las normas de cálculo requeridas
	Valoración de las prestaciones de cada diseño
Evaluación del nivel de adecuación	Ponderar variables operacionales
	Evaluación de las prestaciones
Juicio de la tecnología apropiada	Compilación de la evaluación de todos los diseños en todos sus aspectos
	Mapeo de la "idoneidad" tecnológica
	Juicio (primer nivel)
	Mapeo de la "idoneidad" inversa
	Juicio (primer nivel, alternativo)
	Recálculo incorporando importancia de la "idoneidad"
Juicio (segundo nivel)	

Tabla 2.4. Pasos y actividades de la metodología propuesta por Sianipar et al.

Fuente: Elaboración propia a partir de C. Sianipar et al. (2013).

2.3. Limitaciones en el diseño de tecnologías apropiadas

En el capítulo anterior se han citado ejemplos de tecnologías apropiadas en diferentes ámbitos, algunas de las cuales han tenido éxito en su implementación e implantación en países en desarrollo. Sin embargo, también existen referencias de proyectos que no han funcionado, así como diversos análisis de los factores de acierto o fracaso de una tecnología para comunidades en desarrollo. A continuación se describen los factores mencionados en la bibliografía que afectan al éxito y fracaso de estos proyectos y algunos casos prácticos representativos de proyectos sin éxito de tecnologías apropiadas.

2.3.1. Factores de éxito y fracaso

Según la bibliografía relativa a proyectos de tecnologías apropiadas, es difícil que un proyecto de diseño llevado a cabo en comunidades en desarrollo fracase debido a una base mecánica errónea o un concepto teórico de funcionamiento equivocado. Este tipo de proyectos fracasan por una falta de comprensión del contexto (Mattson & Wood, 2014). Estos mismos autores, Mattson & Wood, realizan una revisión de la literatura sobre trabajos y proyectos de diseño en países en desarrollo, listan los principios de diseño encontrados o que se derivan de estos textos y agrupan estos aspectos en nueve principios básicos que han de servir como guía en el diseño para el desarrollo:

1. Empatía a través del co-diseño con los usuarios;
2. Importancia de los ensayos y pruebas *in-context* durante el diseño, no sólo al final;
3. Alto riesgo de fracaso de tecnologías importadas no adaptadas;
4. Considerar oportunidades tanto en zonas urbanas como rurales;
5. La pobreza afecta más a mujeres y niños;
6. Selección de la estrategia de gestión del proyecto;
7. Equipos interdisciplinarios;
8. Cooperación con los gobiernos y entes locales;
9. Utilizar estrategias de distribución locales.

Como puede observarse ninguno hace referencia a los aspectos técnicos del proyecto o del producto y sí a factores incluidos en la tabla como el co-diseño y la participación de los usuarios, el conocimiento del contexto o factores de género y pobreza, por ejemplo.

Kuhr, Otto et al. (2013) también hacen una revisión de la literatura sobre el diseño centrado en el mundo en desarrollo y analizan las barreras y aspectos facilitadores. Según este análisis el tema central de los proyectos de diseño son las interacciones entre los usuarios, los diseñadores y los intermediarios (*stakeholders*: ONG, academia, compañías privadas locales o internacionales). Las relaciones entre ellos son muy diferentes y deben llegar a entenderse para crear una nueva tecnología híbrida, así como los sistemas de apoyo necesarios. La Figura 2.18 muestra gráficamente cómo en contextos similares los usuarios, los diseñadores y los intermediarios tienen valores, necesidades, educación e infraestructuras muy alineados entre sí y el terreno de entendimiento común para el diseño es extenso. A medida que los contextos o ambientes de vida de estos tres grupos se van distanciando, esta área de encuentro, de entendimiento cultural, de valores o necesidades, es menor y el esfuerzo para entenderse ha de ser mayor. Las barreras y aspectos facilitadores, vistos como oportunidades de crecimiento o retos de mejora, ocurren en las zonas de

interacción entre los tres grupos de actores y los autores las plasman en la Figura 2.19 como resultado del estudio. Según este análisis, las mayores oportunidades de mejora están en el contexto del usuario (obvio, ya que es el propósito de estos proyectos) y en las relaciones entre usuarios y diseñadores, así como entre usuarios e intermediarios.

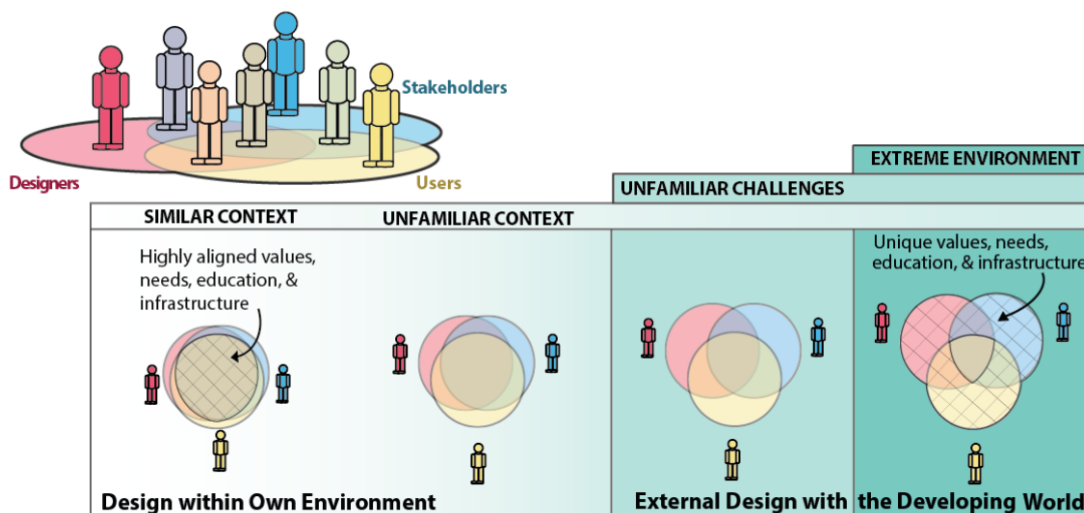


Figura 2.18. Relaciones entre usuarios, diseñadores e intermediarios en diferentes contextos. Fuente: Kuhr et al. (2013).

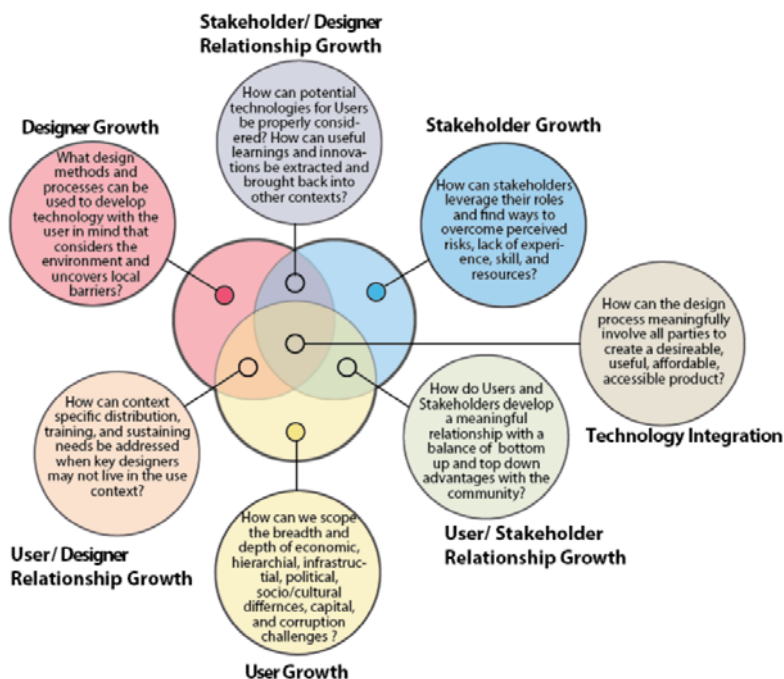


Figura 2.19. Áreas de oportunidad y retos. Fuente: Kuhr et al. (2013).

Como puede apreciarse, el pilar fundamental para el éxito de proyectos de tecnologías apropiadas según estos autores es el contexto.

2.3.2. Ejemplos prácticos

Como se ha visto en el apartado 2.1.4, existe amplia literatura enfocada en las tecnologías y proyectos para comunidades en desarrollo (ejemplos concretos y detallados de máquinas desarrolladas para comunidades concretas), pero se encuentran pocas referencias sobre qué metodología seguir o la efectividad del proceso de diseño cuando éste va dirigido a usuarios de los países desarrollados y se identifican aspectos a mejorar o evitar para garantizar el éxito y el funcionamiento posterior del proyecto. Por ejemplo, Fisher (2006) es bastante ilustrativo sobre los aspectos de aceptación cultural: en el proyecto de desarrollo de bombas de pie de bajo coste que el propio autor lleva a cabo en Kenia, uno de los requisitos de diseño impuesto por las normas culturales del contexto fue que los pedales estuviesen suficientemente bajos; de esta manera las mujeres podían utilizar las bombas sin mostrar movimientos provocativos a la altura de los ojos.

Otros detalles de *apropiatividad* de una tecnología que aparecen en los ejemplos citados anteriormente están relacionados con la fabricación de los equipos diseñados: Mazzù (2007) en su proyecto de diseño de una prensa de densificación de biomasa explica cómo el prototipo inicial se fabrica en Italia y se transporta al Senegal. Una vez allí se detectan inconvenientes relacionados con la disponibilidad de tecnología local: algunos componentes se deben importar del extranjero, la leva incluida en el mecanismo de actuación requiere mecanizados complejos no disponibles y el tratamiento térmico que requiere la leva no se puede realizar localmente. En la misma línea, Bixler (2011) describe el rediseño en la República Centroafricana de una bomba manual de agua que solicita una ONG ya que no se encuentran recambios localmente. Esta bomba ya había pasado a ser una tecnología inapropiada, abandonada por su inoperatividad.

A continuación se describen detalladamente otros ejemplos de proyectos de tecnologías apropiadas en los que surgieron limitaciones en su ejecución, diseño o posterior sostenibilidad debidas a aspectos de contexto.

2.3.2.1. Lavabos públicos

Burra, Patel, & Kerr, (2003) describen las insuficiencias en los programas sanitarios de construcción de lavabos comunitarios llevados a cabo por el gobierno de la India hasta los años 90 en la India, donde hasta un 50% de la población de determinadas zonas y ciudades vive sin acceso a lavabos. Este ejemplo muestra aspectos graves de ineficiencia de una tecnología en un contexto de extrema pobreza e incluso cómo pueden agravarse otros problemas de la sociedad donde se implementa. Entre otros defectos, los autores citan los siguientes:

- Ni el gobierno ni las constructoras responsables de la construcción de los lavabos públicos consultaron a la población local aspectos como la localización o el diseño de los espacios.
- Se sitúan en la periferia de las zonas de barracas donde el acceso a agua era limitado en los puntos elegidos o el drenaje era deficiente y se producían atascos y, en poco tiempo, suciedad y malos olores. Se convierte además en zona peligrosa socialmente, lejos de las zonas más concurridas.
- Hombres y mujeres usaban los mismos espacios lo cual provocaba problemas de abusos.
- No se adaptaban a niños, personas mayores o discapacitados con lo cual estos sectores de la población (porcentaje muy elevado) no podían usarlos.

- No se preveía el mantenimiento.
- La calidad de la construcción era pobre pero cara porque parte de los fondos del gobierno se “perdía” en su camino hasta la comunidad.
- Los habitantes no sentían la instalación como propia (apropiación), no se cuidaba y dejaron de utilizarla.
- Se usaba el espacio alrededor de la construcción para defecar y para tirar basuras, con lo cual se producía una concentración de insalubridad y enfermedades en esos puntos.
- Las mujeres esperan hasta la noche para defecar en el espacio abierto lo que les provocaba desórdenes intestinales y problemas de higiene por lo insalubre de la zona.

Los autores emprendieron un nuevo proyecto para construir letrinas en ocho ciudades de la India en colaboración con las comunidades de barracas y, principalmente, con las mujeres (éstas eran las que sufrían más la mala ubicación de los lavabos). El proyecto fue efectivo y de gran impacto social, se atendieron las necesidades de las principales protagonistas del proyecto, las mujeres, y así se consiguió el éxito del sistema. Entre los aspectos más relevantes de adaptación del proyecto de estas construcciones se pueden citar:

- Trabajo conjunto entre organizaciones comunitarias y ONG.
- Construcción más barata que las anteriores.
- La comunidad diseña, construye y mantiene los lavabos.
- Se adapta el diseño a mujeres, niños, mayores y discapacitados (se montan puertas oscilantes). Se separan las zonas de cada tipo de usuarios.
- Se sitúan en lugares más céntricos, no en la periferia. De esta manera también se promueve el mantenimiento y la limpieza de la edificación.
- Se habilita una zona separada para que el encargado de mantenimiento y su familia puedan vivir.
- Se habilitan zonas de espera que sirven como lugares de encuentro de la comunidad. Se propicia así la apropiación del espacio por la comunidad, incentivando así su conservación.
- La instalación de drenaje y acceso del agua se realiza pensando en un uso intensivo evitando así averías y atascos frecuentes.

Como puede verse, aparte de problemas técnicos, fáciles de resolver por otra parte, los inconvenientes más graves estaban relacionados con la carencia total de comunicación con los usuarios de estos lavabos y comprensión de sus costumbres (aunque fuesen del mismo país y cultura cercana). Las soluciones adoptadas en la construcción de las nuevas instalaciones parecen sencillas y no demasiado sofisticadas pero fueron clave para la aceptación y el buen funcionamiento de estos servicios:

- participación de los usuarios y usuarias, principalmente;
- adaptación al contexto de instalación;
- promover la apropiación de los usuarios.

2.3.2.2. Tanzania Canada Wheat Project

De forma similar se puede citar el proyecto Tanzania Canada Wheat Project iniciado en 1969 en Tanzania para impulsar la producción de trigo en este país y reducir el hambre, promovido por el

gobierno canadiense. Se invirtieron millones de dólares en granjas, equipamiento, técnicos desplazados, instalaciones eléctricas, de agua, transporte, etc. Pero se obviaron algunos aspectos del contexto (Murphy et al., 2009):

1. Menos del 10% de la población consumía trigo. Este 10% correspondía a habitantes de las ciudades, con poder adquisitivo suficiente que consumía el trigo en forma de pan; la población más pobre consumía maíz y mijo; la demanda no justificaba una producción a gran escala.
2. Los suelos y el clima del país no son adecuados para el cultivo de trigo con lo cual se obtuvieron cosechas pobres durante los primeros años y se mejoró a costa de empobrecer los suelos y agotar acuíferos.
3. El estado dirigía las granjas y la producción con lo cual los pobres no recibían ningún beneficio.
4. Las explotaciones de trigo se situaron en Barabaig, zona históricamente ganadera. Se les obligó a abandonar sus tierras y se destruyó su modo de vida (Minority Rights Group International, 2009)

En este caso las consecuencias humanas fueron mucho más graves y los intereses poco claros, pero la inadecuación del producto a las condiciones del país tiene una base de desconocimiento del contexto en el que se desea realizar el proyecto, como en el caso anterior.

2.3.2.3. Maquinaria agrícola en Ecuador

Diferentes centros agrícolas como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) o el Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), dependientes del gobierno y de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE, Quito) respectivamente, refieren, a través de sus profesores y/o responsables de diferentes áreas agrícolas (semillas, leguminosas, hortalizas, etc.) casos de máquinas adquiridas por estas instituciones que están actualmente en desuso por su inadaptación al contexto de la zona (Sierra de Ecuador) y de sus agricultores. En la mayoría de casos se trata de máquinas importadas, principalmente de China y Colombia, como una trilladora que se podía usar para arroz o arveja pero no para amaranto o quinua, como se deseaba. Estas semillas son demasiado pequeñas y la máquina no las procesaba. Además, es demasiado pesada para su transporte por los terrenos de la Sierra de Ecuador, muy accidentados (Imagen 2.1).

Otro ejemplo de máquina no apropiada a su entorno, referido en este caso por investigadores de la Universidad Nacional de Loja, se da en la zona de Colaisaca, sur de Ecuador. En esta zona existe un centro de acopio, maquinaria y molino (Imagen 2.2) creado por el gobierno. Actualmente este centro no funciona y la maquinaria que alberga no se ha utilizado apenas. En primer lugar, la ubicación del centro no es la adecuada y los agricultores de la zona, que en muchos casos no disponen de vehículo, tienen dificultades para acceder a él. Además, las características de los miembros de estas comunidades hacen que no se integren bien en los proyectos comunitarios de asociaciones. Por otra parte, la maquinaria con la que cuenta el centro, a parte del molino, no es adecuada para las necesidades de los agricultores. Por ejemplo, el centro cuenta con maquinaria para triturar pasto (hierba verde) y los agricultores necesitan triturar residuos secos (cañas, ramas, cáscaras de maní,

café). Existe en la zona una máquina para triturar residuos secos, pero para grandes cantidades y la producción de estos pequeños campesinos no compensa el alquiler que se pide por ella.

En el centro de acopio de café ecológico de Quilanga, provincia de Loja, de la Asociación de Productores de Café de Altura de Espíndola y Quilanga (PROCAFEQ) disponen de una pequeña máquina trilladora diseñada en Colombia para quitar la cascarilla al café pergamino (el grano de café que se obtiene después del despulpado y secado, antes de tostar). La máquina realiza la operación haciendo pasar el grano por un husillo y sobre una trilla, actuada por un motor. Esta máquina funciona correctamente con el grano de café colombiano pero rompe la variedad de café que se cultiva en la provincia de Loja, que es más blando. Esta máquina, por tanto, no se puede usar para obtener el producto final ya que no sería de calidad aceptable.

Estos ejemplos muestran que el problema principal de estas máquinas no son propiamente los aspectos técnicos si no un fallo en la observación del entorno y su necesidad.



Imagen 2.1. Trilladora de arroz de fabricación china, en desuso (INIAP Quito, enero 2012).

Fuente: elaboración propia.



Imagen 2.2. Centro de acopio, maquinaria y molino de Colaisaca, Loja, sur de Ecuador.

Fuente: elaboración propia.

2.4. Análisis del estado del arte

El análisis de la bibliografía en el ámbito de las tecnologías apropiadas muestra que hay gran cantidad de definiciones y criterios referentes a este término y que el concepto se ha ido transformando desde su aparición en los años 60. La definición propuesta por H. M. Murphy (2009) se ha considerado la más adecuada en este trabajo por ser la más reciente, completa y contemplar todos los aspectos que afectan al usuario y al equipo de diseño que la implementa:

“Las tecnologías apropiadas son una estrategia que permite a hombres y mujeres salir de la pobreza y mejorar su situación económica, satisfaciendo sus necesidades básicas, mediante el desarrollo de sus propias habilidades y capacidades y haciendo uso de los recursos disponibles de una manera ambientalmente sostenible. El concepto de AT incorpora (...) no sólo las herramientas físicas, sino también los mecanismos de transferencia de conocimientos, el desarrollo de capacidades y métodos de comunicación, así como las implicaciones sociales, culturales y de género de la implementación de la tecnología.”

Atendiendo a esta definición, en este trabajo se utiliza el término **máquina apropiada** para referirse a toda máquina que sea diseñada para beneficiar a la comunidad a la que va dirigida y considerando su adaptación al contexto en términos técnicos, económicos, ambientales y socioculturales de dicha comunidad, así como su sostenibilidad en el tiempo. Por tanto, se puede afirmar que el desarrollo de un proyecto de máquinas apropiadas conlleva poner especial atención a dos grandes grupos de aspectos:

1. **Aspectos técnicos:** definir y explicitar las especificaciones técnicas que la máquina ha de cumplir: función, dimensiones, movimientos, accionamiento, fuerzas, resistencia, etc.
2. **Aspectos del contexto:** conocer, definir y explicitar las características del entorno que afectan al proyecto de diseño y desarrollo de la máquina: aspectos sociales, culturales, económicos, tecnológicos, de género, recursos materiales, capacidades, infraestructuras, etc.

Se considera que uno de los aspectos clave para el éxito de estas tecnologías es su sostenibilidad que reside, a largo plazo, en el equilibrio entre los valores técnicos, sociales, económicos, ambientales, culturales y espirituales a largo plazo (Sorlini et al., 2015).

En base a la bibliografía analizada, la metodología de fases es una buena estructura para la elaboración de proyectos de máquinas apropiadas. Las etapas que vertebran estas metodologías son: 1) definición, 2) diseño conceptual, 3) diseño de materialización y 4) diseño de detalle. Las fronteras de cada etapa no son rígidas pudiéndose desarrollar tareas de diferentes etapas simultáneamente, siempre con cierto orden, resultando en un trabajo en espiral, en bucles. Estas metodologías de fases, ampliamente utilizadas y de probada validez en diseño de máquinas, contemplan en sus etapas iniciales la detección de la necesidad u oportunidad para comenzar un proyecto. Esta necesidad u oportunidad, según estas metodologías, vendrá motivada o detectada por análisis de mercado, cambios en el consumo, superioridad de la competencia, cambios políticos o económicos, nuevas tecnologías, etc. (Pahl et al., 2007). Como puede observarse, estas tareas se enfocan desde una perspectiva de mercado, comercial y de beneficio final para las empresas. Incluso el vocabulario utilizado, se circunscribe únicamente a términos que tienen sentido en los países

desarrollados: cliente, mercado, competencia, contratos, costes y tiempos... Así, las metodologías de diseño tradicionales están impregnadas del paradigma de contexto de las sociedades desarrolladas e industrializadas y que se caracteriza, a grandes rasgos, por:

- amplia disponibilidad de sistemas de suministro energético;
- amplia disponibilidad de suministro de materiales, componentes y servicios;
- operarios y usuarios con buenas capacidades y formación;
- alto coste de la mano de obra;
- reducción de tiempos;
- maximización de los beneficios del capital.

Incluso la lista de referencia para la generación de especificaciones en la etapa conceptual de la metodología de fases propuesta por diferentes autores deja entrever el contexto subyacente en el que son creadas y al que van dirigidas: el contexto de los países desarrollados.

En el diseño de máquinas apropiadas para comunidades en desarrollo esta metodología requiere una adaptación, principalmente en sus etapas iniciales. Las metodologías convencionales dan por supuesto que el contexto de diseñador y usuario es el mismo, es decir, el de los países desarrollados (en los que se han teorizado estas metodologías). En general, se echa a faltar una mayor atención en el inicio de proyecto sobre aspectos básicos del contexto (económicos, sociales, culturales, recursos, infraestructuras, etc.) ya que el conocimiento y análisis del entorno del usuario es clave para la apropiación y sostenibilidad del equipo en la comunidad a la que va dirigido. Tal como escriben Mattson & Wood (2014):

"(...) it is surprising to find very few principles in the literature that guide the engineer to understand the context for developed world products."

Así, un conocimiento exhaustivo del contexto de destino evitaría:

- ideas preconcebidas del diseño o del principio de solución,
- dar por buenos para el diseño apropiado aspectos del propio contexto como uso, disponibilidad de recursos, medio ambiente, etc.,
- tendencia a mimetizar soluciones (y, en general, el desarrollo) de los países desarrollados,
- soluciones inadecuadas a las necesidades de los usuarios.

Las propuestas metodológicas existentes en la literatura en este ámbito son, o bien poco claras y específicas en el proceso a llevar a cabo, o demasiado complejas para aplicarlas en proyectos de cooperación para el desarrollo.

Así, atendiendo a las propuestas de diferentes autores, se hace evidente que una metodología de diseño de máquinas apropiadas debe incorporar en alguna de sus etapas iniciales un conocimiento explícito y un análisis del contexto de los usuarios y debe contar durante todo el proceso de diseño con la participación de los usuarios. Además, el uso de esta metodología debería guiar al equipo de diseño para detectar los principales factores y evitar los errores detectados por diferentes autores que condicionan el éxito de un diseño de máquina apropiada. Estos son, principalmente:

1. Malas prácticas o suposiciones erróneas realizadas por el equipo de diseño;
2. Barreras u obstáculos que se encuentra el equipo de diseño en el contexto donde se ha de desarrollar el proyecto.

En la Tabla 2.5 se recogen estas prácticas y barreras clasificadas por grupos de aspectos que se han detectado en la bibliografía. En la última columna se añaden los objetivos a conseguir o retos que ha de afrontar el equipo de diseño para superar estas barreras y asegurar un diseño apropiado. Como puede verse, hay muchos factores relacionados con aspectos socioculturales y económicos y muy pocos con aspectos técnicos.

BARRERAS, MALAS PRÁCTICAS Y RETOS EN LOS PROYECTOS EN PAÍSES EN DESARROLLO			
ASPECTOS	BARRERAS	MALAS PRÁCTICAS	RETOS ASOCIADOS
DISEÑO	<p>Los ingenieros e ingenieras aprenden a diseñar dentro de un modelo de mercado, por tanto, asumen siempre un contexto económico neoliberal (Margolin & Margolin, 2002).</p> <p>La formación técnica de los países en desarrollo es a menudo inapropiada para las necesidades locales y se infravalora la formación adaptada (Donaldson, 2006)</p>	<p>Situar exclusivamente la funcionalidad técnica en el centro del trabajo de desarrollo (Nieusma & Riley, 2010).</p> <p>Asumir que una tecnología será útil, empoderadora y proporcionará avances en un determinado contexto en desarrollo porque lo es en nuestro contexto desarrollado (Witherspoon & Harris, 2011).</p> <p>Imitar productos, procesos o tecnologías que funcionan en contextos desarrollados (Donaldson, 2006).</p> <p>Imitar planes de estudio de los países desarrollados (Donaldson, 2006)</p> <p>Malfuncionamiento de la tecnología (no hace la función que los usuarios esperaban o de la forma esperada) (Witherspoon & Harris, 2011).</p> <p>Suponer que el entorno de operación de la tecnología estará suficientemente controlado como en nuestro contexto (Witherspoon & Harris, 2011).</p> <p>Diseñar productos para vender en lugar de para cubrir necesidades básicas. Asumir que los usuarios de las comunidades en desarrollo son consumidores en el sentido del mercado (Margolin & Margolin, 2002).</p>	<p>La tecnología apropiada debe ser siempre específica para cada contexto y depende de las circunstancias locales en la que se aplica (Murphy et al., 2009).</p> <p>La solución no ha de ser un diseño de los países desarrollados “adaptado” a los países en desarrollo, sino nacer directamente de los expertos locales (Murcott, 2007)</p> <p>El diseño debe permitir modificaciones futuras; ser flexible, no admitir la obsolescencia de la tecnología o del equipo (Murphy et al., 2009; R. Wicklein, 2004; Witherspoon & Harris, 2011).</p> <p>Enseñar a los ingenieros e ingenieras a afrontar retos de diseño innovadores con pocos recursos (Nieusma & Riley, 2010).</p> <p>Orientación de la tecnología hacia el mundo rural (Bowonder, 1979; Fisher, 2006).</p> <p>Identificar posibilidades económicas de los usuarios (escasez, pobreza) y medios de financiación de los proyectos (Ramachandran et al. 2007; Witherspoon & Harris, 2011)</p> <p>Diseñar tecnologías y equipos asequibles, de bajo coste (Akubue, 2000; Bowonder, 1979; Fisher, 2006; Jéquier, N., & Blanc, 1983; Murphy et al., 2009; R. Wicklein, 2004).</p> <p>Aprovechar el conocimiento local, reconocer a los usuarios como expertos para buscar, co-diseñar y materializar la solución, es decir, estar presentes en todo el desarrollo del proyecto (Bixler, 2011; Burra et al., 2003; Maunder, Marsden, Gruijters, & Blake, 2007; Murcott, 2007; Murphy et al., 2009; Ramachandran et al., 2007).</p> <p>Incluir criterios de diseño para ciclos de trabajo elevados, uso intensivo y condiciones ambientales extremas (humedad, suciedad, polvo, golpes, temperaturas extremas, salinidad, etc.) como la robustez, resistencia al desgaste o la estanqueidad (Bowonder, 1979; Burra et al., 2003; Fisher, 2006; Witherspoon & Harris, 2011).</p>
ENTORNO TECNOLÓGICO	<p>La calidad de los suministros y componentes fabricados localmente a menudo es deficiente y/o inconsistente (Donaldson, 2006).</p> <p>Los fabricantes, en ocasiones, respetan sólo a grandes rasgos los documentos de fabricación. Se acepta que la pieza obtenida se parezca al plano (Weiss, 2006).</p>	<p>Suponer que el entorno contará con las capacidades técnicas y tecnología suficiente y adecuada para fabricar y mantener el equipo (Donaldson, 2006).</p> <p>Suponer que los componentes o piezas fabricados localmente cumplirán los estándares de calidad y seguridad de un contexto desarrollado (Donaldson, 2006; Weiss, 2006).</p>	<p>Detectar si el diseño es susceptible de mejora en cuanto a fabricación y montaje (criterios de DFMA): reducción de piezas, material, utillajes, operaciones de montaje, soldadura, etc. (Weiss, 2006).</p> <p>Identificar la disponibilidad y el coste de materiales, componentes y tecnologías de fabricación (Weiss, 2006)</p> <p>Incluir en el diseño sólo materiales y componentes disponibles localmente, no depender de importaciones (Akubue, 2000; Bowonder, 1979; Donaldson, 2006; Fisher, 2006; Jéquier, N., & Blanc, 1983; Murphy et al., 2009; Teitel, 1978; R. Wicklein, 2004; Witherspoon & Harris, 2011)</p> <p>Asegurar el mantenimiento, las reparaciones y el seguimiento local del funcionamiento (Akubue, 2000; Bowonder, 1979; Donaldson, 2006; Murphy et al., 2009; Witherspoon & Harris, 2011).</p>

Tabla 2.5. Barreras y malas prácticas que contribuyen al fracaso de proyectos en países en desarrollo y retos asociados para evitarlo.
Fuente: elaboración propia.

BARRERAS, MALAS PRÁCTICAS Y RETOS EN LOS PROYECTOS EN PAÍSES EN DESARROLLO (cont.)			
ASPECTOS	BARRERAS	MALAS PRÁCTICAS	RETOS ASOCIADOS
INFRAESTRUCTURAS	La falta de infraestructuras (transportes, suministros energéticos, telecomunicaciones, correo, etc.) y, en ocasiones, la corrupción, aísla a las comunidades y dificulta la logística para el desarrollo de proyectos (electricidad, suministros, piezas, información, etc.). A estas pobres infraestructuras pueden añadirse la inseguridad política, rivalidades étnicas y burocracias muy complejas (Donaldson, 2006; Witherspoon & Harris, 2011).	Asumir que el entorno contará con la infraestructura suficiente para operar (Witherspoon & Harris, 2011).	Identificar la calidad de las infraestructuras y el entorno (cortes de electricidades, acceso y fiabilidad de las telecomunicaciones, acceso a PCs, diferencia horaria) (Nieusma & Riley, 2010; Ramachandran et al., 2007; Witherspoon & Harris, 2011). Diseñar una logística de implementación sencilla (Witherspoon & Harris, 2011).
SOCIO-CULTURALES	El equipo de diseño proviene, habitualmente, de otro país completamente diferente, de otra clase social, cultural y habla otro idioma al de los usuarios (Kuhr et al., 2013; Maunder et al., 2007; Nieusma & Riley, 2010). Brechas de comunicación lingüística y tecnológica (Witherspoon & Harris, 2011). Diferentes lenguas habladas entre etnias de una misma comunidad (Donaldson, 2006). Resistencia a los cambios, a la forma en que se han hecho las cosas siempre (Weiss, 2006). Aprensión a proyectos de ayuda al desarrollo por parte de las comunidades debido a fracasos anteriores (Witherspoon & Harris, 2011).	Los equipos de diseño son técnicamente buenos pero fallan en la comprensión de los aspectos sociales de la transferencia de tecnología (Murphy et al., 2009). Diseñar la tecnología sin conocer a los usuarios y sus necesidades. Diseñar sin que los usuarios conozcan la tecnología (Ramachandran et al., 2007). Asumir un contexto social y cultural similar al de los países desarrollados (Nieusma & Riley, 2010). Suponer que entendiendo las palabras que dicen los usuarios (por conocimiento de su lengua o mediante traducción) se comprenderá lo que quieren decir (Nieusma & Riley, 2010). Malentendidos culturales entre equipo de diseño y equipo local o usuarios (Witherspoon & Harris, 2011)	Prestar atención a las dimensiones no técnicas e incorporar el vector humano al técnico: formar equipos multidisciplinares de trabajo, incluyendo expertos en humanidades (Nieusma & Riley, 2010; Witherspoon & Harris, 2011). Identificar las necesidades de los usuarios y comunicar los beneficios que la tecnología puede ofrecerles (Murphy et al., 2009; Ramachandran et al., 2007; Teitel, 1978). Identificar el contexto en sus diferencias respecto a otros contextos (desarrollados o no) (Maunder et al., 2007; Murphy et al., 2009; Witherspoon & Harris, 2011). Identificar normas sociales y culturales condicionadas por la religión, castas, etnias, etc. y adaptar el diseño a estos estándares (Bowonder, 1979; Fisher, 2006; Jéquier, N., & Blanc, 1983; Murphy et al., 2009; Ramachandran et al., 2007; Wicklein, 2004). Trabajar estrechamente con los intermediarios locales (stakeholders), identificar a los mediadores de la comunidad y colaborar con ellos para ampliar la zona de entendimiento tanto lingüística como cultural y técnica (Kuhr et al., 2013) Identificar las condiciones sociopolíticas del entorno y la conexión con entes gubernamentales, no gubernamentales, comunitarios, etc. (Witherspoon & Harris, 2011).

Tabla 2.5 (cont). Barreras y malas prácticas que contribuyen al fracaso de proyectos en países en desarrollo y retos asociados para evitarlo.

Fuente: elaboración propia

BARRERAS, MALAS PRÁCTICAS Y RETOS EN LOS PROYECTOS EN PAÍSES EN DESARROLLO (cont.)			
ASPECTOS	BARRERAS	MALAS PRÁCTICAS	RETOS ASOCIADOS
GÉNERO	<p>La pobreza afecta más a mujeres y niños y al mundo rural (Doss, 2001; Fisher, 2006; Mattson & Wood, 2014)</p> <p>Las mujeres no pueden usar ciertos tipos de máquinas por impedimentos físicos o culturales, no pueden acceder a ayudas, necesitan el permiso de sus maridos para salir de casa o para asistir a formación. Habitualmente reciben menos formación que los hombres obligadas a abandonar la escuela de forma temprana. No son consideradas igual que los hombres (Murphy et al., 2009).</p> <p>En el mundo agrícola las mujeres tienen más dificultades para sobrevivir que los hombres (Doss, 2001).</p>	<p>Suponer que las mujeres tienen una participación en las comunidades similar a la de los contextos desarrollados (Murphy et al., 2009).</p>	<p>Las mujeres han de estar presentes en todo momento en el desarrollo del proyecto (Burra et al., 2003; Murphy et al., 2009)</p>
CAPACIDADES	<p>La tasa de alfabetización suele ser baja. La formación técnica es escasa. Se tiende a infravalorar la formación local (Donaldson, 2006; Witherspoon & Harris, 2011)</p> <p>La salud de usuarios y trabajadores afecta a las capacidades de operación de la tecnología (Donaldson, 2006).</p>	<p>Asumir que los destinatarios comprenderán la tecnología, intuirán modos de funcionamiento o aplicarán herramientas, habilidades y experiencias que deberán ser suficientemente similares a las nuestras, suponiendo, por lo tanto, que son capacidades intrínsecas (Witherspoon & Harris, 2011).</p>	<p>Identificar las capacidades y nivel de formación de la comunidad (Ramachandran et al., 2007).</p> <p>Implementar diseños sencillos, fáciles de operar y mantener (Bowonder, 1979; Fisher, 2006; Teitel, 1978)</p>

Tabla 2.5 (cont). Barreras y malas prácticas que contribuyen al fracaso de proyectos en países en desarrollo y retos asociados para evitarlo.
Fuente: elaboración propia.

2.5. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha estudiado inicialmente la bibliografía relacionada con las tecnologías apropiadas. Como se ha expuesto, estas tecnologías nacieron en los años 70 como una visión social para sociedades en desarrollo, en oposición a las sociedades basadas en economías de mercado, una nueva manera de enfocar la técnica hacia las personas más desfavorecidas. En la actualidad hay diferentes movimientos que basan su línea de trabajo en el diseño para el desarrollo pero el término tecnologías apropiadas es quizás el más extendido. La ONG Practical Action es la organización que recoge las bases iniciales de este movimiento, trabajando para mejorar las condiciones de vida de personas en situaciones precarias. Dentro de este término se enmarcan multitud de proyectos de diseño de tecnologías enfocadas a cubrir necesidades básicas de comunidades en desarrollo. Estas tecnologías tienen, según la literatura consultada, unas características principales comunes que podrían resumirse en:

- cubrir necesidades básicas de los usuarios
- ser asequibles para los usuarios
- ser simples de utilizar y mantener
- utilizar recursos, materiales y capacidades disponibles localmente
- contemplar el contexto cultural, social y económico de los usuarios
- ser sostenibles a nivel ambiental, técnico, económico y social
- incentivar la participación local

El tema principal de esta tesis son las máquinas diseñadas dentro de estos parámetros y se han denominado en este trabajo máquinas apropiadas.

A continuación, se ha detallado el estado del arte de las metodologías de diseño en ingeniería mecánica. Se ha visto que las metodologías de diseño de fases son las más utilizadas en el diseño de máquinas, en general, y en el diseño de tecnologías apropiadas, en particular. Son metodologías simples y sistematizadas que permiten a los diseñadores amplio margen para la intuición, la creatividad y la originalidad. Las etapas de *definición*, *concepto*, *materialización* y *detalle*, por tanto, siguen siendo válidas para estos proyectos. Sería arriesgado buscar una estructura diferente que pudiese complicar el trabajo de los diseñadores cuando lo que se busca en tecnologías apropiadas es la sencillez.

Sin embargo, estas metodologías clásicas están enmarcadas dentro del contexto de las sociedades desarrolladas e industrializadas, no dedican atención a analizar el contexto del usuario y dan por supuesto que el contexto de diseñador y usuario es el mismo, es decir, el de los países desarrollados. Por lo tanto, el contexto tan diferente que presentan en muchos aspectos las comunidades en desarrollo (económico, social, cultural, recursos, infraestructuras, entorno natural, etc.) hace cuestionable la traducción y aplicación directa de dichas metodologías a estos contextos. Su adaptación a proyectos de diseño de máquinas apropiadas ha de centrarse básicamente en la etapa de definición y, en menor medida, en la de diseño conceptual, diseño de materialización y de detalle del producto. Las propuestas metodológicas existentes en la literatura en este ámbito son, o bien

poco claras y específicas en el trabajo a llevar a cabo, o demasiado complejas para aplicarlas en proyectos de cooperación para el desarrollo.

Por último, los proyectos descritos en este capítulo muestran ejemplos tanto de éxito como de fracaso de tecnologías apropiadas. El análisis de los proyectos poco exitosos evidencia que existen barreras en el propio contexto de destino y malas prácticas por parte del equipo de diseño que pueden impedir el éxito del proyecto y que hay que detectar previamente. Estas barreras y malas prácticas se han agrupado en diferentes aspectos (diseño, entorno tecnológico, infraestructuras, socioculturales, de género y capacidades) y se han asociado a cada uno de ellos los retos que se plantean en la bibliografía para el equipo de desarrollo del proyecto. La mayoría de estos retos apunta a un aspecto del contexto que se ha de identificar de forma previa a la definición de la tecnología. Por lo tanto, se puede decir que el fracaso de un proyecto de tecnologías apropiadas se debe principalmente a una consideración del contexto deficiente o incompleta, no en una resolución técnica errónea.

Así, el análisis de la bibliografía justifica la necesidad de una metodología específica para diseñar tecnologías apropiadas y, en concreto, máquinas apropiadas que permita contemplar adecuadamente el contexto de la comunidad a la que va dirigida evitando así los riesgos de fracaso del proyecto.

3. ANÁLISIS DE CASOS PRÁCTICOS DE DISEÑO DE MÁQUINAS APROPIADAS

En este capítulo se describen los dos casos prácticos que motivaron el inicio de este trabajo y que se utilizarán como punto de partida para establecer y para validar después la metodología de diseño de máquinas apropiadas. Se muestra detalladamente la metodología seguida durante el proceso de diseño, se explicitan los aspectos clave de contexto que surgieron para el planteamiento de esta metodología, cómo se trataron y, finalmente, se revisan ambos proyectos a la luz de la metodología propuesta.

El primero caso es un proyecto de cooperación llevado a cabo en el Centre de Disseny d'Equips Industrials de la Universitat Politècnica de Catalunya (CDEI-UPC) entre los años 2009 y 2010, en colaboración con la ONG Practical Action Nepal. El objetivo de este proyecto fue rediseñar un teleférico accionado por gravedad. La visita del equipo del CDEI-UPC al país y a la zona donde se debía instalar el teleférico mostró que las restricciones que el contexto imponía al diseño serían el principal reto del proyecto y no los aspectos mecánicos en sí mismos. Este proyecto mostró al equipo de diseño la necesidad de un cambio en la metodología de máquinas habitual y que era imprescindible analizar el contexto de forma rigurosa para el buen desarrollo del diseño.

El segundo caso es un proyecto de diseño original de una máquina deshojadora de mazorcas de maíz para comunidades en desarrollo llevado a cabo en Ecuador en los años 2012 y 2013 y en el que la autora fue la ingeniera de diseño. Este proyecto propició el contacto con un contexto distinto al del Nepal, se presentaron nuevas restricciones que afectaban al diseño del equipo, ayudó a confirmar aspectos de la metodología que se habían pre-establecido en Nepal y aplicarla en el proyecto.

El proyecto del teleférico en Nepal se trataba de un rediseño y, por lo tanto, las especificaciones eran mucho más concretas que en el de la máquina deshojadora en Ecuador, con especificaciones más generales. Sin embargo, como se verá, en ambos casos el análisis del contexto es imprescindible para un diseño adecuado.

3.1. Caso 1: Teleférico de transporte de productos agrícolas en Nepal

3.1.1. Motivación y marco del proyecto

Este proyecto de cooperación se lleva a cabo en el CDEI-UPC entre los años 2009 y 2010 en colaboración con la ONG Practical Action Nepal. Esta ONG desarrolla y transfiere tecnologías e incentiva las capacidades de los fabricantes locales, la transmisión de conocimientos y habilidades a los empresarios rurales y la promoción de políticas e instituciones adecuadas. Para ello, trabaja en asociación con otras organizaciones no gubernamentales y organizaciones del sector privado.

El objetivo de este proyecto fue rediseñar un teleférico accionado únicamente por gravedad que permitiese a los agricultores transportar sus productos de manera más rápida y segura desde los cultivos, situados en las montañas, hasta los valles, donde existe acceso por carretera y posibilidades de distribución a los mercados (Figura 3.1). En algunas zonas de Nepal ya existen teleféricos de estas características, pero presentan algunos inconvenientes que se pretendía resolver. Por tanto, se trataba de un proyecto de rediseño no de un proyecto original o de innovación (ver tipos de proyectos en función del grado de innovación, página 41): el principio de funcionamiento ya estaba establecido previamente, se debía mejorar y optimizar el funcionamiento y la eficiencia de este sistema de transporte, resolviendo ciertos problemas técnicos. La ONG Practical Action corrió con los gastos de la instalación y la mayoría de materiales. La comunidad colaboró aportando mano de obra y algunos materiales. Una vez instalado el teleférico, una cooperativa formada por miembros de la comunidad y coordinada inicialmente por Practical Action se encargó de la explotación del teleférico.

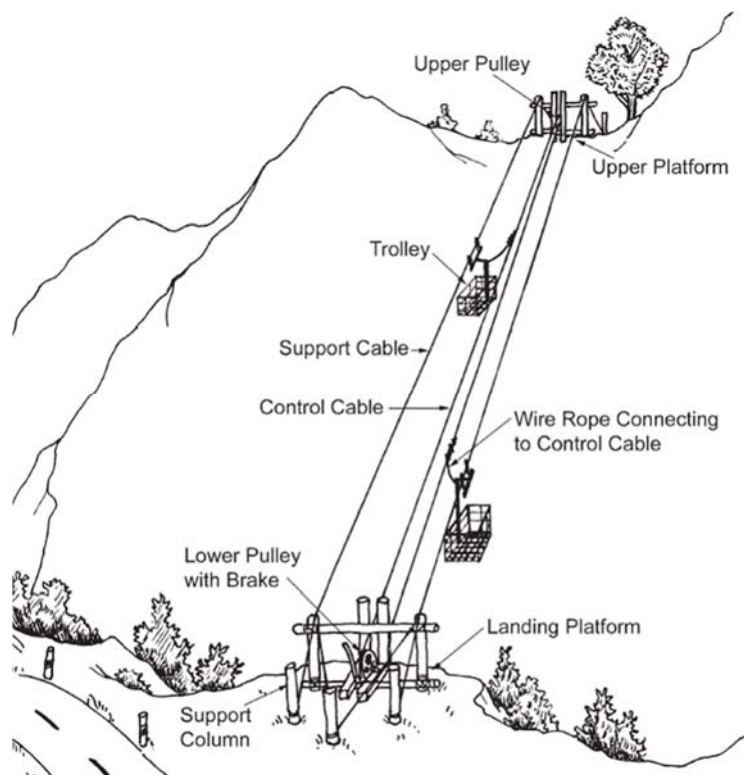


Figura 3.1. Esquema del teleférico por gravedad utilizado en Nepal para el transporte de productos agrícolas.

Fuente: Practical Action Nepal

Durante el desarrollo de este proyecto se trabajó en todo momento en colaboración con técnicos del país que conocen las características del entorno a todos los niveles. Los ingenieros locales son conocedores de su contexto y lo podían transmitir al equipo de diseño del CDEI-UPC para que éste pudiese enmarcar el diseño correctamente. Para ello, se realizó un viaje para reconocer el entorno. En este viaje sorprendió al equipo de diseño las características del contexto, muy alejado del habitual contexto de proyectos de diseño de máquinas en nuestra sociedad industrializada. Se detectaron ya las grandes restricciones que impondría el entorno al proceso de diseño. Los aspectos técnicos inherentes al principio de funcionamiento no entrañarían excesiva dificultad; si existía un reto importante a superar en este proyecto sería resolver y salvar las restricciones que impondría el contexto. Por tanto, durante la estancia en el país se impuso un objetivo claro: captar la máxima información posible sobre aspectos del entorno, que serían básicos para la realización del proyecto. Para ampliar la información sobre el funcionamiento se visitaron otros teleféricos con el mismo principio de funcionamiento; se viajó al lugar concreto de instalación del teleférico a diseñar para tener una idea de las dificultades de acceso e instalación que implicaba el terreno; y para obtener información sobre las restricciones de fabricación y montaje se visitaron talleres de la zona que fabricarían los componentes del sistema.

3.1.2. Etapa 1. Definición

Después de la visita realizada al país y la obtención de la información necesaria, se inició el proceso de rediseño del equipo con su definición y el establecimiento de las especificaciones. Como se ha indicado, se trataba de rediseñar un tipo de teleférico ya existente con las características concretas siguientes: trasladar los productos agrícolas, con un peso máximo de 1200 N, colocados en una cesta (Figura 3.2) situada en la estación superior (Figura 3.3), a lo largo de unos 850 m y accionado solamente por el peso de esta carga, lo cual permite subir otra cesta vacía situada en la estación inferior (Figura 3.4). Ambas cestas están unidas a un cable tractor y guiadas por otros dos cables (Figura 3.5). El desnivel existente entre las dos posiciones donde se situaban las estaciones era de aproximadamente 500 m, sin embargo, entre ellas existían puntos de más altura y vaguadas que previsiblemente el teleférico no sería capaz de superar. Por ello, se propuso la colocación de una torre de soporte intermedia que permitiese reseguir mejor el terreno. Esta estación intermedia estaría situada a una altura de 300 m de la estación inferior.



Figura 3.2. Cesta y carro de unión al cable tractor

Fuente: CDEI-UPC

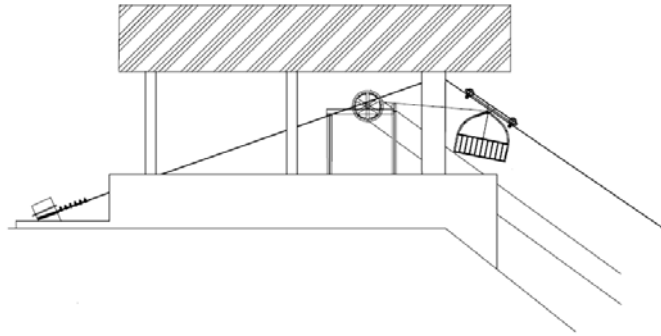


Figura 3.3. Estación superior de un teleférico
Fuente: Practical Action Nepal

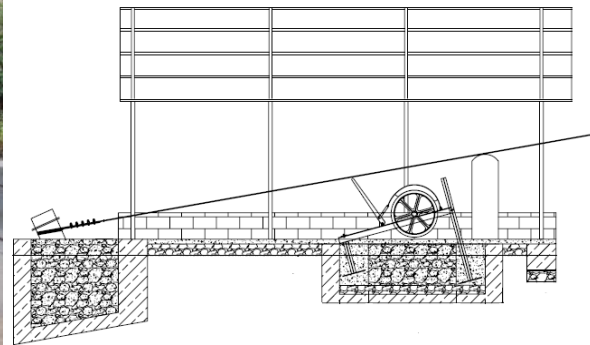


Figura 3.4. Estación inferior de un teleférico
Fuente: CDEI-UPC - Practical Action Nepal

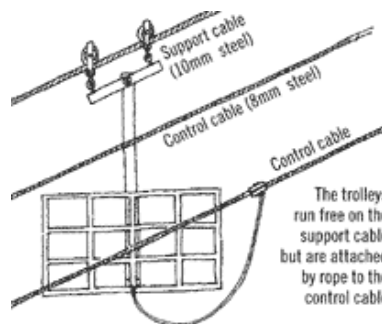


Figura 3.5. Esquema de la unión de la cesta a los cables.
Fuente: Practical Action Nepal

También se deseaba que ciertos inconvenientes detectados en otros teleféricos similares fuesen solventados:

- que los cables no interfiriesen entre ellos a lo largo de la instalación;
- que la cesta en la que se transportaba la mercancía fuese más ligera que las existentes, de este modo se podría aprovechar esta disminución de peso para cargar más productos.

Como puede verse, eran requisitos muy concretos demandados por los usuarios (agricultores y técnicos de Practical Action) que se transformarían posteriormente en especificaciones, también muy concretas. Al tratarse de un proyecto de rediseño, las especificaciones tenían un grado de concreción mucho mayor que cuando se trata de un proyecto original. Aun así, se debían redefinir gran parte de los sistemas: las estaciones superior, inferior e intermedia para incluir las modificaciones propuestas, el paso de cables por la torre intermedia, la cesta, el sistema de freno y el sistema de tracción manual.

En cuanto al entorno, como se ha comentado anteriormente, había restricciones de contexto importantes que afectaban plenamente al diseño de estos sistemas. Además de la falta de suministro eléctrico en el punto de instalación se debía tener en cuenta que:

- solo se disponía de herramientas capaces de tensar el cable hasta una tensión de 10000 N, lo que conllevaba una flecha y unas condiciones de uso específicas;
- no se podían obtener bobinados de cable superiores a 1800 m
- la posibilidad de unir dos cables requería de unos componentes, herramientas y conocimientos no disponibles;
- en la fabricación, el diámetro máximo que se podía mecanizar en el torno disponible era de 800 mm.

A partir de esta información, pero sin documentarla de forma explícita, como se ha dicho, se elaboraron las especificaciones del diseño, que contemplaban estas restricciones y las necesidades y demandas de los usuarios (Tabla 3.1). Para ello se utilizó la lista de referencia y la metodología propuesta por Riba (2002): se describen las especificaciones clasificándolas por conceptos y se indica la fecha de establecimiento de cada especificación, el origen o quién la propone y si se trata de una especificación obligatoria (Requisito, R) o no (Deseo, D). Al tratarse de un proyecto de rediseño, el principio de funcionamiento ya está establecido para el diseño global del teleférico; se diseñan o rediseñan ciertos subsistemas de este conjunto global. Por este motivo muchas especificaciones ya vienen establecidas de inicio por el equipo local, la ONG Practical Action (PA), o haberse establecido previamente (EP) como consecuencia del principio de funcionamiento adoptado. Otras fueron propuestas por el equipo de diseño del CDEI-UPC (CDEI) y otras derivaban del análisis del contexto (CTXT) y fueron propuestas por los equipos de diseño.

ESPECIFICACIONES		PROYECTO: Teleférico para transporte de productos agrícolas en Nepal		
Concepto	Descripción	Fecha	Propone	R/D
Función	Trasladar las cestas con productos agrícolas desde lo alto de la montaña hasta el valle	26/10/2009	EP	R
	Incorporar un cable tractor + dos cables guía		EP	R
	Posibilidad de transportar mercancías en sentido contrario		PA	D
	Evitar que los cables se enreden a lo largo de la línea		PA	R
Dimensiones	Cubrir desnivel de 500 m con desniveles intermedios	26/10/2009	CTXT + PA	R
	Longitud máxima de cable: 1800 m	19/11/2009	CTXT	R
	Flecha máxima de los cables: 65 m		CTXT + PA	R
	Masa de la cesta: inferior a 50 Kg	26/10/2009	PA + CDEI	R
	Distancia entre los cables guía: 1800 mm	19/11/2009	PA	R
Movimientos	Velocidad de las cestas: entre 5 y 10 m/s	26/10/2009	PA + CDEI	R
	Velocidad del movimiento controlada		CDEI	D
Fuerzas	Tensión máxima del cable: 10000 N (máx. del tensor)	26/10/2009	CTXT	R
	Carga máxima de la cesta: 1200 N		PA	R
	Sistema de frenado pasivo		PA + CDEI	R
	Sistema de frenado efectivo en ambos sentidos		PA	D
Energía	Accionado por gravedad	26/10/2009	EP	R
	Accionamiento manual en caso de ser necesario		PA	R
	Posibilidad de aprovechar la energía disipada por el sistema		PA + CDEI	D
Materiales	Se utilizarán materiales de uso extendido en Nepal	26/10/2009	CTXT	R
Fabricación y montaje	Se utilizarán piezas normalizadas siempre que sea posible	26/10/2009	CTXT	D
	Diámetro de poleas: ≤ 800 mm	19/11/2009	CTXT	R
	Usar cable de tipo 6x19 Seale (9/9/1)	19/11/2009	CTXT	R
	Piezas no normalizadas fabricables con las tecnologías disponibles in situ.	26/10/2009	CTXT	R
Coste	Coste mínimo	26/10/2009	CTXT	R
Vida útil y mantenimiento	Mantenimiento mínimo	26/10/2009	PA + CTXT	R
	Uso de componentes comercializados en el mercado nacional	26/10/2009	CTXT	R
Seguridad y ergonomía	Piezas en movimiento no accesibles en funcionamiento	26/10/2009	PA	D
Impacto ambiental	Priorizar el uso de materiales reciclables	26/10/2009	PA + CDEI	R
Propone: PA: Practical Action Nepal CDEI: Centre de Disseny d'Equips Industrials - UPC EP: Establecida previamente CTXT: Derivada del análisis del contexto				
Carácter de la especificación: R: Requisito D: Deseo				

Tabla 3.1. Especificaciones originales para el teleférico instalado en Nepal

Fuente: CDEI-UPC

3.1.3. Etapa 2. Diseño conceptual

A partir de estas especificaciones se inició el diseño conceptual de los subsistemas del teleférico, que consiste en idear alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada, y que se estructuró de la siguiente manera:

1. **Cálculo de la resistencia del cable** en función del peso a soportar y la distancia máxima entre puntos de apoyo (torres intermedias). Cálculo de las reacciones en los puntos de apoyo, flecha y ángulos de entrada de los cables en las estaciones. Estos valores permitieron empezar a pensar alternativas de soporte y tracción en las estaciones superior e inferior y de paso de cables en las torres intermedias.
2. **Estación superior e inferior:** son las bases y puntos de tracción del teleférico, donde van situadas las poleas que mueven el cable tractor con las cestas. Se analizaron diversas propuestas para la disposición de las poleas (Figura 3.6) y se seleccionó la más adecuada en función del ángulo de contacto, la complejidad de fabricación, evitar enredo del cableado y coste. Se seleccionó la opción de una sola polea. Se introdujeron nuevos sistemas que facilitasen el montaje, por ejemplo, se pensaron alternativas para que las estructuras de apoyo de las poleas fuesen móviles, para facilitar su alineación. También se propusieron alternativas para un sistema de guiado que permitiese dar tensión al cable.

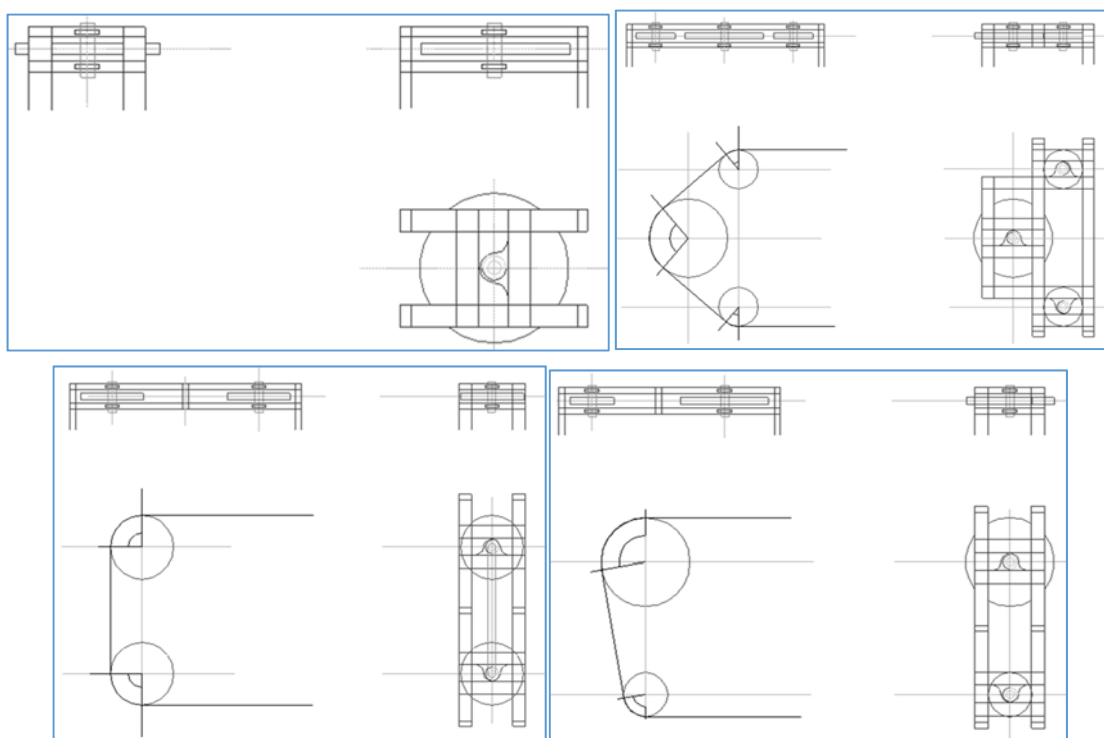


Figura 3.6. Alternativas conceptuales para la disposición de las poleas tractoras

Fuente: CDEI-UPC

3. **Torres intermedias:** No se diseñó la parte estructural y de cimentación, únicamente el sistema de paso del teleférico. En esta etapa se trabajó en idear un mecanismo que permitiese el desacoplamiento y acoplamiento del carro que arrastra la cesta cuando éste pasa por las torres intermedias. La no disponibilidad de muelles en el mercado nacional

dificultó encontrar una solución sencilla para este mecanismo. Se plantearon dos alternativas de diseño del carro (Figura 3.7) y se seleccionó la más sencilla, ligera, adaptable y segura.

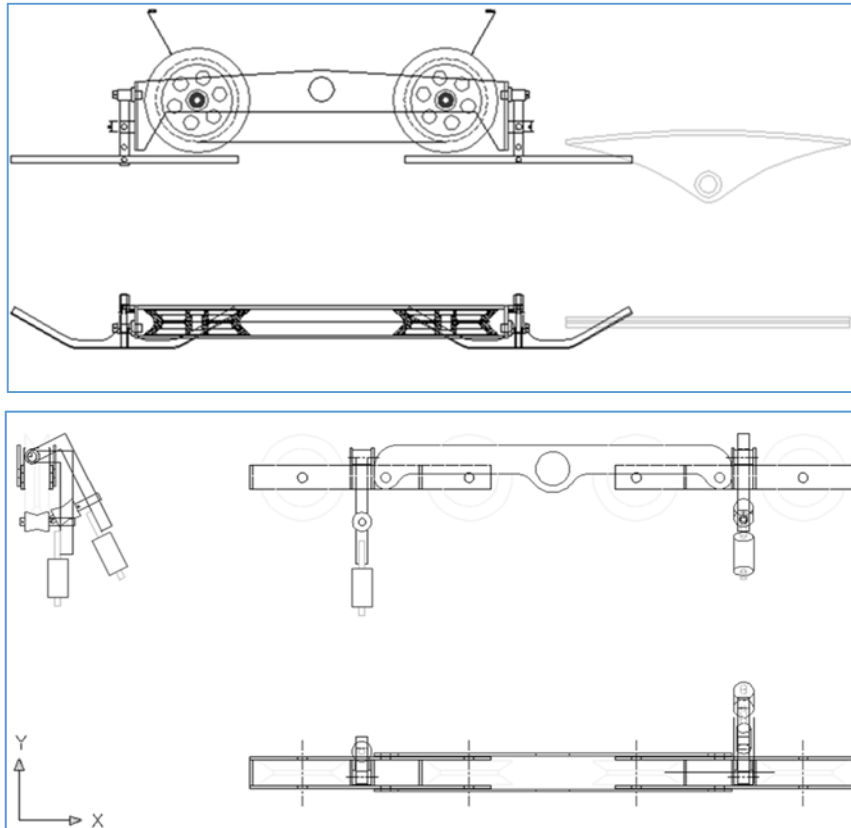


Figura 3.7. Alternativas conceptuales para el diseño del carro

Fuente: CDEI-UPC

- Sistema de freno:** una de las características a garantizar en estos teleféricos era la seguridad. Para asegurar una frenada a tiempo de la cesta del teleférico se propuso un sistema de freno pasivo o “hombre muerto”: normalmente está activo (frenado) y el operario debe accionarlo para abrirlo y que el teleférico se mueva; si el operario deja de accionarlo, se detiene. En este caso, se actuaría con el pie.

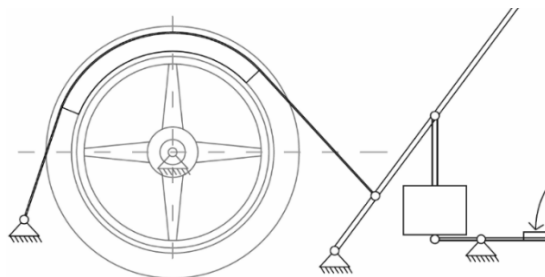


Figura 3.8. Concepto de freno pasivo accionado con el pie

Fuente: CDEI-UPC

- Accionamiento manual:** otro punto a tener en cuenta era la disponibilidad del teleférico por posibles averías. La cesta puede quedarse parada en algún punto del recorrido y para volver a ponerla en marcha se ha de ir físicamente hasta ese punto y solventar el problema. Para evitar una parada tan larga se diseñó un dispositivo de accionamiento manual que el operario podría montar y actuar en estos casos. En algunos teleféricos esto se realiza

simplemente con una palanca que el operario coloca directamente sobre la polea y que hace girar él mismo, es decir, el accionamiento del teleférico deja de ser la gravedad para ser la tracción humana. Se propuso para este nuevo teleférico un sistema de manivela y transmisión por correa que podía fabricarse in situ.

3.1.4. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

En base a las propuestas conceptuales seleccionadas y las especificaciones establecidas, en el CDEI - UPC se diseñaron en 3D los diferentes sistemas del teleférico, con las modificaciones y variaciones de diseño lógicas de esta etapa. Las estaciones superior e inferior se diseñaron de tal manera que tuviesen el mínimo número y los mismos componentes, sólo variase su montaje. Tras varias modificaciones se consiguió un diseño orientable y compacto de perfiles de acero estándar disponibles en la zona (Figura 3.9 y Figura 3.10) del cual se comprobó la resistencia y deformación en base a las fuerzas que recibiría de los cables.

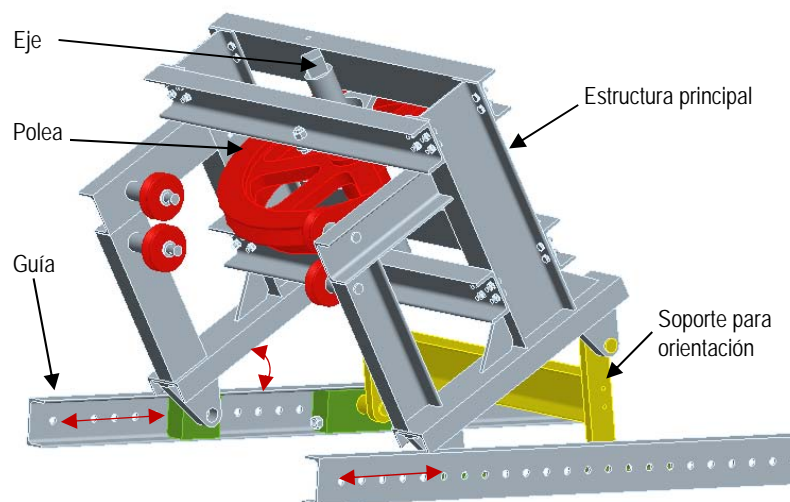


Figura 3.9. Diseño de la estación superior
Fuente: CDEI-UPC

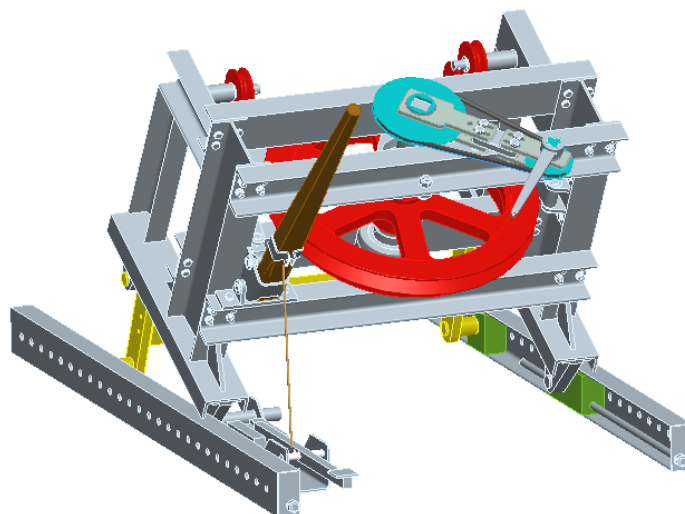


Figura 3.10. Diseño de la estación inferior con sistemas de freno y accionamiento manual montados.
Fuente: CDEI-UPC

El freno (Figura 3.11) se instaló en la estación inferior y se diseñó en base a un sistema de freno pasivo de cinta, pensando en que los materiales para construirlo fuesen los que se tienen más al alcance sobre el terreno, a fin de asegurar el funcionamiento de este sistema clave: madera y cinta de freno de cuero.

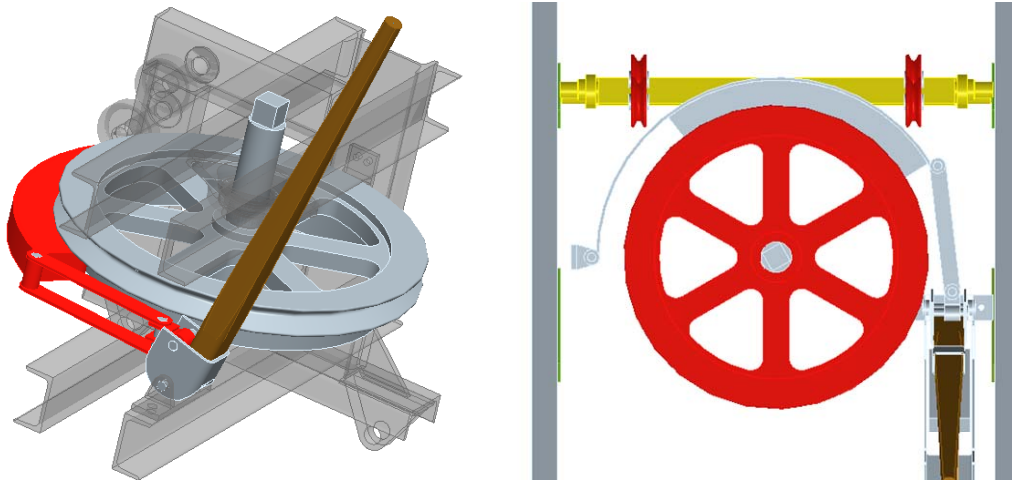


Figura 3.11. Diseño del sistema de freno.

Fuente: CDEI-UPC

El dispositivo de accionamiento manual (Figura 3.12) del teleférico se montaría sobre el eje de la polea únicamente en caso de paro de la cesta a mitad de trayecto. Consistía en un reductor por correa que, actuado manualmente mediante una manivela, hacía girar la polea con menos esfuerzo que directamente sobre ésta, como se realiza actualmente. Las poleas se pudieron mecanizar en el taller local, así como el resto de chapas del sistema. La correa se fabricó de cuero.

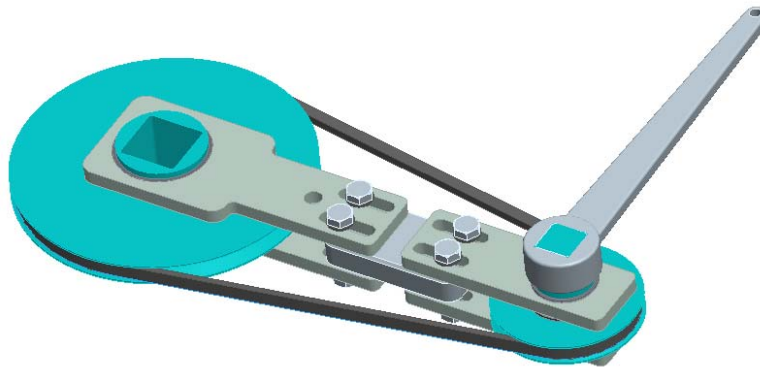


Figura 3.12. Diseño del sistema de accionamiento manual.

Fuente: CDEI-UPC

El nuevo diseño de la cesta permitió reducir la masa de 50 a 26 kg y consistió en un conjunto de perfiles comerciales soldados disponibles en la zona. Se comprobó que no experimentaba deformación plástica cargando un peso de 1200 N.

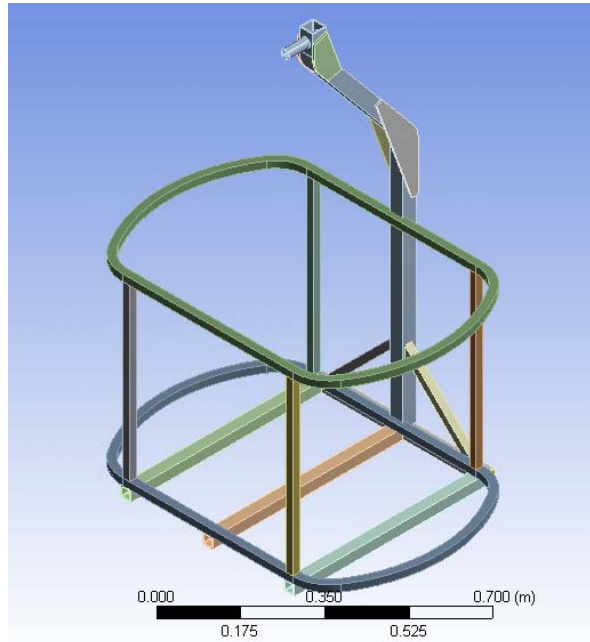


Figura 3.13. Diseño de la nueva cesta.
Fuente: CDEI-UPC

El mecanismo de paso por la torre intermedia se diseñó inicialmente de una manera muy simple y se recomendó al equipo de Practical Action probarlo antes de la instalación definitiva. Se enviaron los planos al ingeniero y al taller local para su correspondiente revisión, fabricación y para realizar allí una prueba que mostró que el sistema no era completamente fiable. Se comunicó al CDEI-UPC, que modificó el diseño y volvió a enviar los planos a Nepal (Figura 3.14 y Figura 3.15). Se volvió a probar y se corroboró en esta ocasión su correcto funcionamiento.

Los diferentes conjuntos del teleférico se fabricaron en el taller local y la mayoría de ellos se trasladaron montados a la zona de instalación, como el caso de la cesta. Allí se realizó la instalación de las estaciones y los diferentes dispositivos de accionamiento, todo de forma manual y con la ayuda de miembros de la comunidad. Se pintaron las piezas cuya función lo permitía, para protegerlas de la corrosión producida por la elevada humedad ambiental.

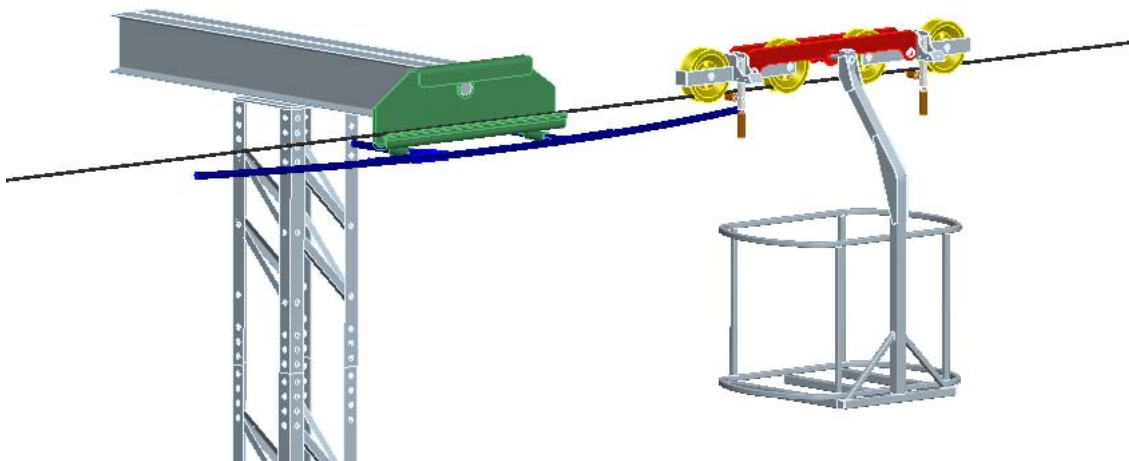


Figura 3.14. Sistema de paso por la torre intermedia
Fuente: CDEI-UPC

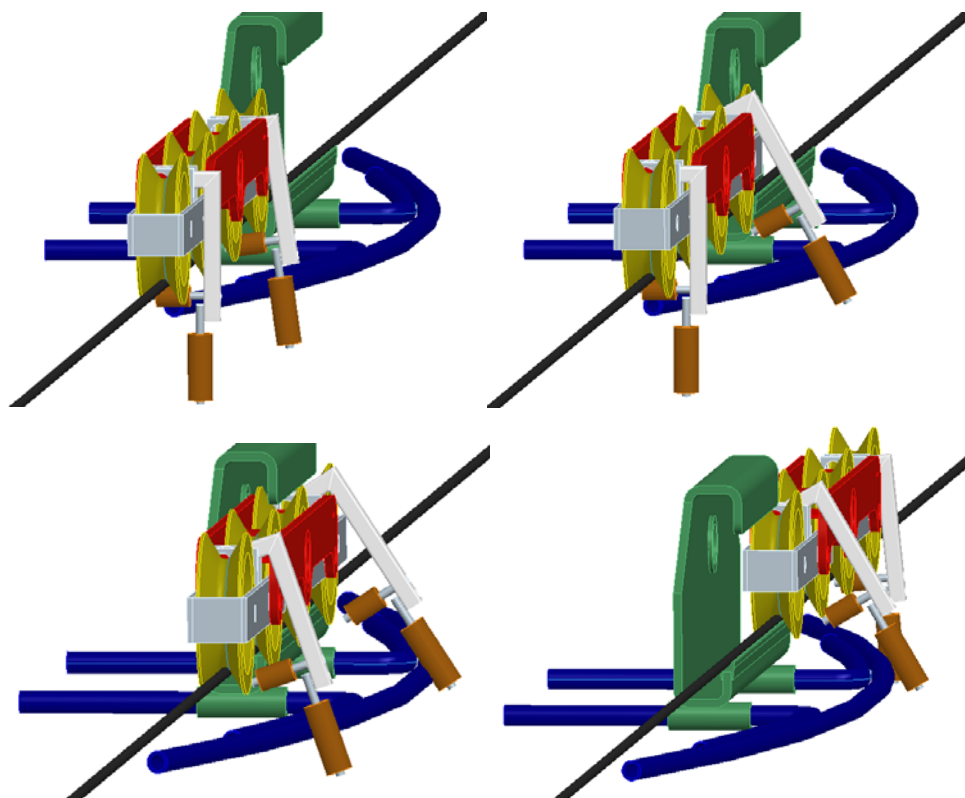


Figura 3.15. Funcionamiento del mecanismo de paso por la torre intermedia

Fuente: CDEI-UPC

Aunque algunos condicionantes de contexto no estaban claramente contemplados en ningún documento (otros sí lo estaban implícitamente en las especificaciones), incidieron enormemente en el diseño de materialización. Éstos fueron:

- **Disponibilidad de componentes de mercado:** había dos componentes de mercado básicos en el diseño que no se hallaban en el mercado local: cables y rodamientos. Estos se conseguían en el mercado indio pero se debían seleccionar de entre la oferta disponibles y contar con unos plazos de entrega largos. Se adaptaron las soluciones a estos condicionantes. El resto de elementos fueron de fabricación propia.
- **Disponibilidad de materiales:** la estructura se fabricó utilizando los materiales disponibles: perfiles de acero estándar (IPE y UPN), chapa de acero (preferiblemente S235JR), de ciertos tipos, dimensiones y espesores, y madera. El taller encargado de la fabricación comunicó la disponibilidad habitual de materiales y a ellos se adecuaron las soluciones.
- **Disponibilidad de tecnologías y herramientas:** en el taller local no se disponía de tecnologías de corte precisas, únicamente soplete, plegado, escarpa, martillo, piedras... Esto condicionó los espesores de la chapa que se podían utilizar. También quedó condicionado el diseño de ciertas piezas y conjuntos por las tolerancias de montaje que se podían conseguir. El torno sólo permitía mecanizar hasta un diámetro máximo de 800 mm, por tanto, quedaba condicionado el diámetro máximo de polea a utilizar en el diseño. No se disponía de métodos de unión continua (a tope) de los cables.

No había red eléctrica, ni generador ni baterías en el lugar de instalación, por lo que algunos conjuntos se debían soldar en el taller y transportar montados, como fue el caso de la cesta

de carga. El resto de conjuntos se debían montar en el lugar de instalación mediante uniones atornilladas. Se adaptó el diseño a este condicionante utilizando los tornillos estándar disponibles en el país.

- **Transporte:** El transporte de los elementos del teleférico hasta el lugar de instalación era largo y a través de terrenos abruptos. Se debía hacer con animales y/o todoterreno, por tanto, quedó limitado el peso y el volumen máximos de las piezas y subconjuntos del teleférico.
- **Montaje, instalación y mantenimiento:** El montaje debía ser manual por completo, por lo tanto, el diseño debía facilitar y conseguir que sólo fuesen necesarias herramientas básicas. Esto se consiguió facilitando, siempre que fue posible, el posicionamiento y la regulación de piezas, principalmente de aquellas que debían montarse en posiciones determinadas (cables, poleas).

La colocación del cable se llevó a cabo con la colaboración de muchas personas que lo arrastraron montaña arriba. El tensado adecuado se realizó con un tensor manual.

Estaba previsto que el mantenimiento lo realizarían los propios operarios del teleférico así que también debía ser mínimo, sencillo y requerir pocas herramientas y/o materiales, si podía ser, que estuviesen al alcance (madera, piedra).

3.1.5. Revisión del proyecto. Análisis de la etapa de definición.

El equipo del CDEI-UPC desarrolló este proyecto de rediseño de un teleférico adaptado al contexto de Nepal de la forma habitual, es decir, siguiendo el proceso de diseño de un proyecto en un país desarrollado. La diferencia principal fue la necesidad de visitar el país de destino y la zona de instalación del teleférico porque ya se preveía un desconocimiento de las características del entorno a todos los niveles. Así, con la ayuda de los técnicos locales, se detectaron los puntos clave que condicionarían el diseño:

- Orografía, acceso y transporte de componentes hasta la zona de instalación;
- No disponibilidad de suministro de energía eléctrica en el punto de instalación;
- Limitaciones en la disponibilidad de ciertos componentes y materiales;
- Incertidumbre en los plazos para conseguir estos componentes y materiales;
- Incertidumbre en la calidad de los materiales;
- Limitaciones en la disponibilidad de tecnologías, herramientas y capacidades de fabricación, montaje y mantenimiento;
- Necesidad de prever el tipo de montaje, instalación y mantenimiento;
- Formación y cultura de los operadores.

Toda esta información fue vital para el correcto desarrollo del proyecto, sin embargo:

- La captación de esta información se realizó sin un orden metodológico y se transmitió verbalmente;
- No se recogió ni se formalizó la información obtenida en un documento ni se elaboró un listado de las características del contexto;

- No se estableció una definición explícita de las restricciones que el contexto imponía sobre las especificaciones del equipo.

Fue durante la realización de las etapas posteriores de este proyecto cuando se detectó la necesidad indispensable de explicitar de forma clara el contexto, y documentar y ordenar los aspectos de entorno para su uso durante el diseño.

Una vez acabado el proyecto se analizó la importancia de la información del contexto y de su documentación y, a partir de los datos anteriores reportados por los participantes, se elaboró la Tabla 3.2. Esta tabla contiene las características del contexto que condicionaron en gran medida las decisiones del proyecto y la definición del diseño. Para la elaboración de dicha tabla se utiliza como base la categorización usada por Riba (2002) en la lista de referencia de apoyo a la elaboración de especificaciones (Tabla 2.3). Sin embargo, se observó que algunos aspectos importantes del contexto no tienen correspondencia con ninguna categoría de las citadas en la lista de referencia de especificaciones (disponibilidad en general, principalmente) lo que muestra una carencia en este guion de especificaciones. También se tuvo en cuenta la experiencia del equipo de diseño y el análisis del estado del arte realizado sobre los factores que contribuyen al fracaso de proyectos en países en desarrollo (Tabla 2.5) y se incluyeron aspectos o preguntas a realizar sobre el contexto que eviten malas prácticas durante el proceso de diseño y ayuden a detectar y superar barreras para la obtención del equipo apropiado. De esta manera se pretendía:

1. integrar ya el trabajo que empezaba a realizarse en la metodología habitual de diseño, utilizando las herramientas disponibles;
2. contemplar todas aquellas cuestiones importantes para la especificación del diseño detectadas tanto en la realización de este proyecto como por diferentes autores.

A continuación, se realizó el análisis de las especificaciones del proyecto y se detectaron los siguientes aspectos a puntualizar o mejorar:

1. Las especificaciones no recogen aspectos importantes del contexto que posteriormente condicionaron el diseño como, por ejemplo, el transporte, aunque sí se tuvo en cuenta durante el proyecto.
2. Algunas especificaciones son poco precisas por falta de información del contexto: qué materiales, componentes y tecnologías están disponibles, qué significa *coste mínimo, mantenimiento mínimo*...
3. No se cuantifica la especificación de coste mínimo. Aunque la ONG se hacía cargo de los gastos de la instalación y no era un aspecto crítico (aunque se debía ajustar al máximo los costes), se debería explicitar esta información.
4. Aparecen aspectos que no se considerarían propiamente especificaciones cuantitativas. Podrían considerarse decisiones, criterios o determinaciones importantes para la definición del diseño, que se enuncian en esta tabla (*sistema de frenado activo, priorizar el uso de materiales reciclables*).
5. Hay decisiones y especificaciones que no dependen del contexto.

CARACTERÍSTICAS DEL CONTEXTO DEL PROYECTO DEL TELEFÉRICO (NEPAL)	
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Necesidad de los agricultores	Bajar sus productos al valle en menos tiempo y con menos esfuerzo.
Productividad de las técnicas utilizadas actualmente	A pie unas 3 horas; conlleva la pérdida de calidad del producto.
Productividad deseada	Reducir a la mitad el tiempo sería aceptable para los usuarios.
Orografía del territorio	Muy abrupta; en la zona de instalación se han de salvar desniveles de unos 500 m.
Condiciones climáticas	Frío con temporada de lluvias abundantes.
Tipo de usuario (operario)	Un hombre en cada estación (superior e inferior) con escasa formación
Nivel de cooperativismo de los miembros de la comunidad	Alto. Se muestran abiertos a colaborar en todo el proyecto. Aportan el trabajo manual durante la instalación.
Coste del transporte actual	0 €, no se tiene cuantificada la pérdida de calidad de los productos; mucho esfuerzo físico.
Precio que están dispuestos a pagar	No pueden pagar nada por el sistema nuevo de transporte
Disponibilidad de infraestructuras y transporte	No existe ninguna vía de comunicación a la zona de instalación y el transporte de mercancías se realiza mediante tracción animal o a pie.
Disponibilidad de energía en las zonas de cultivo	No se dispone de red eléctrica
Disponibilidad de componentes en la zona y en el país	Escasa disponibilidad de componentes de cualquier tipo. Cables y rodamientos se consiguen procedentes de la India. Cable tipo 6x19 Seale (9/9/1). Longitud máxima: 1800 m. Tensor de cable máximo 10000 N. Muelles no disponibles. Se siguen estándares ingleses.
Disponibilidad de materiales en la zona y en el país	Perfiles estándar de construcción (IPE, UPN), tubulares (cuadrados y redondos) y chapa de acero estructural de espesores estándar, S235JR. Se debe consultar la disponibilidad de la zona en el momento concreto. Madera.
Tecnologías de fabricación disponibles en la zona (talleres) y en el país	El taller más cercano dispone de torno (diámetro máx. 800 mm), taladro, soldadura con soplete, corte (sierra) y plegado de chapa rudimentarios (poco precisos). Herramientas de trabajo básicas: destornillador, llaves fijas, escarpa, martillo.

Tabla 3.2. Características del contexto que condicionan el diseño del teleférico.

Fuente: elaboración propia

Como puede observarse, existen carencias de información en esta especificación que no se han explicitado. Los miembros del equipo de diseño las tienen en cuenta implícitamente pero no se documentan adecuadamente. Esto puede afectar negativamente al proyecto si, por ejemplo, el diseño pasa a manos de un nuevo equipo de diseño o, simplemente, un nuevo miembro entra al equipo. Para evitar esto, es conveniente documentar toda la información disponible y, a la vez, asegurar que se dispone de toda la necesaria para la realización del proyecto. Es decir, falta la etapa 0 de análisis del contexto.

3.2. Caso 2: Deshojadora de mazorcas de maíz en Ecuador

3.2.1. Motivación y marco del proyecto

Este proyecto de cooperación se llevó a cabo entre los años 2012 y 2013 (CDEI-UPC, 2013), en colaboración con la Universidad de las Fuerzas Armadas de Quito (ESPE) y fue subvencionado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID; proyecto NewAgrinow, código 11-CAP2-1264). En este proyecto se realizó inicialmente un análisis de diferentes procesos agrícolas y del contexto del país (Ecuador) con el fin de:

- determinar qué equipo resultaría más conveniente introducir y beneficiaría a los pequeños agricultores;
- elaborar las especificaciones del equipo agrícola en base al contexto del país;
- diseñar y fabricar el equipo en colaboración con la ESPE;
- hacer difusión del equipo e iniciar un posible negocio de fabricación y distribución del equipo.

El resultado final del proyecto fue la materialización de unas especificaciones basadas en el contexto en una máquina adaptada a ese contexto del país, orientada a mejorar las condiciones de trabajo y la productividad de los pequeños agricultores de Ecuador, respetuosa con el medio ambiente y cuya fabricación se realizase íntegramente en el país, ayudando de esta forma al desarrollo del tejido industrial local. La máquina diseñada fue una deshojadora de mazorcas de maíz, operación que actualmente los pequeños productores realizan a mano.

Con estos objetivos se realizaron dos estancias en Ecuador durante las cuales se visitaron diferentes centros de investigación agrícola y pequeñas explotaciones de cultivos de cacao, café y maíz:

- Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) de Quito, situado en la Hacienda El Prado, Sangolquí (Zona Sierra).
- Universidad de las Fuerzas Armadas de Quito.
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica.
Investigación y Vinculación con la Colectividad; Unidad de Gestión de la Investigación.
- Cultivos de cacao de pequeños y medianos agricultores. Tena, Napo (Zona Oriente).
- Cultivos de maíz y patata de pequeños agricultores. Latacunga, Cotopaxi (Zona Sierra).
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Sta. Catalina de Quito (Zona Sierra).
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Quevedo (Zona Costa).

En estas visitas se estudiaron los procesos agrícolas de estos cultivos y se detectaron las necesidades de los agricultores para cada uno de ellos. También se investigó sobre diferentes aspectos del contexto que podían afectar el diseño del equipo final: territorio, población, uso del suelo, economía, cultura, sociedad, comunicaciones y accesibilidad... Paralelamente, se analizaron los equipos que utilizan los pequeños agricultores de Ecuador en los procesos de estos cultivos y los equipos que existen en otros países, pero no disponibles en Ecuador. En estas visitas de campo fue de gran ayuda el grupo de trabajo local, que fue clave para contactar con los agricultores y hacer de vínculo con ellos para realizar el análisis del contexto realizado.

3.2.2. Etapa 1. Definición

Para la definición del equipo se partió del análisis de los siguientes aspectos clave que nacían del contexto y que condicionaban, y determinaron en gran medida, algunas especificaciones técnicas de la máquina:

- **Coste.** Variable crítica para que el diseño fuese aceptado por los usuarios. El equipo debía ser económicamente accesible a un pequeño agricultor o grupo de agricultores que compartiesen el equipo.
- **Necesidades y expectativas de los usuarios.** En este sentido, se priorizaron dos deseos manifestados por los usuarios:
 - **Accionamiento.** Se deseaba que fuese un equipo motorizado, aunque fuese más caro, frente a la opción de máquina manual, más ligera y económica.
 - **Máquina individual,** para uso exclusivo de cada agricultor, frente a la opción de máquina compartida por varios agricultores de una zona. En esta decisión entraron en juego aspectos de transporte de máquina o de cosecha, cooperación, etc.
- **Capacidades de los usuarios.** El equipo debía acomodarse a las realidades de formación y habilidades del usuario final.
- **Proceso.** Al tratarse de un diseño original se estudió previamente el proceso del cultivo y posterior procesado del maíz por los agricultores de la sierra. Este análisis, ayudó a decidir qué máquina podría ser más útil para los agricultores, a conocer el movimiento del producto cosechado según el tipo de maíz y para contemplar ideas conceptuales de diseño multifuncional (deshojadora + desgranadora).
- **Masas/Dimensiones.** El equipo debía ser transportado para su uso a lugares poco accesibles, incluso por mujeres o niños, de forma relativamente cómoda.
- **Montaje.** El equipo debía poder ser montado y desmontado por el usuario facilitando así su distribución, transporte y mantenimiento. El montaje debía ser sencillo e intuitivo.
- **Energía.** El tipo de energía y su disponibilidad influyeron sobre la decisión del accionamiento del equipo. Como se verá a continuación, esta decisión afectaba sobre características importantes de la máquina, apuntadas anteriormente: coste, peso, dimensiones, montaje, mantenimiento, disponibilidad...

La mayoría de explotaciones agrícolas de Ecuador están conectados a la red eléctrica que en Ecuador se genera en más de un 50% en centrales hidroeléctricas. Los combustibles fósiles son baratos en Ecuador y fácilmente disponibles.

- **Viabilidad de fabricación y mantenimiento en Ecuador.** Se contemplaron aquí todos los aspectos que afectaban a la disponibilidad de piezas, materiales, tecnologías y recambios para fabricar el equipo y cubrir el mantenimiento en Ecuador. Equipos que necesitasen recambios poco usuales en Ecuador implicarían tiempos de paro de la máquina largos, por lo que se valoraron negativamente.

Así, el planteamiento inicial para definir el diseño del equipo pasaba por decidir tres aspectos básicos:

- Accionamiento manual o motorizado
- Máquina individual o de uso colectivo
- Si el accionamiento no es manual, motor eléctrico o de combustión

Estos aspectos condicionaban muchas otras características de la máquina. La decisión entre máquina manual o motorizada y, posteriormente, entre motor eléctrico o de combustión se tomó en base al siguiente análisis de inconvenientes y ventajas de cada uno de ellos:

- Accionamiento manual (tracción humana) vs motorización:
 - ✓ Menor coste
 - ✓ Menos piezas
 - ✓ Independencia respecto a componentes
 - ✓ Independencia energética
 - ✓ Menos posibilidades de fallo
 - ✓ Menos emisiones
 - ✗ Esfuerzo humano para accionar
 - ✗ Desacuerdo de algunos usuarios
 - ✗ Disponibilidad de mano de obra o medio para acoplar (bicicleta)
 - ✗ Menor productividad
- Motor eléctrico vs motor de combustión:
 - ✓ Disponibilidad eléctrica en la mayoría de las explotaciones agrícolas
 - ✓ Menos emisiones (electricidad proveniente de energía hidráulica)
 - ✓ Menos mantenimiento
 - ✗ Independencia de punto de red, movilidad en el campo de cultivo

Hecho este análisis, se decidió implementar una máquina con motor eléctrico, principalmente por demanda de los usuarios y los ingenieros locales, que basan su decisión en la productividad. El motor eléctrico se presenta como la mejor opción ante el motor de combustión por el peso, el ruido y sus reducidas emisiones, en este caso por la procedencia de la energía eléctrica en Ecuador (hidráulica). Se dejó abierta la posibilidad de que pudiese ser manual si así lo deseaba el usuario.

Una vez decidida la motorización de la máquina se puso de manifiesto que también quedaban definidos en gran medida los siguientes aspectos:

- Coste del equipo.
- Movilidad de la máquina: se trataría de una máquina relativamente fija, para utilizar cerca de un punto de red.
- Se debería transportar la cosecha hasta la máquina (punto de red).
- Los residuos de pelar las mazorcas quedarían fuera del campo de cultivo. Se limitaba así su uso como abono en el propio campo, debiendo trasladarse si quiere usarse como tal, pero su reutilización como pienso o abono no se ve comprometida.

Partiendo de estas premisas y decisiones tomadas, se establecieron las especificaciones básicas del equipo que se deberían tener en cuenta durante el diseño de la máquina. Como en el caso anterior, se utiliza la lista de referencia de Riba (2002). Como puede observarse en la Tabla 3.3, se describen aquí conceptos más detallados sobre los que ya se toman decisiones de diseño a nivel de definición de máquina (volumen, productividad, fuerza de accionamiento, duración, mantenimiento, etc.). Tal como se recomienda en la bibliografía, se intenta cuantificar al máximo todas las especificaciones,

no condicionar soluciones dejando abiertas todas las opciones y alternativas posibles de diseño. Sin embargo, la falta de información sobre ciertos aspectos del contexto hace que algunas especificaciones no puedan cuantificarse. En este caso, las especificaciones podían ser propuestas por los agricultores consultados (usuarios, U), el equipo de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), el equipo de diseño del CDEI-UPC (CDEI), o bien derivarse del análisis del contexto (CTXT).

3.2.3. Etapa 2. Diseño conceptual

Una vez establecidas las especificaciones, se inicia el diseño conceptual de la máquina. En este sentido se plantea, por parte del equipo del CDEI-UPC, hacer un diseño que incorpore innovaciones para conseguir un equipo apropiado:

- Diseño modular: diseñar la máquina por módulos independientes desmontables que permita al agricultor adquirirlos por separado y montarlos él mismo. De este modo se reduce el precio de compra de la máquina al disminuir el tiempo de montaje y el coste del transporte, pero tanto el diseño como la gestión de las piezas fabricadas es más laboriosa.
- Incorporar materiales naturales locales: dar los planos (plantillas) de piezas que se puedan fabricar en madera y que se las pueda fabricar el propio agricultor, si tiene capacidad. Al ser un diseño modular permite adquirir todas las piezas de la máquina o los módulos necesarios que no se pueda fabricar el agricultor (bancada, accionamiento, rodillos, protecciones, ...).

Con estas ideas iniciales, se decide el principio de funcionamiento del equipo incorporando la información sobre máquinas similares, las técnicas locales que los agricultores de las comunidades utilizan y el punto de vista del equipo local. En este sentido, se detectan las siguientes tendencias de los ingenieros locales:

- Amplio conocimiento de la realidad de los usuarios que utilizarán la máquina (agricultores)
- Mimetismo a la hora de incorporar características de máquinas dirigidas a países desarrollados
- Escasa formación en diseño aplicado de máquinas
- Baja tendencia y poca experiencia en innovación

Teniendo en cuenta todos estos inputs, se decide innovar lo mínimo posible: se prioriza la efectividad y satisfacción de los usuarios locales a la innovación. También se deja de lado la opción de incluir la función de desgranado. Estas decisiones vienen condicionadas principalmente por las pocas oportunidades de realizar pruebas de campo donde comprobar las diferentes alternativas.

Por lo tanto, se decide utilizar un sistema que arranque las hojas de las mazorcas por fricción, mediante dos rodillos o un único rodillo y una plancha, recubiertos de caucho vulcanizado. El rodillo, al girar, presiona la mazorca contra el otro rodillo libre (o la chapa con el material antideslizante) y arranca las hojas. En base a este principio de funcionamiento con rodillos, se añaden las siguientes especificaciones:

Concepto	Descripción	Fecha	Propone	R/D
Función	Deshojar la mazorca con un único rodillo.	6/04/2012	ESPE-CDEI	D
Movimientos	La velocidad de rotación del rodillo no superará 1.000 min ⁻¹	6/04/2012	ESPE-CDEI	R

Tabla 3.4. Especificaciones añadidas una vez decidido el principio de funcionamiento de la deshojadora.

Fuente: CDEI-UPC

Se ha de probar si con un solo rodillo y una placa se pueden deshojar las mazorcas. En un proyecto realizado en Catalunya, se construiría un prototipo preliminar para comprobar si este principio de funcionamiento es adecuado para arrancar las hojas del maíz. Ante la imposibilidad de obtener maíz

de las mismas características que el de la sierra ecuatoriana y la falta de medios para realizar un prototipo extra en Ecuador, se decide concebir y realizar el prototipo final de la máquina de manera que se pueda montar la placa y, si no funciona con la productividad deseada, se pueda montar fácilmente el segundo rodillo.

3.2.4. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

Se inicia aquí el diseño de detalle y de materialización y se abre un abanico de actividades del diseño que se van ejecutando en paralelo:

- Búsqueda de proveedores (motores, componentes y materiales): éstos deben garantizar una disponibilidad y mantenimiento adecuados, lo que a veces es muy complicado por la dependencia técnica del país. La elección del proveedor condiciona el motor disponible para la aplicación. Asimismo, éste define el diseño de las piezas de acoplamiento a la máquina y la transmisión, la bancada, el peso, dimensiones, etc.
- Definición del tipo de transmisión y movimiento de los rodillos: se escoge una transmisión por correa por el bajo coste y la facilidad de mantenimiento. En este sentido, se buscan poleas, correas y rodamientos que sean componentes de automóvil, de los que hay multitud en el país. De esta manera se asegura la disponibilidad de estos componentes. El movimiento opuesto de los rodillos se hace mediante dos engranajes solidarios a los propios rodillos. Se buscan proveedores (distribuidores o fabricantes) de engranajes que garanticen la disponibilidad de estas piezas.
- Definición de los rodillos: Para conseguir la fricción adecuada con las hojas de las mazorcas, el rodillo y la placa se recubrirán de caucho, inicialmente liso y se harán pruebas de funcionamiento para saber si deben tener cierta rugosidad (mecanizado posterior). Se busca proveedores que hagan recubrimiento de caucho.
- El resto de piezas se diseñan a base de chapas de acero de espesor estándar, reduciendo al máximo los mecanizados y la soldadura. El diseño del conjunto se hace modular, lo que facilita la fabricación y el montaje, pero no se introducen materiales como la madera ni se contempla por el momento vender la máquina por módulos.

Aunque alguno de los puntos anteriores no estuviese del todo definido se avanza en el diseño del modelo 3D y se realiza el diseño de la bancada (Figura 3.16):

- La inclinación de la bancada hace que las mazorcas caigan por gravedad a lo largo del rodillo a un contenedor situado al lado de la máquina.
- Basada en perfiles en L estándar y atornillados entre sí (tornillos de rosca americana). Se facilitó así la disponibilidad de material y el montaje y desmontaje de la máquina para su transporte. Se dejó libertad en la selección del perfil según la disponibilidad del taller y del país (materiales con estándares estadounidenses).
- Se dispuso el motor de tal manera que la máquina quedase lo más compacta posible, se pudiese ajustar la posición y tensar la correa.
- El eje del rodillo gira sobre cojinetes de fricción autolubricados que disminuían el coste ante a los rodamientos y requerían menos mantenimiento (el ambiente donde trabajaría la

máquina sería muy polvoriento). Los soportes del eje fueron piezas mecanizadas, no soportes comerciales, que pudiesen ser fácilmente fabricados y montados en la máquina al realizar el mantenimiento (cambio de rodillos)

- Todo el conjunto se pintó para evitar la corrosión, ya que el equipo estaría expuesto a elevada humedad ambiental.
- Se dispusieron finalmente las protecciones hechas de chapa plegada, dejando libre el espesor disponible según el taller.

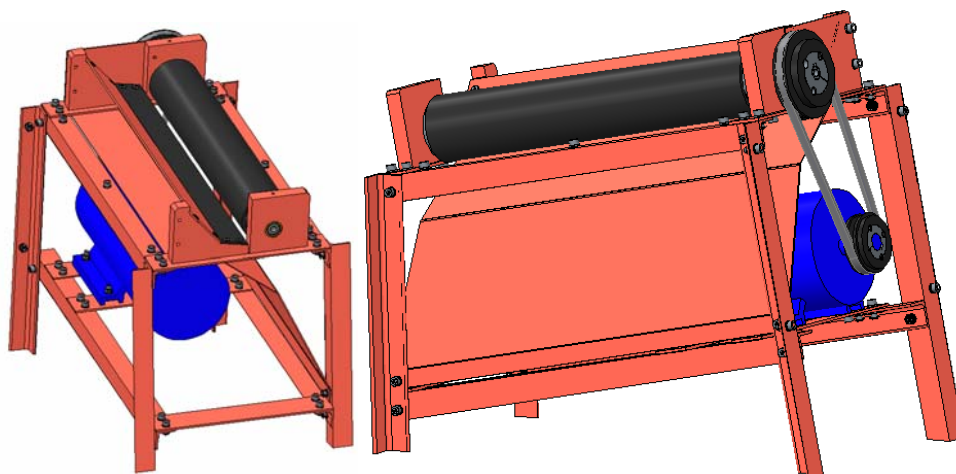


Figura 3.16. Diseño de detalle del primer prototipo de deshojadora.

Fuente: CDEI-UPC – ESPE

Se envían los planos al ingeniero local que es el responsable de interlocutar con el taller encargado de la fabricación y los proveedores de los componentes de mercado. El taller seleccionado puede realizar toda la fabricación de las piezas y los engranajes, conseguir los componentes de mercado y montar la máquina. El recubrimiento de caucho se debe hacer en un taller distinto. Como se ha dicho, algunos de los puntos se decidirán conjuntamente con el taller en función de los medios disponibles para éste (máquinas herramienta, dimensiones de mecanizado, componentes, etc.). Del mismo modo, algunos puntos del funcionamiento se comprueban durante los ensayos del primer prototipo.

Una vez fabricado el primer prototipo y realizadas unas primeras pruebas (Figura 3.17), se detectó que tanto el funcionamiento del rodillo contra la placa, así como entre rodillos lisos no aportaban suficiente fricción y no se consiguió deshojar la mazorca adecuadamente y en el tiempo deseado. Se decidió entonces introducir el segundo rodillo y mecanizar ambos haciendo un dibujo de tacos para dar más rugosidad. La previsión en el diseño para añadir el segundo rodillo sin necesidad de modificar en exceso la bancada permitió realizar esta modificación de forma rápida y sencilla. Para obtener el relieve adecuado en los rodillos se mecanizaron diferentes formas y se efectúan las correspondientes pruebas de funcionamiento. El mecanizado del caucho es complejo de obtener con las herramientas disponibles y esto hace que se alarguen las pruebas y la obtención de resultados, sin embargo, tras tres iteraciones se consigue una solución que funciona adecuadamente (Figura 3.18).

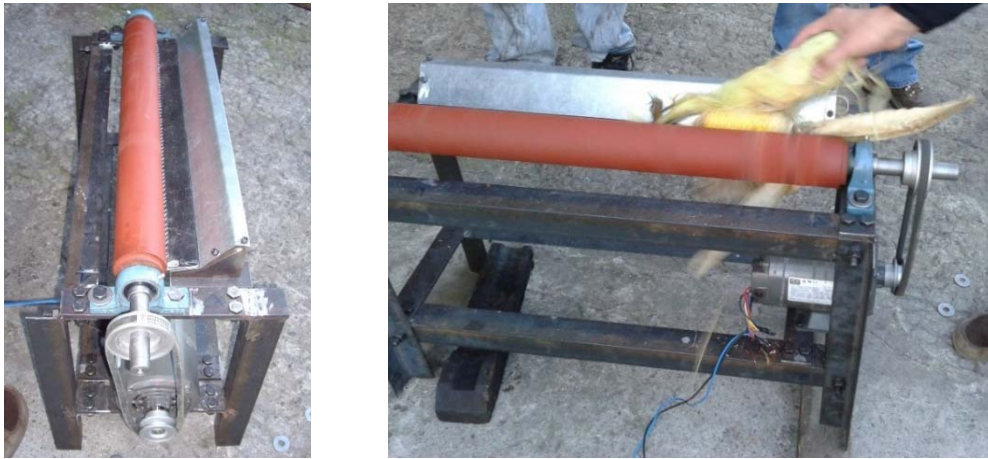


Figura 3.17. Primer prototipo de deshojadora construido en Ecuador.

Fuente: CDEI-UPC – ESPE

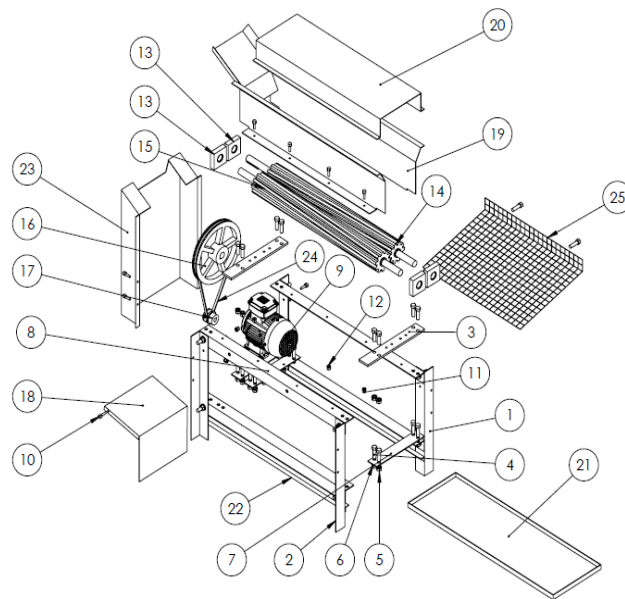


Figura 3.18. Segundo prototipo construido de deshojadora y despiece.

Fuente: CDEI-UPC - ESPE

3.2.5. Revisión del proyecto. Análisis de la etapa de definición

En este proyecto realizado en Ecuador, tras la experiencia del proyecto en Nepal, se pone mayor atención al análisis del contexto durante la ejecución del diseño y a la información que de él se extrae y que afecta al proyecto. Se procedió siguiendo la metodología de fases tradicional pero, en este caso, documentando ciertos aspectos de contexto al inicio del proyecto, sin seguir un guion estructurado para ello (apartado 3.2.2). A partir de la información recogida se elabora la Tabla 3.5, como en el caso anterior del teleférico. En ella se recogen y clasifican cada uno de estos aspectos observados siguiendo los criterios de la bibliografía analizada, la experiencia propia y la categorización utilizada por Riba (2002). Como puede observarse, el contexto de Ecuador no es tan restrictivo en cuanto a disponibilidad de componentes o materiales como el de Nepal.

CARACTERÍSTICAS DEL CONTEXTO DEL PROYECTO DEL TELEFÉRICO (NEPAL)	
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Necesidad de los agricultores	Deshojar maíz en menos tiempo
Productividad de las técnicas utilizadas actualmente	Manualmente 6-8 mazorcas/minuto
Productividad deseada	≥12 mazorcas/minuto
Orografía del territorio	La de la Sierra es muy montañosa y abrupta, con grandes desniveles.
Clima	Muy variable, principalmente en la sierra: pluviosidad elevada, alta humedad.
Tipo de usuario (operario)	La formación de los agricultores es escasa (básica) o inexistente. La máquina la utilizarán tanto hombres como mujeres o niños.
Nivel de cooperativismo de los miembros de la comunidad	Bajo en la Sierra.
Coste de las técnicas utilizadas actualmente	Coste de la hora del agricultor (manual) muy bajo.
Precio que los agricultores están dispuestos a pagar	Entre 200 y 300 dólares.
Precio de las máquinas similares disponibles	Sobre los 2.000 dólares.
Disponibilidad de infraestructuras y transporte	Las vías de comunicación son precarias en muchas zonas y trasladarse de una finca a otra en ocasiones es complicado para los agricultores. Caminos no asfaltados transitables con todoterreno o a pie. No es habitual que los agricultores dispongan de vehículo propio.
Disponibilidad de energía en las zonas de cultivo	La mayor parte de las explotaciones agrícolas disponen de energía eléctrica (110 V). Disponen de combustible y a bajo precio (asequible para ellos).
Disponibilidad de componentes en la zona y en el país	Alta disponibilidad de componentes usados en automoción (transmisión por correa); tiempo de entrega variable según la zona.
Disponibilidad de materiales en la zona y en el país	Se dispone de la mayoría de formatos estándar de acero, aluminio, latón, plásticos, elastómeros, etc. Se siguen estándares norteamericanos.
Tecnologías de fabricación disponibles en la zona (talleres) y en el país	Los talleres consultados pueden en su mayoría mecanizar y plegar piezas sencillas. Corte por láser disponible en las grandes ciudades. Posibilidad en algunos talleres de mecanizar engranajes y recubrir con caucho ciertas piezas y mecanizarlas, aunque sin requerimientos de precisión elevados. Tiempos de entrega largos y variables.
Aspectos ambientales	El impacto ambiental del equipo no es prioritario para los agricultores. La energía eléctrica en Ecuador se produce en más de un 50% en centrales hidroeléctricas
Aspectos legales	Existen máquinas similares (dentro y fuera del país), utilizadas para esta función.

Tabla 3.5. Características del contexto que condicionan el diseño de la deshojadora.

Fuente: elaboración propia

A continuación se realizó el análisis de las especificaciones del proyecto para detectar si hay carencias de información que dependan del contexto u otros aspectos a mejorar. Se detectan los siguientes inconvenientes:

1. Algunas especificaciones no pudieron cuantificarse o concretarse más durante la realización de las especificaciones por falta de información sobre el contexto, por ejemplo, qué materiales, componentes y tecnologías están disponibles en el entorno.
2. Algunas especificaciones dan soluciones al diseño por lo que se deberían reformular o eliminar: el equipo ha de ser modular o desmontable (...), ha de poder ser transportado en módulos desmontables (...).
3. Se observa que algunas especificaciones no son claramente cuantitativas, saliéndose de la definición más extendida en la bibliografía: se ha de poder transportar por dos personas sin desmontar, impacto ambiental mínimo... Sin embargo, si nos acogemos a definiciones menos estrictas (Pahl et al., 2007; Riba, 2002), estas especificaciones cualitativas también serían aceptadas como tal.

Tal como sucedía en el caso del teleférico en Nepal, aunque en este proyecto se prestó mayor atención al contexto, siguen apareciendo carencias de información en la especificación del diseño. Los miembros del equipo de diseño la tuvieron en cuenta implícitamente pero no se documentó o, si se hizo, no de forma metódica.

3.3. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha descrito el marco de cada uno de los proyectos de diseño de máquinas apropiadas llevados a cabo en todas sus etapas: definición, diseño conceptual, materialización y diseño de detalle. Estos proyectos muestran la necesidad de establecer un procedimiento que permita contemplar e integrar con rigor toda la información del contexto de la comunidad al que va dirigido, explicitándolo adecuadamente.

El proyecto de diseño del teleférico en Nepal hizo, ya en sus primeras etapas, focalizar la atención del equipo de diseño hacia el entorno, aumentar su sensibilidad hacia los condicionantes del contexto respecto al proyecto y mejorar la captación de información en el breve tiempo en que se realizó la visita al país. Aun así, no se aplicó ninguna metodología para recabar ni documentar la información del contexto, pero durante el proceso de diseño se tuvo en cuenta la mayor parte de las restricciones del entorno que afectaban a la máquina.

En el caso del diseño de la deshojadora de maíz en Ecuador ya se realizó una etapa previa de captación de información, pero sin seguir una metodología concreta ni herramientas para ayudar en este proceso. Así, el proceso de diseño incorporó, también en este caso, las restricciones y condicionantes del contexto que afectaban a la máquina.

Sin embargo, la revisión de cada proyecto realizada en este capítulo muestra los defectos y carencias que presentan las especificaciones de estos proyectos al no seguir una metodología adecuada y no disponer de toda la información de forma ordenada. También se ha esbozado una clasificación inicial de las características del contexto de estos proyectos que servirá para establecer en el capítulo siguiente, junto al análisis previo del estado del arte, una categorización de los aspectos más relevantes del contexto que afectan a los proyectos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas.

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA DE DISEÑO DE MÁQUINAS APROPIADAS

En este capítulo se desarrolla la metodología para el diseño de máquinas agrícolas apropiadas que consiste fundamentalmente en introducir una nueva etapa 0, análisis del contexto, previa a las etapas de la metodología clásica de diseño de máquinas (definición, concepto, materialización y detalle).

Esta propuesta requiere poner una especial atención en los conceptos de contexto y especificaciones, que se detallan en la primera parte de este capítulo. El contexto constituye el escenario que ha de enmarcar el proyecto y, en concreto, las especificaciones. De su análisis e interpretación dependerá en gran medida el éxito de un proyecto de diseño de máquinas apropiadas. La especificación es el resultado de la primera etapa de las metodologías de fases, la etapa de definición, donde se toman las decisiones iniciales que condicionarán todo el proyecto. Como se verá, contexto y especificación están fuertemente vinculados y éstas han de generarse a partir del análisis de aquél. Por ello, el análisis del contexto ha de constituir en sí mismo una etapa del diseño, previa a la definición de la máquina, y ha de tener una herramienta que ayude al equipo de diseño a su elaboración, similar a la lista de referencia para la elaboración de las especificaciones.

En la segunda parte de este capítulo se elabora la herramienta para llevar a cabo la nueva etapa 0 en estos proyectos de máquinas apropiadas: la lista de referencia para el análisis del contexto. Esta lista se elabora en base al estudio realizado de la bibliografía y al análisis de los proyectos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas del capítulo anterior. Se han tenido en cuenta los aspectos determinantes en estos proyectos y se han clasificado de manera que la obtención de información sobre el terreno sea lo más sencilla posible: aspectos medioambientales, aspectos de los usuarios, infraestructuras, entorno tecnológico y aspectos del proceso operativo. Esta lista de referencia ha de ser la herramienta para la elaboración del documento de contexto, resultado de la nueva etapa de análisis del contexto. Este documento de contexto, elaborado bajo este guion, ha de contener la información necesaria para una correcta definición y llevar a cabo el resto del proyecto de diseño del equipo apropiado con éxito.

4.1. Planteamiento de la metodología

Tal como se ha visto en el capítulo anterior (apartado 2.3), el factor clave del fracaso de algunos proyectos consiste en no haber contemplado algún aspecto importante del contexto que afectará de forma directa a la adecuación de la máquina. Como también se ha visto en la revisión de la bibliografía, ninguna de las metodologías de diseño incluye, cuando se aplican al diseño de máquinas apropiadas, un análisis metódico y simple de los aspectos básicos del contexto al que va dirigido el equipo. Por tanto, existe una carencia en las metodologías de diseño para máquinas apropiadas cuya solución es el objetivo de la presente tesis.

Dentro de las metodologías de diseño las metodologías de fases son las más utilizadas en el diseño de máquinas y son corroboradas ampliamente en la literatura, tanto por su aplicación en proyectos en países industrializados como en proyectos de desarrollo. La Figura 4.1 muestra la secuencia de etapas básicas de diseño de este tipo de metodologías y los resultados de cada etapa (Riba, 2002).

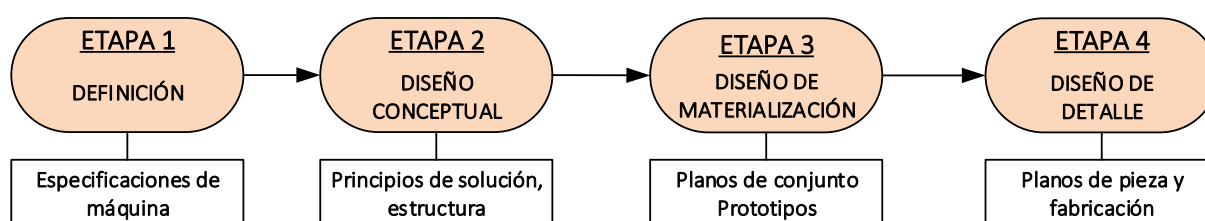


Figura 4.1. Secuencia básica de etapas de las metodologías de fases.

Fuente: elaboración propia.

Es en esta secuencia de etapas donde se echa en falta el análisis del contexto del proyecto. Citando a los autores Mattson & Wood (2014) queda clara la importancia del contexto en el diseño de máquinas:

“Only when the context is established and understood can the solution finding process produce a valuable outcome. The context is the set of circumstances that form the setting for the solution. Without an understanding of the setting, it is impossible to know if a given product can or should be implemented.”

Relacionando esta afirmación con las metodologías de fases de diseño, se puede representar la influencia del contexto sobre cada una de estas etapas. La gráfica de la Figura 4.2 muestra, de forma cualitativa, esta influencia. Es en la etapa de definición y de generación del concepto donde más peso tiene el contexto y donde se debe hacer mayor uso de la información procedente de éste ya que son las etapas donde se gesta el acierto de la solución, donde se toman decisiones que condicionan la configuración y el éxito del proyecto. En las etapas de materialización y diseño de detalle de la solución, el uso de la información del contexto es menor pero también necesaria, principalmente para definir los procesos de fabricación utilizados, materiales disponibles, etc.

Así, vemos como el contexto es el marco de todo el proceso de diseño de un equipo, con mayor influencia sobre las etapas iniciales, pero presente en todas ellas. Este análisis se considera de suficiente importancia para el éxito del proyecto de máquinas apropiadas como para:

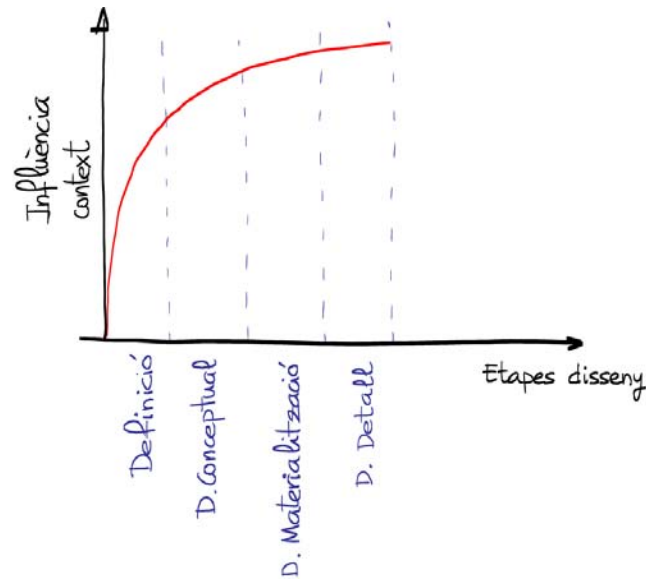


Figura 4.2. Influencia del contexto en cada una de las 4 etapas de las metodologías de fases.
Fuente: elaboración propia.

1. incluir en esta secuencia de las metodologías de fases una etapa dedicada al análisis del contexto, separada del resto y con entidad propia;
2. situar esta nueva etapa justo antes de la etapa de definición del equipo;
3. vincular los resultados de esta etapa directamente a la definición y las especificaciones, es decir, éstas han de estar, en parte, basadas en el análisis del contexto;
4. proveer a los ingenieros del proyecto de máquinas apropiadas de una herramienta que permita realizar este análisis y definir el contexto de manera adecuada y estructurada.

Todo lo anterior fundamenta la propuesta de introducir en las metodologías de fases un análisis del contexto como una etapa inicial, previa a cualquiera de las etapas existentes, que enmarque y guíe el diseño, como lo hacen las especificaciones de diseño. Siguiendo estos objetivos, se propone la secuencia de etapas mostrada en la Figura 4.3 para la metodología de diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Como puede observarse, la etapa de análisis del contexto se propone como etapa 0, previa a la definición del equipo. Estas dos etapas estarán fuertemente interconectadas ya que, como en todo el proceso de diseño, se deberán realizar retornos a la etapa 0 desde la etapa 1 al detectar que falta alguna información del contexto importante para la definición de nuestra máquina.

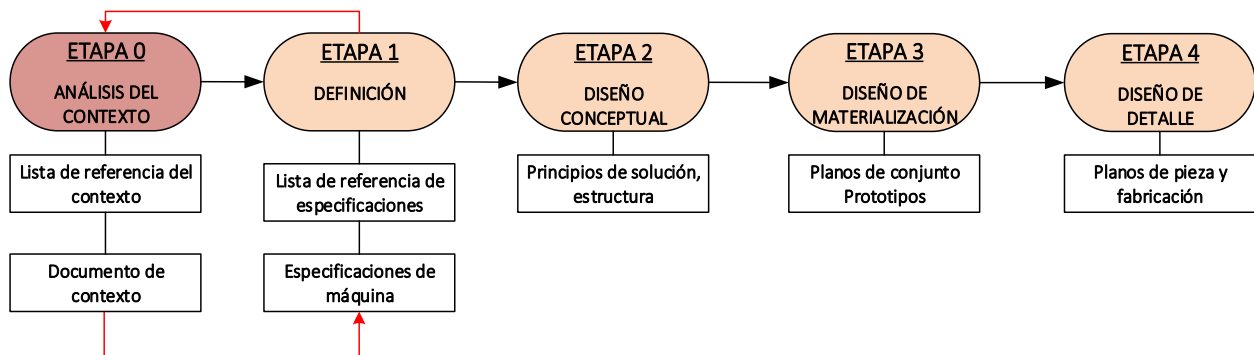


Figura 4.3. Secuencia básica de etapas de la metodología propuesta para el diseño de máquinas agrícolas apropiadas.
Fuente: elaboración propia.

La herramienta de trabajo de la etapa de definición, como hemos visto anteriormente, es la lista de referencia de especificaciones (Tabla 2.3), que sirve de guía y ayuda a los ingenieros en la elaboración de las especificaciones del equipo, resultado de esta etapa. De forma similar, se propone que la herramienta de trabajo en la etapa de análisis del contexto sea una guía, la *lista de referencia del contexto*. Con ella, los ingenieros de proyecto deberán elaborar el *documento de contexto*, resultado de esta nueva etapa y base para la definición de la máquina y la elaboración de las especificaciones. Este documento contendrá toda la información del contexto necesaria para la correcta definición del equipo.

Esta información, como se ha dicho anteriormente, también afecta a las etapas posteriores del proceso de diseño (materialización y detalle) pero en menor medida. A partir de los casos detallados en el capítulo anterior, se realizó un análisis para evaluar cómo afectaba cada una de las informaciones de contexto disponibles a las diferentes etapas y en qué momento del proceso de diseño se utilizaban. Este análisis mostró que el nivel de afectación y utilización de cada información en cada etapa depende en gran medida, de la información en particular que se considere, de la máquina que se diseñe y del contexto. Algunos aspectos afectarán a todas a las fases del diseño, algunas informaciones se utilizarán principalmente en las etapas de materialización y detalle (como los materiales o las tecnologías disponibles), pero en ningún caso se pueden desvincular de la fase de definición y de generación de especificaciones, espina dorsal del diseño.

En esta tesis se propone una lista de referencia del contexto cuyo contenido estará basado en el análisis de casos reales de proyectos de diseño de máquinas apropiadas. Esta lista de referencia deberá cumplir, siguiendo las recomendaciones de Pahl & Beitz (página 29), los siguientes requisitos:

- ha de ser una herramienta práctica y sencilla,
- se ha de adaptar a la metodología de fases,
- no ha de suponer un cambio substancial en los métodos de trabajo del proyecto de diseño,
- ha de ser aplicable a cualquier tipo de proyecto de diseño,
- ha de propiciar y facilitar la recogida de toda la información necesaria y su gestión posterior.

Bajo estas pautas se elaborará la lista de referencia del contexto a partir de casos de proyectos reales: se analizará la secuencia de diseño llevada a cabo, cómo se han generado las especificaciones en base a un contexto determinado (comunidades en desarrollo) y qué aspectos de éste son condicionantes para las especificaciones y el diseño del equipo. Por ello, se hace necesario revisar los conceptos *contexto* y *especificación* y definir de forma clara cuál es el uso e interpretación que de ambos términos se hace en esta tesis.

4.2. El contexto en proyectos de diseño de máquinas apropiadas

En el marco de este trabajo se define el contexto, su importancia en el proceso de diseño y sus límites. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua, la palabra contexto se define como:

“Entorno físico o de situación, político, histórico, cultural o de cualquier otra índole, en el que se considera un hecho.”

“Conjunto de circunstancias que rodean o condicionan una situación y sin las cuales no se puede comprender correctamente.”

Esta segunda definición introduce el concepto *comprender correctamente una situación*, que en el ámbito de diseño de máquinas apropiadas que nos ocupa es clave. Es importante este matiz ya que, aunque el proceso de diseño de un producto puede realizarse sin conocer el contexto al que va destinado, ese diseño no se adaptaría al entorno o situación en la que ha de *vivir* y el riesgo de fracaso sería elevado. También puede darse el caso de partir de un diseño para un determinado contexto y adaptarlo a otro contexto. Este diseño puede presentar inconvenientes ya en su base conceptual y no cubrirá de forma satisfactoria todo el ciclo de vida en el contexto de destino. Por lo tanto, es esencial comprender correctamente las circunstancias que rodean el ciclo de vida de la máquina, desde su concepción a su retirada.

Este análisis deberá ser una fotografía de las características del contexto en que ha de funcionar el equipo y “vivir” el proyecto (fabricación, distribución, rediseños futuros, etc.). Así como en la generación de la especificación se toman algunas decisiones sobre el equipo, en esta etapa de análisis del contexto no se toman decisiones; ha de ser una etapa de observación e interpretación. Tal como define D. A. Norman (2013) en su gráfico de doble diamante (Figura 4.4), es una etapa de divergir. Se amplía la atención para observar, analizar y entender el entorno y buscar cuál es el problema a resolver y sus circunstancias, para posteriormente centrarla en definir adecuadamente el producto o servicio a través de las especificaciones. Es fundamentalmente la observación e interpretación de la situación de partida.

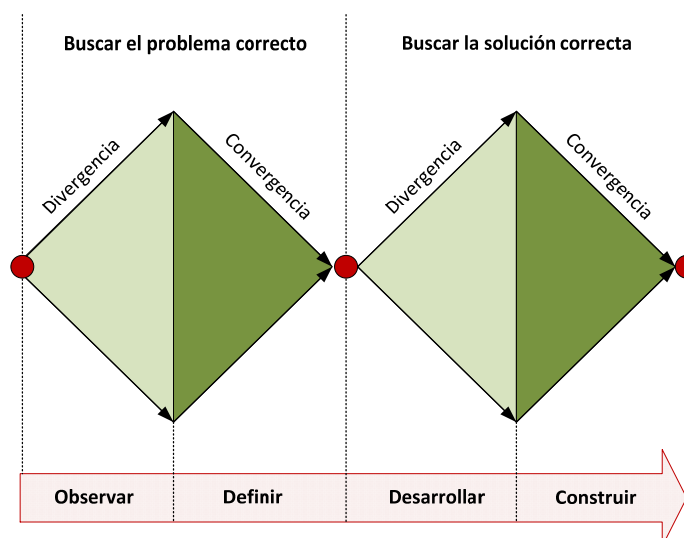


Figura 4.4. Modelo de doble diamante de diseño.
Fuente: elaboración propia a partir de Norman (2013).

La Figura 4.5 muestra el esquema de funcionamiento de esta nueva etapa de la metodología: se deberá realizar esta tarea de observación, análisis e interpretación del entorno; para ello se contará con una herramienta, la lista de referencia del contexto, que ayudará al equipo responsable del diseño a elaborar el documento de contexto, resultado de esta etapa.

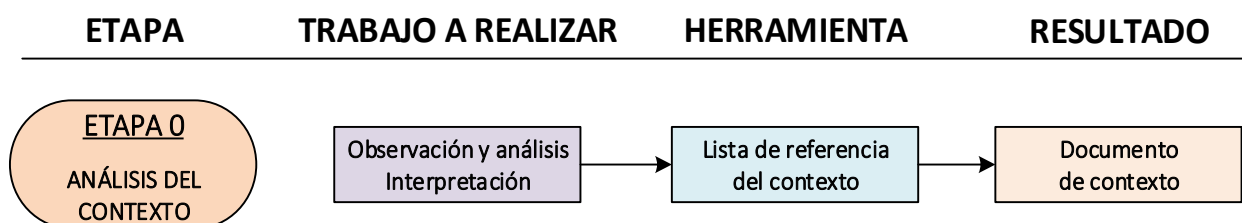


Figura 4.5. Tareas, herramienta y resultado de la nueva etapa de la metodología.

Fuente: elaboración propia.

Este entorno puede variar significativamente en función del tipo de producto o de equipo a diseñar. En los proyectos realizados en países desarrollados, donde es habitual que la especificación recaiga sobre el departamento responsable de la definición de producto de la empresa, la especificación se realiza después de un análisis del contexto muy acotado y focalizado en el producto a diseñar (ya decidido). En el caso de una lavadora, por ejemplo, el contexto puede ser doméstico, de autoservicio o industrial y se analizarán las necesidades concretas de cada uno. El contexto general, más amplio, se enfoca al mercado, la competencia, el cliente, etc. El resto del contexto ya se conoce o se da por conocido: es el de nuestros países desarrollados y no es necesario explicitarlo. Cuando se trata de desarrollar un equipo para comunidades en desarrollo esta explicitación del contexto ha de ser mucho más amplia y exhaustiva, sobre todo cuando los diseñadores pertenecen a contextos diferentes.

Por otra parte, el tipo de proyecto puede variar en función del nivel de concreción de su punto de partida (innovador, original, rediseño o variante, ver apartado 2.2.2.1). Cuanto más acotado sea el punto de partida, más específicas deberán ser las características del contexto, pero, aun así, el contexto general será el marco que defina cada una de ellas. En los casos mostrados en el capítulo anterior se ha mostrado un caso de proyecto de rediseño (teleférico) y uno original (deshojadora).

Todo esto sin olvidar, como se ha visto en el capítulo anterior, que en el proceso de diseño a menudo se realizan bucles y, en la práctica, no es estrictamente un proceso lineal. Así, se propone modificar la espiral de desarrollo de proyectos de diseño mecánico de Ullman (descrita anteriormente, Figura 2.13) tal como se muestra en la Figura 4.6. Esta espiral propuesta contempla el análisis del contexto como etapa previa a la definición del equipo. Cabe apuntar que un análisis del contexto en sentido general es muy amplio, inabarcable; se deberá hacer una lectura parcial ajustada a los aspectos que pueden incidir en el diseño. Por este motivo, también se incluye la posibilidad de volver a este análisis cuando sea necesario (bucles de diseño), para estudiar aspectos que se hubiesen pasado por alto y se descubra que conviene considerar.

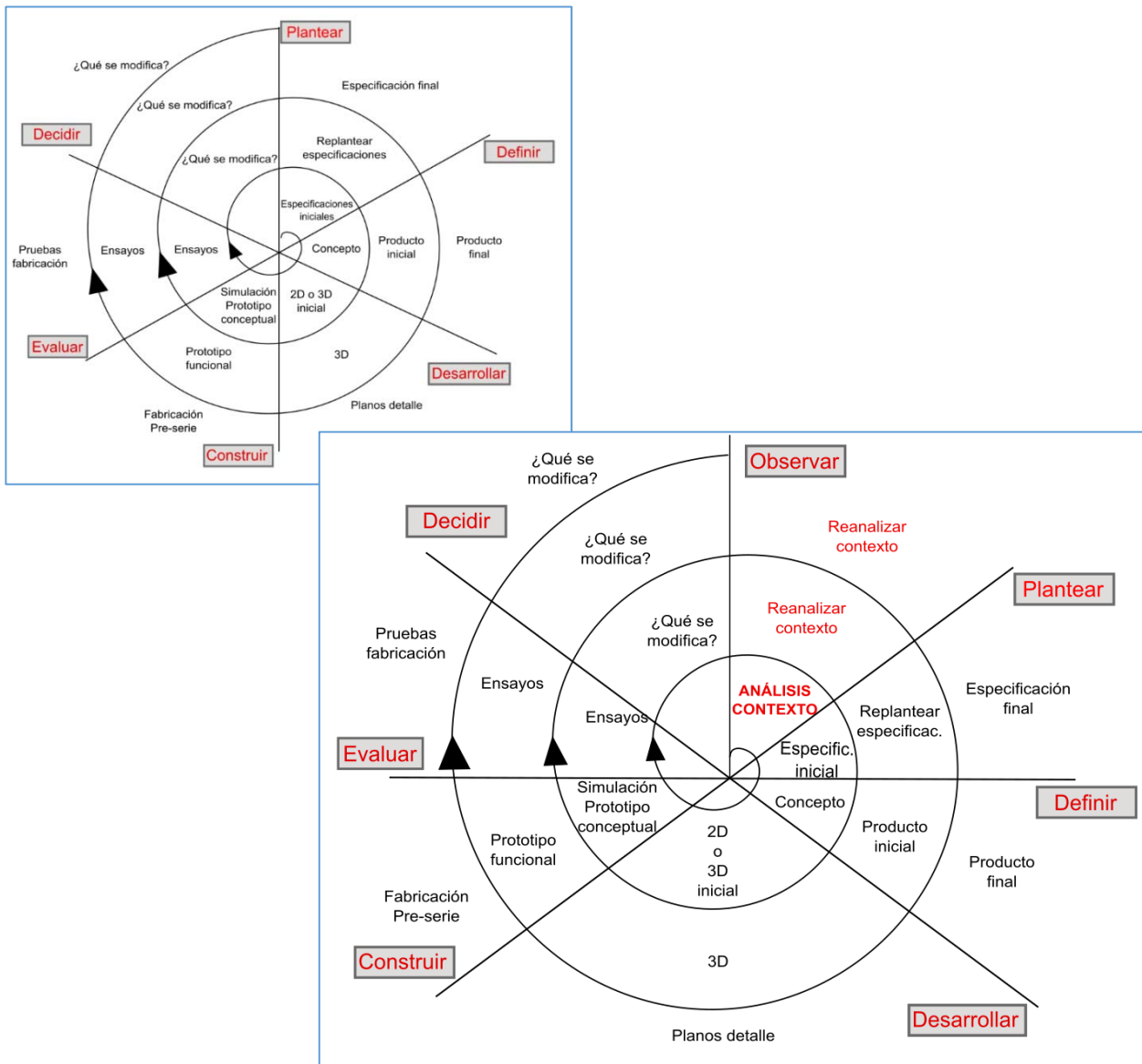


Figura 4.6. Espiral de desarrollo de Ullman (arriba) y propuesta para proyectos de diseño mecánico.

Fuente: elaboración propia.

4.3. Relación entre contexto y definición en el diseño de máquinas apropiadas

Tal como se ha visto en el capítulo anterior (apartado 2.2.2) las especificaciones son el resultado de la etapa de definición del proyecto, la traducción de esta definición en descripciones técnicas. Se puede considerar como el primer documento técnico del proyecto y es el resultado de la primera etapa de las metodologías tradicionales de diseño, la etapa de definición. Algunos autores consideran que estas especificaciones han de ser concretadas en términos cuantificables. En esta tesis nos aproximamos más a la definición dada por Pahl & Beitz o Riba, que permiten la inclusión en este documento de especificaciones cualitativas, intenciones o determinaciones. Así, se propone para este trabajo la siguiente definición:

Especificación: *Conjunto suficiente de datos y determinaciones que concretan la definición del proyecto de las que se parte para guiar el diseño en todas sus etapas.*

Según todos los autores, en el listado de especificaciones se han de incluir estas características pero no se dan soluciones de diseño o principios de funcionamiento. Han de ser suficientemente flexibles para dejar margen a alternativas y soluciones diversas.

En los proyectos de máquinas apropiadas, como punto fundamental y más que en otros proyectos, la generación de estas especificaciones ha de estar basada en el análisis del contexto en el que se sitúa el proyecto y, por tanto, fuertemente ligada a esta etapa previa. Como se ha explicado en el punto anterior, esta etapa inicial propuesta requiere, además del análisis del contexto, un trabajo de interpretación de la información recogida, una lectura del entorno por parte del equipo de diseño. A partir de este trabajo nacen o se establecen una serie de criterios y pautas que afectarán a las especificaciones y a las decisiones que se toman en la etapa de definición del equipo. Este proceso se da también en los proyectos de diseño en países desarrollados, estando la diferencia en quién participa en este proceso y quién elabora las especificaciones, como se verá en el siguiente apartado.

La Figura 4.7 muestra la vinculación entre las etapas de análisis del contexto y de definición así como sus analogías. Como puede verse, la herramienta propuesta para la etapa 0, la lista de referencia del contexto, es análoga a la de la etapa 1; de hecho, esta lista de referencia propuesta se ha basado en la estructura de la lista de referencia de las especificaciones de Riba (2002). Ambas etapas ofrecen como resultado un documento fácil de utilizar donde se refleja de forma sintetizada la información de esa etapa necesaria para las siguientes etapas (documento de contexto y lista de especificaciones). Por otra parte, vemos que la conexión entre ellas son las motivaciones, criterios y pautas surgidas del análisis y la interpretación del contexto, que están a caballo entre ambas etapas. Estos criterios y pautas sirven de base para la toma de decisiones en la definición del equipo y, en última instancia, para la elaboración de las especificaciones. Para cualquier tipo de proyecto, en cualquier contexto, es conveniente documentar estos aspectos en paralelo a las especificaciones para tener constancia y recordar en futuras generaciones del producto o máquina el porqué de ciertas decisiones. Así, para proyectos de máquinas apropiadas, se recomienda documentar tanto el análisis y la interpretación del contexto como las decisiones tomadas en la definición del equipo, ya sea mediante informes parciales de etapa o en la memoria global del proyecto.

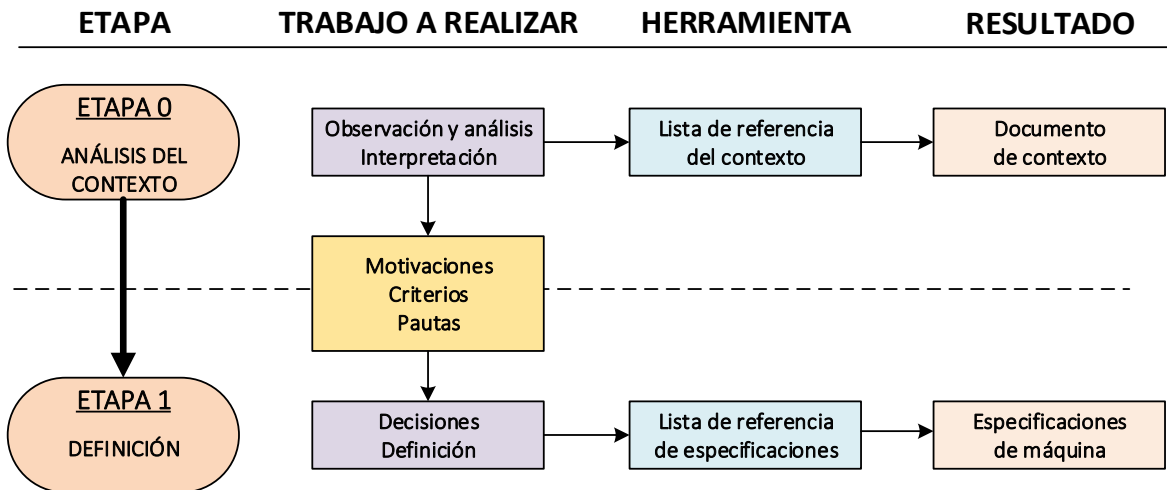


Figura 4.7. Relación entre la etapa propuesta de análisis del contexto y la de definición del equipo.

Fuente: elaboración propia

La elaboración de las especificaciones en la etapa de definición es una tarea común en todos los proyectos de diseño de máquinas, ya sea en contextos industrializados o en desarrollo. Pero los agentes que intervienen en el proceso de su generación son diferentes. En el contexto de empresas de países desarrollados es probable que los ingenieros de diseño no participen en la definición del proyecto, ni en la elaboración de la especificación y decisiones iniciales del producto: en la mayoría de casos les vendrán dadas por la dirección de la empresa u otros departamentos (desarrollo de negocio, marketing, etc.). En los proyectos de diseño de máquinas apropiadas en comunidades en desarrollo el proyecto surge por la iniciativa de agentes locales (administración pública, asociación, líderes sociales, empresa privada, fundación, ONG o universidad) que tiene la capacidad suficiente en el territorio para impulsar la acción y establecer la definición básica (qué hacer, para quién, cómo se articula, etc.). En este caso, el equipo de diseño recabará información del contexto de forma detallada y exhaustiva y concretará la definición de la máquina, siempre en colaboración con los agentes y usuarios de la zona. Éstos constituirán las fuentes principales de información sobre el contexto en la que se basará la definición, y participarán activamente en la elaboración de las especificaciones finales.

En definitiva, los ingenieros podrían elaborar las especificaciones en solitario en base a la información recogida pero, en proyectos de máquinas apropiadas, los diferentes agentes de la zona han de estar presentes en este proceso como factor determinante para el éxito del proyecto. Además, la aprobación final de estas especificaciones y, eventualmente, de cualquier modificación, (así como del diseño final) recae sobre estos agentes locales que han impulsado el proyecto. Los ingenieros de diseño han de trabajar conjuntamente con ellos para la obtención de la información necesaria y su correcta interpretación. Por este motivo es necesario dotar a estos ingenieros de herramientas adecuadas para profundizar en el conocimiento del contexto.

En este punto, cabe matizar la diferencia entre determinados *aspectos de contexto* y la *especificación o especificaciones* que se pueden derivar de ellos. Como hemos visto, los aspectos del contexto enmarcarán y ayudarán a establecer la especificación, pero no son especificaciones propiamente. Por ejemplo, aspectos como la necesidad básica de los usuarios, sus expectativas

respecto a la productividad del equipo (productividad deseada) o el precio que están dispuestos a pagar, son aspectos de contexto. Mattson & Wood (2014) lo explican muy adecuadamente:

“It is important to recognize that requirements and context are not the same thing. To solidify this idea, consider this context (or circumstance that forms the setting): many people in Burundi earn less than \$271 annually. This context informs—but is not itself—a requirement. The informed requirement for a disposable medical device, for example, could be that it costs less than \$0.05 for an impoverished Burundian to purchase. This requirement is informed by the low-income context.”

Estas informaciones se deben documentar como un dato cuantitativo, un deseo explícito de los usuarios, y servirán para interpretar el contexto en estos aspectos. En el momento en que se valoren estas características en su globalidad junto con otras condiciones, decisiones y restricciones, el equipo encargado de la definición del proyecto establecerá el valor objetivo a lograr, es decir, la especificación correspondiente derivada de este dato de contexto, que será ratificada por los agentes locales. Tal como describen Mattson & Wood, a partir de los ingresos de los usuarios y del precio que los usuarios están dispuestos a pagar (y otros condicionantes) se fijará la especificación con el precio objetivo de la máquina. Así, el análisis del contexto ha de contemplar e interpretar datos del entorno, que servirán en la siguiente etapa para definir la especificación.

4.4. Desarrollo de la lista de referencia para el análisis del contexto

Vista la necesidad de una herramienta para analizar y definir el marco contextual de los proyectos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas, en este apartado se elabora un guion y una lista de referencia que contiene los aspectos principales que definen el contexto en este tipo de proyectos y que van destinados a apoyar el diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Este guion se basa en los aspectos de contexto:

- detectados en los dos casos prácticos llevados a cabo en Nepal y Ecuador,
- referenciados en la bibliografía sobre metodologías de diseño y proyectos de tecnologías apropiadas,
- indicados por los expertos consultados (ingenieros/as industriales, mecánicos y agrónomos),
- deducidos por experiencia propia.

El objetivo es que este guion sea la herramienta de los ingenieros para documentar el contexto. Este guion ha de ser suficientemente exhaustivo para que el equipo de diseño no olvide contemplar los ámbitos del contexto sobre los que reflexionar y las características a tener en cuenta en cada proyecto. Pero, ya que los proyectos para comunidades en desarrollo pueden ser tan diferentes entre sí, debe ser suficientemente flexible y permitir al equipo de diseño construir su propia referencia en cada caso.

4.4.1. Consideraciones previas

Como se ha descrito en el capítulo anterior, las fuentes de información principales para esta etapa son los promotores del proyecto (agentes locales que han iniciado o potenciado el proyecto) y los usuarios finales; también se deberá buscar y consultar, en la medida de lo posible, a los participantes posteriores del proyecto (fabricantes, mantenedores, transportistas, etc.). Los agentes locales pueden ser administraciones públicas, asociaciones, empresas privadas, fundaciones, ONG o universidades. El equipo de diseño ha de mantener comunicación con estas entidades siempre que sea pertinente para contribuir al éxito del proyecto. Ellas serán el nexo de unión con los usuarios finales ayudando a reconocer y establecer quiénes serán las personas de la comunidad que colaboren en el proyecto como interlocutores y ayudarán al equipo de diseño en esta etapa de recogida de información, tanto para aportar datos como para ayudar a conseguirlos.

La lista de referencia propuesta parte del supuesto que ya se ha decidido y acordado junto a los promotores del proyecto el tipo de máquina a diseñar, es decir, la función principal que ha de desarrollar el equipo. También conviene definir los dos tipos de financiación considerados en los dos proyectos en que se basa la lista de referencia propuesta (válida para ambos tipos de financiación) y los roles que toman los agentes implicados. En el primer modelo de funcionamiento (caso del teleférico) el promotor local del proyecto tiene la capacidad suficiente para costear el proyecto y la fabricación del equipo y hace de intermediario entre los fabricantes y los usuarios, que pueden pagar parte del coste de adquisición del equipo, pagar por uso o no pagar nada. En el segundo modelo (caso de la deshojadora) el equipo de diseño cede el diseño al taller que fabrica, que se hará cargo también de modificaciones futuras. Este fabricante asumirá el rol de distribuidor y vendedor y, por

tanto, será también beneficiario del proyecto a través del negocio de venta. Con este último modelo se genera negocio local y se potencia el enriquecimiento del tejido industrial de la zona.

4.4.2. Clasificación de aspectos de contexto

Para desarrollar la propuesta de la lista de referencia para el análisis del contexto, se considera adecuado estructurar y clasificar la información para facilitar su organización y obtención. Sin embargo, esta estructuración podía realizarse de diferentes maneras, desde diferentes puntos de vista y con diferentes ventajas e inconvenientes, no siendo evidente, a priori, cuál sería la más adecuada.

Para una primera aproximación, se analizaron las características de contexto aparecidas en los casos prácticos del capítulo anterior (Tabla 3.2 y Tabla 3.5). Se detectó que la información recogida se podía clasificar en cuatro categorías en función de la tipología de información que reflejaban: ambiental, social, económica y técnica (Tabla 4.1). Por lo tanto, se consideró inicialmente una forma adecuada de agrupar los aspectos de contexto en el documento de referencia. Así, la primera propuesta de clasificación que se desarrolló de la lista de referencia para el análisis del contexto se muestra en la Tabla 4.2. En ella se encuentran los aspectos sobre los que habría que recabar información de cada una de las categorías: aspectos ambientales, sociales, económicos y técnicos.

CLASIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONTEXTO POR TIPOS	
CARACTERÍSTICA	TIPO
Necesidad / expectativas de los agricultores	Social / Técnico
Productividad de las técnicas utilizadas actualmente	Económico
Productividad deseada	Económico
Orografía del territorio	Ambiental
Condiciones climáticas	Ambiental
Tipo de usuario o usuaria	Social
Nivel de cooperativismo de los miembros de la comunidad	Social
Coste de las técnicas utilizadas actualmente	Económico
Precio que los agricultores están dispuestos a pagar	Económico
Precio de las máquinas similares disponibles	Económico
Disponibilidad de infraestructuras y transporte	Económico / Técnico
Disponibilidad de energía en las zonas de cultivo	Económico / Técnico
Disponibilidad de componentes en la zona y en el país	Técnico
Disponibilidad de materiales en la zona y en el país	Técnico
Tecnologías de fabricación disponibles en la zona (talleres) y en el país	Técnico
Aspectos ambientales	Ambiental
Aspectos legales	Técnico

Tabla 4.1. Clasificación de las preguntas sobre el contexto en función de su contenido

Fuente: elaboración propia

PROPUESTA INICIAL DE LISTA DE REFERENCIA PARA ANÁLISIS DEL CONTEXTO		
CONCEPTO		CARACTERÍSTICAS
Aspectos ambientales	Orografía y bioma	Altitud, desniveles, tipo de terrenos y suelos. Vegetación y fauna.
	Clima	Condiciones atmosféricas habituales: pluviosidad, humedad, temperatura, proximidad al mar, horas de luz, estacionalidad. Condiciones atmosféricas frecuentes: viento, lluvia o temperaturas fuera de lo habitual.
	Recursos naturales	Fuentes de agua: localización, calidad, potabilidad y estacionalidad. Materiales naturales: vegetación y materiales para la construcción. Otros: residuos agrícolas y ganaderos.
	Agricultura y ganadería	Tipos de cultivos, números de cosechas anuales, uso de productos químicos, ganadería y animales domésticos
	Impacto ambiental	Consumo y procedencia de la energía: energías renovables y no renovables.
Aspectos sociales	Usuarios/as	Necesidades y expectativas respecto al equipo: función, uso, dimensiones. Género y edad. Capacidades, conocimientos y formación.
	Comunidad	Cultura y valores: creencias religiosas, costumbres, horarios, calendario, alimentación, segregación por sexos. Estructura, funcionamiento y apertura de la comunidad: nivel de asociacionismo y participación comunitarias, predisposición y aceptación de cambios, posicionamiento respecto a la tecnología, sensibilidad ambiental, capacidad de emprendimiento. Aspectos legales: leyes, patentes o normas que afecten al proyecto.
Aspectos económicos	Infraestructuras y TIC	Infraestructuras de transporte: vías de comunicación y medios de transporte disponibles (vehículos, animales o a pie). Mapa de transportes del proyecto Disponibilidad de TIC, móviles, ordenadores, radio.
	Características económicas de los usuarios	Precio que los usuarios están dispuestos a pagar por el equipo. Precio de sus máquinas o herramientas. Nivel adquisitivo y capacidad de inversión: ingresos y procedencia. Formas de financiación: acceso a otros fondos (privados, públicos, subvenciones, crédito).
	Características económicas del entorno	Precio de máquinas similares disponibles en los mercados locales o cercanos. Presupuestos de fabricación. Coste de la mano de obra del agricultor.
	Generación de recursos económicos	Para el agricultor: Productividad deseada del equipo, productividad actual, productividad de equipos similares, coste actual del proceso, precio de venta de los productos, calidad deseada del producto obtenido. Para la comunidad / negocio local: número potencial de usuarios, expectativas de negocio (fabricante). Otros beneficios: ayudas que pueden llegar a raíz de la realización del proyecto, beneficios ambientales.

Tabla 4.2. Primera propuesta de lista de referencia para el análisis del contexto

Fuente: elaboración propia

PROPUESTA INICIAL DE LISTA DE REFERENCIA PARA ANÁLISIS DEL CONTEXTO (cont.)		
CONCEPTO		CARACTERÍSTICAS
Aspectos técnicos	Máquinas existentes	Valoración técnica de los equipos utilizados o disponibles. Principios de funcionamiento y arquitectura implícita en las soluciones existentes.
	Energía	Disponibilidad de suministros energéticos y sus características: voltaje, potencia, calidad del suministro, coste.
	Fabricación y montaje	Capacidad de fabricación y montaje: número de talleres y proveedores disponibles, máquinas con las que cuentan, especialización, carga de trabajo asumible. Tecnologías de fabricación disponibles: características, acabados, tolerancias, utillajes.
	Mantenimiento	Taller o personas disponibles y capacitadas.

Tabla 4.2 (cont). Primera propuesta de lista de referencia para el análisis del contexto

Fuente: elaboración propia

En la utilización práctica de esta lista se detectó que, si bien la información que se recogía era adecuada, la obtención de la información no era fácil: para obtener informaciones de una misma categoría, era necesario consultar diferentes fuentes de información (usuarios, agentes, fabricantes, etc.). Si se intentaba recoger toda la información en una sola visita a cada actor, la obtención de la información se realizaba de forma muy dispersa, con riesgo de no completarla adecuadamente. Además, había el riesgo de que la misma información se repitiese en diferentes categorías, para completar cada uno de los aspectos de la clasificación. Esto resultaba en información duplicada innecesaria que podía confundir de su significado y utilidad para el diseño.

Por otra parte, se detectó que, si se deseaba diseñar diferentes máquinas y estudiar diferentes procesos en un mismo contexto, esta clasificación suponía tener que repasar todos los conceptos de la tabla de contexto para cada uno de los diseños que se quisiese desarrollar, ya que aparecen aspectos relacionados con el equipo o el proceso en diferentes categorías (ambiental, social, económica o técnica).

Para evitar esa dispersión y facilitar la recogida de información se propone una clasificación alternativa, basada en el origen de la información a recabar y su utilización en el proceso de diseño. Así, esta nueva estructuración tiene como objetivo ahorrar tiempo en la recogida de datos y hacerlo de una manera más sencilla. Esta nueva propuesta estructura la información en las siguientes categorías:

1. Medioambiente
2. Usuarios
3. Infraestructuras
4. Entorno tecnológico
5. Proceso operativo

Esta clasificación tiene las siguientes ventajas:

1. Aunque los diseños sean diferentes, la mayoría de la información a recopilar para un mismo contexto es la misma: se mantiene la información de las categorías 1 a 4, sólo cambia la categoría 5, relativa al proceso en el que interviene el equipo. Por lo tanto, para el diseño de una nueva máquina solo hay que volver a recopilar una parte concreta de la información (1 apartado) y el resto (4 apartados) pueden volver a usarse directamente.
2. En cada visita a cada uno de los actores del proyecto se recoge toda la información básica necesaria de una categoría. Por lo tanto, se puede asegurar fácilmente si se ha recopilado toda la información necesaria en cada una de las visitas o de los contactos con los diferentes actores.

4.4.3. Contenido de la lista de referencia para el análisis del contexto

En este apartado, se detalla toda la información de la lista de contexto a recabar, estructurada según esta última clasificación propuesta: Medioambiente, Usuarios, Infraestructuras, Entorno tecnológico, Proceso operativo. Se detalla la descripción de cada información y las implicaciones que cada una de ellas pueden tener en el diseño de la máquina, así como la fuente donde se obtendrá esta información.

La información incluida en cada uno de los cinco apartados deberá ser lo más concreta posible para la comunidad o comunidades a las que se dirija el equipo, siempre y cuando se disponga de la información requerida. En ocasiones, sin embargo, se referenciará la información disponible, aunque sea para una escala más general, por ejemplo, a nivel de zona, provincia o país. En algunos casos, la información requerida en esta lista para algunos aspectos también podrá tener diferente escala de concreción. Por ejemplo, la información sobre las vías de comunicación interesará conocerla a nivel comunitario para el acceso a la misma, pero también a nivel provincial o, incluso, estatal para el transporte del equipo de diseño, materiales o de la propia máquina.

- **Medioambiente:** se recogerá cómo es el entorno de la comunidad en cuanto a orografía, bioma, clima, recursos naturales y nivel de contaminación. Estos aspectos pueden influir en el diseño de la máquina agrícola, condicionando sus materiales, tratamientos, dimensiones, peso o proceso, entre otros. La información de esta categoría se obtendrá por diversas vías: a través de los agentes locales u organismos oficiales (clima, orografía, contaminación) y mediante visitas de campo a la comunidad.
- **Usuarios:** se recogerá información relativa a los usuarios finales del equipo. Este punto es importante ya que, como se ha visto en la bibliografía, comprender el carácter de los usuarios es vital para asegurar el éxito del proyecto, para la apropiación de la máquina por la comunidad. Por tanto, se deben contemplar los aspectos sociales, culturales y económicos de las personas de la comunidad. Son campos muy amplios sobre los que convendrá recabar información en la propia comunidad mediante visitas de campo, cuestionarios o entrevistas, elaborados con la ayuda de miembros colaboradores de la comunidad, y a través de los agentes locales que conozcan su lengua, costumbres y cultura.

- **Infraestructuras:** se recogerá en este apartado toda la información que afecte al proyecto relativa a las infraestructuras de transporte, comunicaciones, localización y energía. Estos aspectos influirán en el diseño de la máquina agrícola condicionando sus dimensiones, peso, modularidad, accionamiento, entre otros. La información relativa a estas infraestructuras se obtendrá a través de los agentes locales u organismos oficiales y mediante visitas de campo a la comunidad.
- **Entorno tecnológico:** se recogerá en este apartado toda la información relativa a las capacidades disponibles en la zona para la fabricación y el mantenimiento del equipo: procesos de fabricación, materiales, componentes, talleres, etc. Estos aspectos son vitales para la apropiación y sostenibilidad posterior de la máquina y condicionan en gran medida su diseño: formas de piezas, materiales, movimientos, entre otros. También se tendrán en cuenta los aspectos legales que puedan afectar al equipo, como patentes y normativas aplicables que puedan condicionar el diseño en el país de uso. Esta información se obtendrá principalmente de los agentes locales involucrados en el proyecto y directamente de los proveedores de estas tecnologías de fabricación y mantenimiento.
- **Proceso operativo:** en este apartado se recogerá la información relativa al proceso en el que ha de intervenir o que ha de realizar la máquina agrícola, sobre el cultivo o producto que se desea transformar o elaborar y de las máquinas relacionadas con el proceso. También se detectarán las expectativas de los usuarios respecto al equipo: productividad, coste, funcionamiento, etc. Estos factores condicionarán el diseño de la máquina en cuanto a funciones, mantenimiento o precio, entre otros. La información de este apartado se obtendrá principalmente de los agricultores de la comunidad y, en menor medida, de los agentes locales. Mientras los apartados anteriores son comunes a cualquier proyecto de diseño de máquinas agrícolas que se lleve a cabo en un determinado contexto, este apartado será específico para la máquina concreta que se diseñe en el proyecto.

A continuación, se describe el contenido de cada una de estas categorías, los aspectos de contexto concretos que han de analizarse en los proyectos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas y de los que recabar información en cada una, y el por qué se considera importante para las etapas posteriores de diseño del equipo.

4.4.4. Medioambiente

En esta categoría se recogen aquellos aspectos del medioambiente que rodea a la comunidad. Esta información se obtendrá de los agentes involucrados en el proyecto y de la propia comunidad. Se han clasificado a su vez en orografía y bioma, clima, recursos naturales e impacto ambiental.

4.4.4.1. Orografía y bioma

Se deberán observar las características del terreno en que está asentada la comunidad, así como el paisaje bioclimático. En este punto se considerarán los siguientes aspectos:

- **Altitud.** El incremento de altura respecto al nivel de mar provoca la disminución de la presión atmosférica y el incremento de la radiación solar. Estos dos factores condicionarán

determinados aspectos técnicos del equipo como el rendimiento de los motores de combustión, que será menor ya que la mezcla se realizará con menos oxígeno, o la durabilidad de los materiales plásticos, que se degradarán más rápidamente debido a la mayor radiación UV. Se documentará la altura de la zona de uso del equipo respecto al nivel del mar.

- **Terreno y accesibilidad.** Los desniveles, las pendientes y lo abrupto del terreno facilitarán o dificultarán los movimientos y traslados del equipo en la zona donde se usará. En función de estas características se deberá prever que el equipo sea estable durante su uso y ligero y desmontable para su transporte. Las características del terreno también condicionarán si es una máquina fija o móvil. Se documentarán los desniveles medios existentes en las fincas de los agricultores y de los caminos de acceso y de comunicación entre fincas. Se valorará cualitativamente la accesibilidad a las fincas.
- **Suelos.** El tipo de suelos con los que tendrá contacto el equipo condicionarán los movimientos del equipo (de operación o traslado) y el desgaste de los elementos en contacto con él. Esto afectará sobre todo a aquellas máquinas que deban tener contacto directo con el terreno durante su uso o su transporte. Se documentará el tipo de suelos: pedregosos, arcillosos, arenosos, pantanosos, etc.
- **Vegetación y fauna.** El tipo de vegetación de la zona puede dificultar o invadir en poco tiempo el acceso a puntos de interés para el proyecto (fincas, zona de instalación, puntos de mantenimiento) o provocar desperfectos o averías en equipos situados a la intemperie (cimientos dañados por raíces, motores invadidos por musgos o líquenes). Respecto a la fauna local, puede darse el caso que la presencia de algún animal condicione el diseño del equipo, porque haya que evitar su acceso o prever su presencia cerca de la máquina o de la zona de uso. En ambos casos, el diseño deberá prever la adecuada protección o el mantenimiento requerido. Se consultará y documentará si pueden existir estos riesgos y qué técnicas se usan para evitarlo.

4.4.4.2. Clima

Se deberán observar las condiciones climáticas que afectan a la zona o zonas de uso del equipo, ya que puede suceder que sean zonas próximas geográficamente, pero de condiciones climáticas muy diferentes. En este punto se considerarán los siguientes aspectos:

- **Condiciones atmosféricas habituales.** Las características ambientales tendrán una influencia directa sobre el tipo de materiales a utilizar y se deberá prever su adecuada protección o resistencia frente a la corrosión, ambientes salinos u otros. Se documentará la pluviosidad media, la humedad, la temperatura media, la proximidad al mar, las horas de luz y la estacionalidad de estos parámetros.
- **Condiciones atmosféricas esporádicas.** En determinadas zonas pueden darse efectos climáticos (Monzones, El Niño) que provoquen condiciones atmosféricas fuera de lo habitual y muy variables estacionalmente. No será necesario dimensionar el equipo para resistir condiciones extremas, pero sí duras durante ciertos períodos de tiempo. Se cuantificarán y se

documentarán estas condiciones para prever la adecuada protección en el equipo: velocidad del viento, pluviosidad, altas o bajas temperaturas, sequías, etc.

4.4.4.3. Recursos naturales

Se deberán contemplar los recursos proporcionados por la naturaleza en la zona de la comunidad, país o provincia, necesarios para realizar las actividades humanas y, en concreto, para el proyecto en ejecución. En este punto se considerarán los siguientes aspectos:

- **Fuentes de agua.** Si el agua es necesaria en el proceso que realiza o en el que interviene el equipo, se deberá estudiar la disponibilidad de este recurso en la comunidad, su localización, el caudal y su variación, su calidad y el uso que hace de él la comunidad para adecuar el diseño a esta disponibilidad y prever su aprovechamiento para otros usos.
- **Materiales naturales.** Vista como recurso, la vegetación de la zona puede ser una fuente importante de materiales disponibles para su uso en la fabricación del equipo. Será útil analizar el uso que los miembros de la comunidad hacen de ellos y tenerlo en cuenta en el diseño de determinadas partes de la máquina. También se deberán considerar los materiales naturales disponibles para la construcción o funciones estructurales que pueden ser útiles para cimentaciones o apoyos del equipo o instalación. Se documentarán los materiales naturales utilizados por la comunidad: madera, cañas, fibras, hojas, cáscaras piedra, barro, gravas, etc. En algunas ocasiones también será necesario estudiar la dureza, resistencia o texturas de algunos materiales si el principio de funcionamiento de la máquina depende de alguna de estas características.
- **Residuos agrícolas y ganaderos.** Estos residuos pueden ser una fuente de materiales o energía para la comunidad (ya utilizados o no) por ello será útil para determinados proyectos analizar la gestión y uso que la comunidad hace de estos residuos y las posibilidades de aprovechamiento que existen para su aplicación en el proceso y/o el equipo diseñado. Se documentará su disponibilidad, tipo, cantidades, estacionalidad, procesos posteriores y los usos actuales.

4.4.4.4. Impacto ambiental

Aunque en numerosas ocasiones, en los proyectos para comunidades en desarrollo se prioriza la mejora de la calidad de vida ante los aspectos ambientales que implica el proyecto, en zonas con elevada contaminación ambiental se deberá contemplar el impacto que tendrá el nuevo equipo sobre el medioambiente, sobre todo cuando sea posible elegir entre diferentes opciones de diseño. Será útil, por tanto, analizar y documentar el estado ambiental actual de la comunidad (índices de contaminación del aire, del agua, acústica, lumínica) y el que inducirá cada alternativa de diseño, tanto en su uso (debido al accionamiento y/o al proceso) como en su fabricación y transportes.

4.4.5. Usuarios

En esta categoría se recogen aquellos aspectos relacionados directamente con los usuarios del equipo, entendidos como usuarios finales, como las personas que utilizarán el equipo. La

información de este apartado se obtendrá de los agentes involucrados en el proyecto y, principalmente, de los propios usuarios. Se han clasificado en aspectos sociales y económicos.

4.4.5.1. Aspectos sociales

Se deberán observar aquellos aspectos que definen la personalidad de los usuarios y de la comunidad. Estos aspectos son en ocasiones subjetivos y sutiles y han de reflejarse como características o comportamientos que afecten directamente al uso o a la aceptación del equipo. En este punto se considerarán los siguientes aspectos:

- **Género y edad.** En determinados contextos, en algún momento del ciclo de vida del nuevo equipo (fabricación, distribución, transportes, uso) pueden intervenir mujeres, ancianos, niños y/o discapacitados. Esto afectará a las dimensiones y peso del equipo. Por lo tanto, se deberán documentar los parámetros ergonómicos de estos usuarios u operadores.
- **Capacidades y conocimientos.** La formación y conocimientos con los que cuentan los usuarios condicionará, en parte, el nivel de complejidad del diseño y la incorporación o no de sistemas o tecnologías más complejas. Las capacidades tecnológicas de los usuarios también condicionarán decisiones del diseño que afectarán al modelo de mantenimiento y la capacitación posterior para el uso del equipo. Se deberá documentar el nivel de formación de los usuarios, sus conocimientos y su relación con tecnologías concretas, saber cuáles conocen, de cuáles disponen, con cuál pueden sentirse más cómodos, el idioma o idiomas de comunicación y su conocimiento a nivel escrito.
- **Cultura y valores.** En este apartado se contemplarán aspectos muy variados de la cultura de los usuarios, en ocasiones subjetivos, que condicionarán, en muchas ocasiones indirectamente, aspectos generales de diseño, uso y aceptación del equipo. Se documentarán aquí aspectos culturales como creencias religiosas, costumbres, horarios, calendario, alimentación o segregación por sexos en cuanto al trabajo o formación, protocolos, sensibilidades. También se contemplará aquí la predisposición de los usuarios a hacer cambios en sus procesos, métodos de funcionamiento o herramientas agrícolas y la aceptación de proyectos anteriores. Se valorarán las voluntades tecnológicas manifestadas como comunidad: posicionamiento de la comunidad ante las tecnologías (apertura o rechazo), ante su independencia técnica respecto a otras sociedades o mercados, implicación del grupo ante una nueva tecnología o método de funcionamiento. En este punto se averiguará el grado de responsabilidad ambiental que tienen los usuarios y, por otra parte, la capacidad y predisposición para emprender negocios. Este último punto servirá para valorar si la propia comunidad puede hacerse cargo de la distribución, venta y/o mantenimiento del equipo. Finalmente, en este apartado se contemplarán también los aspectos sociales y culturales asociados al equipo (si existen) que pueden verse afectados por el cambio de tecnología o de maquinaria, por ejemplo, si el uso cambia de individual a comunitario (o al revés), si las mujeres pasan a participar en el uso del equipo, etc.
- **Asociacionismo y participación en la comunidad.** En determinadas ocasiones, estos aspectos ayudarán a los ingenieros a escoger entre diferentes opciones de diseño, componentes o tecnología o a decidir sobre aspectos de definición del equipo: uso individual o colectivo,

herramientas, uso para una sola comunidad o varias, quién gestiona el uso del equipo y cómo, mantenimiento centralizado o individual. Esto, a su vez, puede afectar a ciertas características del equipo como simplicidad, modularidad o tipo de mantenimiento. Se documentará cómo se organiza la comunidad, qué asociaciones existen, quiénes participan, qué temas se gestionan conjuntamente, quiénes son los responsables o líderes comunitarios, etc.

- **Número potencial de usuarios.** El número de agricultores que podrían estar interesados en el equipo condicionará el número de unidades a fabricar. Esto influirá en gran medida sobre el diseño del equipo: materiales a utilizar, procesos de fabricación, componentes a introducir, etc. Este dato también servirá para informar al taller de las unidades a fabricar (actuales y futuras) y el volumen de negocio que puede suponer para él encargarse de la fabricación y el mantenimiento del equipo. Por tanto, deberá documentarse el número de agricultores de la comunidad, o de otras comunidades, que puedan beneficiarse del equipo, los que estarían dispuestas a adquirirlo, alquilarlo o compartirlo. Este dato dependerá en gran medida de la aceptación posterior del equipo.

4.4.5.2. Aspectos económicos

La situación económica de los usuarios es clave en el desarrollo del equipo en este tipo de proyectos. En la mayoría de casos, la principal característica que demandan los usuarios al equipo, por detrás de la función principal, es que sea de bajo coste, accesible a su poder adquisitivo. Por lo tanto, recabar información sobre la disponibilidad de recursos económicos de los usuarios es básico para definir con éxito el proyecto, establecer la especificación de precio final y definir el mantenimiento del equipo (en casos de diseño de bienes de equipo). Esta especificación condicionará significativamente el equipo limitando, en la mayoría de ocasiones, las alternativas de diseño, materiales y componentes a incorporar y obligando a los ingenieros a buscar soluciones simples pero efectivas y eficientes. Por tanto, en este punto se deberán documentar los siguientes aspectos:

- **Ingresos.** Ingresos habituales con los que cuentan los agricultores y su procedencia (trabajo por cuenta ajena, venta de productos agrícolas, pensión, ayudas de la administración).
- **Formas de financiación.** Recursos externos que pueden llegar a conseguir (privados, públicos, subvenciones, crédito, individual, colectivo, etc.) para la adquisición del equipo y la continuidad del proyecto.
- **Precio de sus máquinas o herramientas.** Recursos invertidos en otras máquinas o herramientas de sus procesos productivos. Aporta información sobre el esfuerzo que pueden realizar al comprar una máquina.
- **Coste de la mano de obra.** Coste de la jornada de un agricultor para valorar el nivel de ingresos o el sueldo que puede cobrar cuando se le contrata para un trabajo.

4.4.6. Infraestructuras

En esta categoría se incluyen aspectos de disponibilidad y calidad de infraestructuras que afectan a la comunidad. Esta información se obtendrá de los agentes involucrados en el proyecto y de la propia

comunidad. Se han clasificado en infraestructuras de transporte, comunicaciones y localización y energía.

4.4.6.1. Transporte

Se deberán observar las características de los transportes que afecten al desarrollo del proyecto y al ciclo de vida de la máquina. En este punto se considerarán los siguientes aspectos:

- **Vías de comunicación.** La existencia y el estado de las vías de comunicación condicionará el transporte del equipo, los plazos de entrega y las dimensiones máximas de las piezas a transportar. Se deberá documentar la existencia de vías de comunicación (aéreas, navegables o terrestres), el tipo de vía (autopista, carretera, pista, camino, sendero, fluvial, marítima, férrea), las dimensiones máximas que permite la vía o la frecuencia de transporte (si es oportuno).
- **Medios de transporte.** El tipo de transporte en el que se trasladará el equipo en algún momento de su ciclo de vida condicionará el peso y el volumen máximo de la máquina o sus módulos. Se documentarán los medios de transporte disponibles hasta el punto de uso o instalación (vehículo, tren, animales, tracción humana, barco, canoa) y su capacidad de carga máxima aproximada (peso y dimensiones). Este dato servirá para definir un equipo modular o no y cuantificar la especificación de dimensiones máximas del equipo o sus módulos. En este sentido, se propone definir en las especificaciones la Unidad Máxima de Transporte (UMT) basada en los datos del contexto, que no deberá ser superada por ninguna de las partes del equipo.

Una herramienta útil que se propone en este punto para contemplar de forma práctica el panorama de transportes en algunos contextos es la elaboración de un *mapa de transportes del proyecto*. Sobre un mapa de la zona se señalarán los puntos clave del proyecto (situación de los usuarios, la necesidad o la instalación; situación de los puntos de fabricación, talleres, proveedores de componentes y materiales, mantenedores; situación de los agentes involucrados en el proyecto (ONG, entidades, universidades, etc.); puntos intermedios estratégicos (cambio de transporte, último núcleo habitado, etc.). También es útil indicar las rutas que han de realizarse entre estos puntos y posibles alternativas, y los detalles de cada una de ellas: tipo de vía, distancias, tiempos de trayecto, coste del desplazamiento, medio de transporte posible en cada una, etc. Esta herramienta gráfica permitirá valorar de forma rápida todos los transportes que el proyecto requiera y planificar y optimizar los desplazamientos de la forma más ágil posible.

4.4.6.2. Tecnologías de comunicación y localización

Se deberán contemplar las tecnologías de comunicación y localización disponibles en la zona de desarrollo del proyecto y de distribución y uso de la máquina. Se considerarán los siguientes aspectos:

- **Telecomunicaciones.** Las tecnologías de comunicación disponibles en la comunidad condicionarán la capacidad de comunicación con otras comunidades o con las ciudades donde se encuentren los talleres de fabricación, mantenimiento o proveedores. Esto afectará a la distribución, mantenimiento y, en algunos casos (máquina colectiva), al uso del equipo. En

determinados casos, también el funcionamiento del equipo puede depender o mejorar con la disponibilidad de telecomunicaciones (como es el caso del teleférico y la disponibilidad de telefonía móvil). Se deberá documentar la disponibilidad de telefonía fija o móvil, radio o internet. Esto implica conocer también la disponibilidad de los medios electrónicos que permitan estas comunicaciones: quién dispone de teléfono fijo o móvil, ordenador, radio, etc.) y su ubicación.

- **Tecnologías de localización.** Pueden resultar útiles en dos ámbitos del proyecto: para incorporar tecnologías de localización al equipo (o al proceso estudiado) si es necesario, y para la distribución y transporte del equipo, pedido de componentes, reparaciones, mantenimiento, organización y gestión del uso comunitario, etc. Se deberá documentar la disponibilidad de receptores GPS en la zona.

4.4.6.3. Energía

Se deberá contemplar la procedencia de la energía utilizada en la comunidad y la disponibilidad de los suministros:

- **Tipos de energías.** La disponibilidad y la procedencia de la energía en la comunidad influirá sobre aspectos técnicos del equipo (tipo de accionamiento o proceso). Se deberá documentar qué energías están disponibles y su procedencia: renovables (solar, eólica, hidráulica, animal, etc.) o no renovables (combustibles fósiles y biomasa). Este dato también permitirá cuantificar las emisiones de CO₂ de las energías procedentes de combustibles fósiles. En cuanto a las energías renovables se deberán cuantificar los parámetros necesarios para su utilización (siempre a pequeña escala): radiación solar, horas de sol, velocidad del viento, caudal, etc.
- **Disponibilidad de los suministros energéticos.** Las características del suministro energético, principalmente el acceso a electricidad, condicionarán en gran medida la decisión sobre el tipo de accionamiento del equipo, si éste es necesario, y sus características a la hora de adquirirlo. Se documentarán las características técnicas (voltaje y potencia) del suministro eléctrico, su coste y, principalmente, la calidad del suministro: si hay cortes, cuánto duran y con qué frecuencia ocurren.

4.4.7. Entorno tecnológico

Se engloban en esta categoría aquellos aspectos de contexto que determinarán decisiones y especificaciones técnicas del equipo relacionadas con su fabricación y mantenimiento. Esta información se obtendrá con ayuda de los agentes involucrados en el proyecto y de la propia comunidad y de los talleres de la zona. Los aspectos aquí contemplados se han clasificado en fabricación y montaje, mantenimiento, materiales y componentes y aspectos legales.

4.4.7.1. Capacidad de fabricación y montaje

Se deberán contemplar todas las características del entorno industrial relacionadas con la fabricación del equipo. Se obtendrá información acerca de los siguientes aspectos:

- **Talleres y proveedores disponibles.** Se han de localizar los talleres disponibles en la zona con capacidad para fabricar el equipo con las características deseadas. Esta condición es primordial

para el desarrollo del proyecto en la zona de destino de la máquina. Se deberá también localizar otros proveedores necesarios para la fabricación del equipo y sus capacidades (fabricantes de tratamientos, recubrimientos, procesadores de plásticos, etc.). Se documentará el número de talleres existentes en la zona de actuación del proyecto interesados en él, su especialización, plazos de entrega y capacidad (número de máquinas herramienta, volumen de trabajo) que se hagan cargo de la fabricación y el montaje del equipo; se deberá prever dividir el trabajo entre diferentes talleres, si es necesario. Se cuantificará el volumen de trabajo que puede absorber el taller en función de las máquinas y personal disponible y, si es el caso, detectar si el taller está comprometiendo más carga de trabajo de la que realmente puede llegar a absorber. Esta información será necesaria para ayudar a establecer el número de unidades a fabricar.

- **Tecnologías de fabricación.** Las tecnologías y procesos de fabricación existentes en los talleres condicionarán directamente el diseño de las piezas y conjuntos del equipo. Se deberá documentar, por tanto, con qué medios de fabricación cuentan los talleres de la zona para la fabricación del equipo y las características que ofrecen, como utillajes disponibles, acabados o tolerancias. Así, deberá adaptarse el diseño y la documentación generada (planos) a estas características.
- **Presupuestos de fabricación.** El coste de fabricación y montaje del equipo será uno de los factores que condicionará el precio final de la máquina. Se documentará el precio que los talleres o proveedores necesarios cobrarán por la fabricación y montaje del equipo.
- **Aspectos sociales y culturales.** Como en el caso de los usuarios, se deberán contemplar las características sociales y culturales de estos agentes que intervienen en la fabricación del equipo. Se deberán documentar aspectos que pueden ser diferentes de los de la comunidad que usará el equipo como lengua, género y edad, costumbres, horarios, creencias religiosas, etc.

4.4.7.2. Capacidad de mantenimiento

Se analizarán las capacidades tecnológicas del entorno que permitan asegurar el mantenimiento y la disponibilidad del equipo. Esto es fundamental ya que muchos proyectos quedan abandonados por las averías y la falta de capacidad para llevar a cabo las reparaciones necesarias. Se deberá obtener información acerca de los siguientes aspectos:

- **Talleres y empresas de mantenimiento disponibles.** El mantenimiento y reparaciones que no pueda asumir la propia comunidad recaerá en los talleres o empresas disponibles (puede ser el mismo que ha fabricado el equipo y la capacidad de mantenimiento será, por tanto, similar a la de fabricación). Se deberán documentar, por tanto, los talleres y empresas disponibles, su interés en asumir el mantenimiento del equipo, sus capacidades técnicas, requerimientos que puedan afectar al diseño y su capacidad de desplazamiento hasta la zona de uso, o si los usuarios deberán transportar la máquina al taller. Se establecerá adecuadamente el contacto entre comunidad y empresa y los canales de comunicación apropiados para realizar las reparaciones que surjan y el mantenimiento preventivo necesario.

- **Presupuestos de mantenimiento.** El coste del mantenimiento para los usuarios durante el uso condicionará la disponibilidad del equipo. Se deberá documentar el coste de los recambios, reparaciones y mantenimientos preventivos para adecuar el diseño a un coste de mantenimiento bajo.
- **Aspectos sociales y culturales.** Como en el caso de los usuarios y los fabricantes, se deberán contemplar las características sociales y culturales de estos agentes que intervienen en el mantenimiento del equipo. Se deberán documentar aspectos que pueden ser diferentes de los de la comunidad que usará el equipo como lengua, género y edad, costumbres, horarios, creencias religiosas, etc.

4.4.7.3. Disponibilidad de materiales y componentes

La disponibilidad de recursos materiales técnicos es uno de los puntos más importantes para la factibilidad del proyecto. Se deberá contemplar en este apartado la disponibilidad de elementos técnicos para la fabricación del equipo como son:

- **Materiales.** Se determinarán los materiales disponibles en los mercados locales o próximos, los que se podrán usar en el diseño del equipo y posibles restricciones en su suministro. De deberá documentar:
 - Tipo de materiales disponibles: aceros, aluminios, bronce, plásticos, elastómeros, etc., además de los naturales: piedra, madera, fibras, arcilla, etc.;
 - Calidad: propiedades y características de los materiales en función de los estándares de fabricación. Estas características pueden ser difíciles de conseguir o poco fiables en según qué contextos; se deberá tener en cuenta a la hora de dimensionar piezas de cierta responsabilidad si no se conoce con seguridad estos valores (mediante coeficientes de seguridad adecuados);
 - Formas de suministro: formatos en que se pueden conseguir los diferentes materiales, sus dimensiones, calidad, acabados o tolerancias: barras, tubos, chapas, perfiles estándar u otras formas.
 - Condiciones de suministro: tiempos y formas de entrega de los materiales en cada contexto ya que esto puede hacer retrasar en gran medida el proyecto.
- **Componentes.** Se deberá conocer y documentar qué componentes y recambios pueden conseguirse de manera relativamente fácil en el mercado local y cuáles en mercados externos y sus plazos de entrega. Esto evitará diseñar sistemas o mecanismos que no puedan construirse por falta de disponibilidad de materiales y componentes. También evitará el paro prolongado de la máquina (o preverlo) en caso de avería o fallo de alguno de estos componentes (asegurar el mantenimiento). Entre éstos se obtendrá información sobre: tornillería, rodamientos, cojinetes, muelles, correas, acoplamientos, métodos de unión, componentes eléctricos, etc. Relacionado con estos componentes (y también con los materiales), se han de tener en cuenta los estándares de fabricación utilizados para su normalización y el sistema de unidades del país (DIN, ISO, Métrico, ASME, etc.).

4.4.7.4. Aspectos legales

Se investigarán los aspectos legales del país de destino que afecten al diseño y uso del equipo. Se deberán consultar:

- **Patentes.** Se realizará una búsqueda de las patentes en vigor sobre máquinas que realicen la misma función o similar, tanto para evitar colisiones técnicas que puedan impedir o restringir su uso y comercialización en el país de destino, como en otros países para obtener información sobre el estado del arte. Se documentarán las patentes existentes y, si es posible, su contenido.
- **Normativas de seguridad y ergonomía.** Se consultarán a los organismos pertinentes las restricciones legales o normativas de seguridad aplicables al uso de la máquina en el país de destino (protecciones, resguardos, paradas de emergencia, etc.). Se documentarán estas normativas y cómo afectan al diseño del equipo.

4.4.8. Proceso operativo

Se contemplarán en este apartado todos los aspectos relacionados con el proceso que ha de realizar o en el que ha de intervenir la máquina agrícola. Esta información se obtendrá de los propios agricultores, a través de los agentes colaboradores en el terreno y mediante trabajo de investigación del propio equipo de diseño. Estos datos se clasificarán en características del proceso actual, equipos existentes en el mercado para el proceso y expectativas del nuevo equipo.

4.4.8.1. Proceso actual

Se observarán las características generales de los cultivos de la zona para centrarse a continuación en las características técnicas (máquinas y herramientas utilizadas por los agricultores) y económicas del proceso concreto que realizará el equipo. Se deberán documentar, por tanto, los siguientes aspectos:

- **Otros cultivos.** Se documentará la variedad de cultivos de la zona y sus procesos básicos para contemplar más adelante, durante la definición del diseño, la opción de un equipo que realice la misma función para diferentes productos agrícolas (por ejemplo, una trilladora para arveja, frijol y quinua). Se documentarán también las cosechas anuales de los diferentes cultivos ya que definirán el uso del equipo y, por tanto, condicionarán el mantenimiento mínimo que necesitará y los materiales a utilizar en su diseño para evitar desgastes prematuros.
- **Máquinas y herramientas utilizadas.** Los principios de funcionamiento, arquitectura y estructura constructiva que presentan los equipos o herramientas utilizados para el proceso en cuestión ayudarán a definir el diseño de la nueva máquina. Durante el análisis del estado del arte se valorarán sus ventajas e inconvenientes para adaptarlos al contexto del proyecto, o buscar otros nuevos que mejoren su efectividad. Se deben observar y documentar de forma técnica estas características de las máquinas o herramientas que utilizan los agricultores.
- **Coste del proceso.** El coste del proceso tal como se realiza actualmente condicionará el precio de la nueva máquina y, en consecuencia, si esta nueva máquina realizará el proceso de forma manual o no (semiautomatizada o automatizada) y la inversión realizada en ella. Se

documentará el coste del proceso actual, de la mano de obra (personas y horas) o la maquinaria invertida en él.

- **Calidad y precio de venta de los productos.** Estos dos aspectos de los productos procesados actualmente indicarán los requisitos mínimos de calidad e ingresos a obtener con el nuevo equipo. Se documentarán los parámetros de calidad básicos del producto en cuestión (textura, aroma, color, integridad, etc.) y el precio medio de venta de éste.
- **Espacio y condiciones de operación.** Se documentarán los aspectos que condicionan el diseño de la máquina en cuanto al espacio y condiciones de trabajo (operación, almacenaje, dimensiones de los espacios).

4.4.8.2. Equipos alternativos

Se contemplarán los aspectos relacionados con máquinas existentes en el mercado local o externos que realicen la función deseada, pero de forma diferente. Se obtendrá información relativa a:

- **Funcionamiento.** Se observará cómo se está resolviendo la tarea en cuestión en el momento actual. Se documentarán los principios de funcionamiento, arquitectura y estructura constructiva de los equipos o herramientas disponibles en el mercado.
- **Precio.** Se documentará el precio de máquinas que realizan la misma función o similar disponibles en los mercados locales o externos.
- **Productividad.** Se documentará la productividad de equipos o herramientas existentes en el mercado local o externo. Este dato ayudará a valorar si la productividad deseada por los agricultores es factible de conseguir.

4.4.8.3. Expectativas respecto al equipo

Se contemplarán en este apartado las expectativas del agricultor respecto al proceso que ha de realizar la máquina y del fabricante (o fabricantes) respecto a las posibilidades de negocio.

- **Usuarios.** Los agricultores tendrán expectativas acerca de la función que ha de realizar el equipo, de qué manera, en cuánto tiempo, qué cantidad de producto querrán procesar (productividad) y con qué calidad, qué dimensiones quiere que tenga y por qué, qué precio estarían dispuestos a pagar por él (de forma individual o colectiva), etc. Esta información ayudará a establecer las especificaciones de productividad, dimensiones y precio final de la máquina.
- **Fabricantes.** En el caso que el diseño se ceda a un taller de fabricación, éste se hará cargo, además de la fabricación, de la distribución y venta del equipo. Se documentará el volumen de negocio esperado o requerido por los talleres locales por la fabricación y venta del equipo (generación de negocio local). En este aspecto se ha de conocer cuál es el beneficio mínimo que espera el taller por estos trabajos para establecer el número mínimo de unidades a fabricar. Esto condicionará a su vez, el mantenimiento, materiales, componentes o procesos de fabricación que dependen del volumen de producción. En el caso en que el promotor del proyecto se haga cargo del coste de fabricación no será necesario contemplar este aspecto.

4.5. Lista de referencia para el análisis del contexto

Los aspectos detallados en el apartado anterior conforman toda la información necesaria para el análisis del contexto en proyectos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Para facilitar la recogida de toda esta información durante el trabajo de campo de los ingenieros, se ha elaborado un resumen en forma de guía (Tabla 4.), siguiendo, como hasta ahora, el formato de la lista de referencia de especificaciones de Riba (Tabla 2.3). De forma análoga, esta tabla es la que se propone como lista de referencia del contexto y es la herramienta básica de esta propuesta metodológica para el análisis del contexto en el ámbito del diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Con ayuda de esta herramienta cada equipo de diseño elaborará su documento de contexto, de forma similar a como se elabora el documento de especificaciones. Durante la recogida de información es conveniente disponer de una tabla en blanco o plantilla con las entradas principales para no olvidar ningún aspecto, para anotar los datos que se van obteniendo durante las entrevistas, visitas, etc. (Tabla 4.4).

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO PARA MÁQUINAS AGRÍCOLAS APROPIADAS		
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS	
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma	Altitud, tipo de terrenos, desniveles, accesibilidad, tipo de suelos, vegetación y fauna.
	Clima	Condiciones atmosféricas habituales: pluviosidad, humedad, temperatura, proximidad al mar, horas de luz, estacionalidad. Condiciones atmosféricas esporádicas: viento, lluvia o temperaturas fuera de lo habitual.
	Recursos naturales	Fuentes de agua: localización, caudal, calidad, potabilidad, estacionalidad y usos. Materiales naturales: vegetación y materiales para la construcción. Residuos agrícolas y ganaderos: tipo, cantidad, procesos y usos.
	Impacto ambiental	Estado ambiental actual: índices de contaminación del aire, del agua, acústica, lumínica. Impacto ambiental de las alternativas de diseño: uso, fabricación y transportes.
USUARIOS	Aspectos sociales	Género, edad y parámetros ergonómicos. Capacidades tecnológicas, conocimientos y nivel formación. Cultura y valores: creencias religiosas, costumbres, horarios, calendario, alimentación, segregación por sexos, protocolos, sensibilidades. Predisposición y aceptación de cambios, posicionamiento respecto a la tecnología, responsabilidad ambiental, capacidad de emprendimiento, aspectos sociales de la tecnología y máquina concreta del proceso que se revisa. Asociacionismo y participación comunitaria: organización y jerarquía de la comunidad, nivel de asociacionismo, gestiones conjuntas, quién participa. Número potencial de usuarios: agricultores interesados en el equipo (compra, alquiler, uso compartido).
	Aspectos económicos	Ingresos habituales de los agricultores y procedencia. Formas de financiación: acceso a otros fondos (privados, públicos, subvenciones, crédito). Precio de sus máquinas o herramientas. Coste de la mano de obra del agricultor.

Tabla 4.3. Lista de referencia del contexto propuesta

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO PARA MÁQUINAS AGRÍCOLAS APROPIADAS	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
INFRAESTRUCTURAS	Transporte Vías de comunicación existentes: aéreas, terrestres, navegables. Tipo de vías, dimensiones máximas y frecuencia: fluvial, marítima, férrea, autopista, carretera, camino, sendero. Medios de transporte disponibles y capacidad de carga: vehículos, tren, animales, humana, barco, canos). Mapa de transportes del proyecto.
	Tecnologías de comunicación y localización Telecomunicaciones disponibles y ubicación: telefonía fija, móvil, radio, internet. Disponibilidad de aparatos electrónicos: teléfonos, ordenadores, radio. Tecnologías de localización disponibles: receptores GPS.
	Energía Tipos y procedencia de los suministros de energía: energías renovables y no renovables. Parámetros técnicos de las energías renovables de interés: solar, eólica, hidráulica. Disponibilidad de suministros energéticos y características: voltaje, potencia, calidad del suministro, cortes, coste.
ENTORNO TECNOLÓGICO	Capacidad de fabricación y montaje Talleres y proveedores disponibles: número, localización, capacidad, especialidad, plazos de entrega, maquinaria disponible, volumen de trabajo asumible. Tecnologías de fabricación disponibles: características, acabados, tolerancias, utillajes Presupuestos de fabricación y montaje. Aspectos sociales y culturales: lengua, costumbres, horarios, creencias religiosas, género y edad, protocolos.
	Capacidad de mantenimiento Talleres y empresas disponibles Presupuestos de mantenimiento Aspectos sociales y culturales.
	Disponibilidad de materiales y componentes Materiales: tipos, calidad, características mecánicas, formato de suministro y plazos de entrega. Componentes, recambios y plazos de entrega. Estándares de fabricación.
	Aspectos legales Patentes. Normativas de seguridad y ergonomía.

Tabla 4.2 (cont). Lista de referencia del contexto propuesta

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO PARA MÁQUINAS AGRÍCOLAS APROPIADAS	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
PROCESO OPERATIVO	Proceso actual Otros cultivos: variedad, procesos, cosechas anuales, Máquinas y herramientas utilizadas: Principios de funcionamiento y arquitectura. Coste: mano de obra, maquinaria invertida en el proceso, horas. Calidad y precio de venta de los productos: parámetros de calidad obtenidos y precio de venta medio. Espacio y condiciones de operación.
	Equipos alternativos Funcionamiento: Principios de funcionamiento y arquitectura implícita en las soluciones existentes en el mercado. Precio. Productividad.
	Expectativas respecto al equipo Usuarios: expectativas de funcionamiento, uso, dimensiones, productividad, calidad, precio. Fabricantes: expectativas de negocio, volumen de fabricación esperado, beneficio mínimo.

Tabla 4.2 (cont). Lista de referencia del contexto propuesta

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO PARA MÁQUINAS AGRÍCOLAS APROPIADAS		
CONCEPTO		CARACTERÍSTICAS
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma	
	Clima	
	Recursos naturales	
	Impacto ambiental	
USUARIOS	Aspectos sociales	
	Aspectos económicos	
INFRAESTRUCTURAS	Transporte	
	Tecnologías de comunicación y localización	
	Energía	
ENTORNO TECNOLÓGICO	Capacidad de fabricación y montaje	
	Capacidad de mantenimiento	
	Disponibilidad de materiales y componentes	
	Aspectos legales	
PROCESO	Proceso actual	
	Equipos alternativos	
	Expectativas respecto al equipo	

Tabla 4.4. Plantilla para la elaboración del documento de contexto

Fuente: elaboración propia

4.6. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha descrito la metodología propuesta para el diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Se basa en las metodologías clásicas de diseño de máquinas pero se modifica la secuencia de etapas añadiendo una etapa previa a la definición del equipo, con entidad propia: la de análisis del contexto. Para enmarcar adecuadamente esta nueva etapa se han detallado los conceptos de contexto, definición y especificación del proyecto de diseño. En esta tesis, se define el contexto en un proyecto de diseño de máquinas agrícolas apropiadas como:

- marco (físico, ambiental, económico, cultural) donde desarrolla el proyecto y que hay que contemplar y explicitar a su inicio, como etapa inicial;
- base sobre la que se ha de establecer la definición y, por tanto, las especificaciones del equipo;
- referencia transversal a todo el proyecto, que afecta a todas las etapas del diseño.

De igual forma, se considera que el resultado de la etapa de definición del equipo en los proyectos de máquinas apropiadas, es decir, la especificación:

- se fundamenta en un análisis del contexto, realizado previamente;
- es revisable y negociable con todos los agentes involucrados en el proyecto (usuarios, agentes locales, ingenieros, fabricantes, distribuidores, etc.).
- se concreta en un listado de especificaciones:
 - cualitativas y cuantitativas, dependiendo de la característica que se pretenda especificar;
 - suficientemente abiertas;
 - que no condicionen el resultado ni den soluciones de diseño;
 - permitan soluciones creativas.

A partir del estudio de estos dos casos prácticos, la información obtenida de la bibliografía y la experiencia propia, en este capítulo se ha desarrollado el listado de referencia del contexto, que ha de servir al equipo de diseño para analizar los aspectos del entorno que afectan al proyecto de diseño de la máquina agrícola. Esta lista de referencia clasifica los aspectos del contexto en diferentes categorías y, para cada una de ellas, se dan indicaciones de qué informaciones recabar y cómo afectan al diseño definitivo del equipo. Se contemplan en esta lista aspectos ambientales, de los usuarios, de infraestructuras, del entorno tecnológico y del proceso operativo.

La clasificación de la lista de referencia en estas categorías presenta las siguientes características:

- permite obtener una imagen de la realidad de la comunidad que afecta al diseño de la máquina;
- facilita la obtención de la información, simplificando la labor del equipo de diseño en esta etapa;
- simplifica el análisis del contexto cuando se diseñan diferentes máquinas agrícolas en el mismo contexto: el documento de contexto para diferentes proyectos será igual, únicamente variará la información relativa al proceso operativo.

Con esta herramienta, el equipo de diseño ha de elaborar el documento de contexto del proyecto que ayudará a redactar las especificaciones y definir la máquina en la etapa siguiente de definición. Este documento de contexto y el de especificaciones estarán presentes durante todo el desarrollo del proyecto.

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MÁQUINAS APROPIADAS

La metodología propuesta, como se ha descrito en el capítulo anterior, propone introducir una nueva etapa en la secuencia de la metodología de diseño de fases clásica: la etapa de análisis del contexto. En esta nueva etapa se propone utilizar la lista de referencia del contexto como herramienta para analizar el entorno y elaborar el documento de contexto. Este documento contendrá toda la información necesaria para elaborar unas especificaciones adecuadas al contexto y definir el equipo de forma apropiada.

En el capítulo 3 se han descrito los procesos de diseño de dos proyectos de máquinas agrícolas apropiadas. Para cada ejemplo, se ha detallado la información del contexto utilizada y las carencias de las especificaciones del equipo elaboradas en aquel momento. En este capítulo, a partir de ese análisis previo y con la finalidad de validar la propuesta metodológica, se revisan y completan los dos proyectos, incluyendo la etapa de análisis del contexto realizada mediante la lista de referencia propuesta. Se rehacen las especificaciones para cada uno, se analizan las diferencias encontradas en cada caso y cómo afecta en el desarrollo de estos proyectos.

La metodología propuesta se aplica además a dos proyectos nuevos, que se detallan en este capítulo:

- Diseño de una trituradora de residuos agrícolas, donde se aplica la metodología desde el inicio y se lleva a cabo la totalidad del proyecto, hasta la entrega del equipo a los agricultores.
- Diseño de una peladora de cañas, donde se aplica la metodología desde el inicio del proyecto hasta el diseño conceptual como prospección en dos contextos diferentes y conocidos: Ecuador y Nepal.

5.1. Caso 1: Teleférico de transporte de productos agrícolas en Nepal

En el capítulo 1 se ha descrito el desarrollo del proyecto de rediseño de un teleférico accionado por gravedad que permite a los agricultores transportar sus productos de manera más rápida desde los cultivos en las montañas hasta los valles. El diseño debía mejorar y optimizar el funcionamiento y la eficiencia, resolviendo ciertos problemas técnicos. Se diseñaron las estaciones superior e inferior y las torres intermedias introduciendo mejoras orientadas principalmente al montaje, se incorporó un sistema de freno pasivo y un accionamiento manual de emergencia. Para este trabajo, en la etapa de definición se elaboraron las especificaciones que guiaron todo el diseño (Tabla 3.1). En el capítulo 4 se ha revisado cómo afecta la información del contexto a la elaboración de las especificaciones y qué carencias se encuentran en éstas sin un análisis previo de este contexto. A continuación, se muestra el desarrollo del mismo proyecto, incluyendo la nueva etapa de análisis de contexto en la metodología de diseño y utilizando la lista de referencia propuesta en el capítulo anterior.

5.1.1. Etapa 0: Análisis del contexto

Con la información disponible sobre el contexto, se realiza la etapa 0 de análisis del contexto aplicando la lista de referencia propuesta y obteniendo como resultado de esta etapa el documento de contexto del proyecto. La siguiente tabla muestra este documento de contexto con toda la información relevante clasificada según el guion propuesto, y obtenida a través de los técnicos, de la ONG Practical Action o de los propios usuarios.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Teleférico para transporte de productos agrícolas en Nepal	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma Altitud, terreno, accesibilidad: país muy montañoso y abrupto en su mayor parte. Dividido en tres regiones: montaña (de 4000 a 8845 m), colinas (1000 a 4000 m) y Terai. Los teleféricos se instalan en la zona de colinas y montaña, muy abrupta, con grandes desniveles, sobre los 2000-2500 m en el caso actual. Zonas de montaña erosionadas por los sistemas de cultivo (terrazas). Vegetación: Paisaje y vegetación de alta montaña, bosques de coníferas a partir de 2.500-3.000 m aprox.
	Clima Diferentes zonas climáticas en función de la altura: tropical, subtropical, templada, fría, alpina. Los teleféricos se instalan en zonas subtropicales y templadas. Condiciones atmosféricas habituales: temporada de lluvias (junio-septiembre) por el monzón y temporada seca (octubre-junio). Condiciones atmosféricas esporádicas: Sequía durante 2 meses, temperaturas bajo cero en invierno.
	Recursos naturales Fuentes de agua: abundante en la propia comunidad durante todo el año, potable, la usan para beber. Materiales naturales: principalmente madera, piedras Residuos agrícolas: restos de los cultivos y estiércol animal se usan como abono.
	Impacto ambiental En la zona de instalación no hay contaminación ambiental. En las ciudades como Katmandú la contaminación del aire es muy elevada.
USUARIOS	Aspectos sociales Tipos de usuarios: operarios del teleférico (normalmente hombres adultos) y agricultores que quieren bajar productos al valle (pueden ser hombres, mujeres o niños). Género y edad: Los agricultores que usarán el teleférico serán indistintamente hombres o mujeres. Los operarios del teleférico normalmente serán hombres. La media de estatura está sobre los 160 cm para hombres, 150 para mujeres. Capacidades, formación: Los usuarios no tendrán o tendrán escasa formación básica conocimientos tecnológicos, pero los operarios han de tener una mínima formación en el funcionamiento del teleférico para garantizar el correcto uso y la seguridad de la instalación. Cultura y valores: la mayoría son hinduistas, aunque también hay budistas y musulmanes. El idioma oficial es el nepalí, pero convive con otras lenguas. Tienen dos comidas principales al día (amanecer y noche). Su calendario comienza en el mes de abril occidental. Sociedad totalmente patriarcal, de tradiciones profundamente arraigadas en muchas comunidades, pero buena predisposición a cambios, buena aceptación del proyecto. Valoran su entorno, pero no son conscientes de los impactos ambientales de sus actividades. No se detecta emprendimiento para crear nuevas iniciativas o negocios. Impulsadas básicamente por la ONG Practical Action Nepal que coordina el proyecto. Asociacionismo, participación: En general están bien organizados, posiblemente por la presencia de la ONG en la zona. La comunidad más cercana al punto de instalación tiene un responsable (con funciones de alcalde) como figura de representación del pueblo y de comunicación con la ONG. Número potencial de usuarios: 300-500 personas por teleférico.
	Aspectos económicos Ingresos: El nivel adquisitivo de los agricultores es muy bajo. Formas de financiación: La comunidad aporta materiales, mano de obra y una pequeña aportación económica y la ONG la inversión inicial y la estructura mecánica. Para la gestión y explotación del teleférico se creará una cooperativa. Precio de sus máquinas o herramientas: no disponen de máquinas y las herramientas que tienen son rudimentarias; se desconoce el coste. Coste de la mano de obra del agricultor: se desconoce.

Tabla 5.1. Documento de contexto para el diseño de teleféricos en Nepal.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Teleférico para transporte de productos agrícolas en Nepal	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
INFRAESTRUCTURAS	Transporte Vías de comunicación: aéreas y terrestres. Existe un pequeño aeropuerto a unos 20 km del punto habitado más cercano, que se han de hacer en todoterreno y el último acceso a la instalación, en burros o a pie. Tipo de vías: Las vías de comunicación que existen con ciudades importantes son carreteras asfaltadas. Entre poblaciones o comunidades no existen infraestructuras de comunicación, tan sólo caminos o senderos estrechos y abruptos. Medios de transporte: Los agricultores no disponen de vehículos propios o comunitarios, la ONG sí dispone de todoterrenos. El acceso al punto de instalación se ha de realizar en burros, yaks o a pie.
	Tecnologías de comunicación y localización Telecomunicaciones: disponibilidad de señal de telefonía móvil, radio y televisión por satélite. Tecnologías de localización: Disponibilidad de receptores GPS en los mismos teléfonos móviles. Aparatos electrónicos: Las ONG disponen de teléfonos móviles. La comunicación entre las estaciones superior e inferior del teleférico se realiza mediante teléfono móvil. Cuando no disponen de móviles se comunican golpeando el cable del teleférico. Algunas edificaciones (hoteles, ONG) cuentan con paneles solares individuales conectados a baterías que sirven para dar soporte a las comunicaciones de estas entidades y establecimientos (cargar los teléfonos móviles de los turistas o coordinadores de las ONG).
	Energía Tipos: No se dispone de fuentes de energía en la zona donde se instalará el teleférico. No hay energía eléctrica disponible en la comunidad más cercana. Suministro: la red eléctrica llega a un 70% de la población pero la calidad del suministro eléctrico en todo el país es mala.
ENTORNO TECNOLÓGICO	Capacidad de fabricación y montaje Talleres disponibles: El único taller que puede construir la estructura está a unos 550 km. Tecnologías de fabricación disponibles: tecnologías de fabricación básicas como torno (diámetro máximo 800 mm), taladro, soldadura por soplete, corte (sierra) y plegado de chapa rudimentarios (poco precisos). Herramientas de trabajo básicas: destornillador, llaves fijas, escarpa, piedras, martillo, tensor de cable. Presupuesto de fabricación: se desconoce. Aspectos sociales: el taller está alejado de la zona de instalación y cerca de la capital, Katmandú. El jefe de taller habla inglés lo cual facilita la comunicación. Las capacidades técnicas son limitadas pero por encima de las de los usuarios de la zona de instalación. Hay buena predisposición para asumir el trabajo.
	Capacidad de mantenimiento El mantenimiento básico lo realizarán los propios usuarios. El mantenimiento más técnico lo realizará el taller de fabricación.
	Disponibilidad de materiales y componentes Materiales: perfiles estándar de construcción (IPE, UPN) y tubulares (cuadrados y redondos). Se ha de consultar la disponibilidad de la zona en el momento concreto; chapa de acero estructural de espesores estándar preferiblemente S235JR. Componentes y recambios: muy baja; rodamientos, cables y cojinetes no están disponibles, se pueden conseguir de la India. Estándares de fabricación: normas y estándares sistema internacional.
	Aspectos legales No existen patentes ni normativa en el país que condicionen el diseño.

Tabla 5.1 (cont.). Documento de contexto para el diseño de teleféricos en Nepal.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Teleférico para transporte de productos agrícolas en Nepal	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
PROCESO OPERATIVO	<p>Proceso actual</p> <p>Cultivos: arroz, maíz, yute, caña de azúcar, tabaco, manzanas, hortalizas y cereales. Una única cosecha anual de productos agrícolas en las montañas.</p> <p>Máquinas utilizadas: no se utiliza ningún equipo para bajar los productos, se realiza a pie.</p> <p>Coste: se desconoce el coste de las horas invertidas en el proceso por los agricultores.</p> <p>Calidad y precio de venta de los productos: Pierden calidad durante el descenso a pie por el tiempo invertido y las caídas. Se desconoce el precio de venta medio de los productos actualmente.</p>
	<p>Equipos alternativos</p> <p>Funcionamiento: Existen otros teleféricos por gravedad en el país implementados por la ONG. Se basará el diseño en este funcionamiento. En otros mercados existen teleféricos accionados por motores que no son adecuados para la zona de actuación.</p> <p>Precio: se desconoce el precio de los otros teleféricos instalados en el país.</p> <p>Productividad: los otros teleféricos instalados en el país funcionan habitualmente cubriendo las necesidades de los agricultores de sus zonas pero se desconoce la productividad exacta.</p>
	<p>Expectativas respecto al equipo</p> <p>Expectativas de los usuarios. Productividad deseada: reducción de tiempo en descender las cargas de 3 horas a unos minutos. Bajar unas 5 cestas por hora. No pueden pagar apenas nada por su uso.</p> <p>Expectativas de los fabricantes: no se busca generar beneficios con la construcción de teleféricos. Sólo se pretende construir un teleférico en esta zona.</p>

Tabla 5.1 (cont.). Documento de contexto para el diseño de teleféricos en Nepal.

Fuente: elaboración propia

5.1.2. Etapa 1: Definición. Nuevas especificaciones del teleférico

A partir del análisis de las especificaciones realizado en el capítulo 4 y de la lista de referencia del contexto, se elaboran de nuevo las especificaciones de diseño de la etapa de definición. La Tabla 5.2 muestra la nueva lista de especificaciones revisada para el teleférico comparada con las especificaciones iniciales, donde se han marcado las especificaciones que han variado. Los cambios introducidos en las especificaciones revisadas, no harían que el diseño realizado durante la ejecución del proyecto variase. Estos cambios y las especificaciones añadidas se tuvieron en cuenta implícitamente en el diseño, sin documentarlas.

El análisis de esta comparativa muestra qué errores se habían cometido en el establecimiento de las especificaciones iniciales, sin haber analizado explícitamente el contexto:

1. Algunas especificaciones no se definen adecuadamente o ni tan solo se definen, por ejemplo:
 - **Materiales:**
No se había contemplado la protección ante la corrosión. Se añade la especificación de pintar las piezas metálicas para evitar la corrosión a raíz de la información sobre la climatología de la zona.

Se concreta la especificación “Se utilizarán materiales de uso extendido en Nepal” añadiendo los datos del documento de contexto con los materiales concretos de los que se puede disponer.

- Fabricación y montaje:
Se concreta la especificación “Se utilizarán piezas normalizadas siempre que sea posible” dando datos del documento de contexto sobre qué componentes estandarizados no están disponibles en Nepal.

Se concreta la especificación “Piezas no normalizadas fabricables con las tecnologías disponibles in situ” dando datos de las tecnologías de fabricación y herramientas disponibles.
 - Transporte:
No se había explicitado este conjunto de especificaciones tan importante para el diseño. A partir del documento de contexto y de la información del transporte disponible, se establece la Unidad Máxima de Transporte (UMT) para el proyecto (45 kg, 500x500x500 mm).
 - Vida útil y mantenimiento:
“Mantenimiento mínimo”. Se concreta añadiendo el intervalo de tiempo en el que ha de hacerse el mantenimiento basado en la información del contexto sobre uso, condiciones atmosféricas habituales, etc.
2. Algunas especificaciones se avanzan a la definición, presuponiendo un contexto ya conocido (el de los países desarrollados):
- Función:
La especificación “Evitar que los cables se enreden a lo largo de la línea”. Es demasiado genérica. Sin dar solución de diseño, se concreta diciendo que los cables se han de mantener separados. Esta especificación es más adecuada para generar una solución de diseño.
 - Fuerzas:
La especificación “Sistema de frenado pasivo” define un tipo de freno concreto. Se sustituye por la especificación más genérica “Sistema de frenado independiente del usuario” sin dar solución de diseño, quizás no realizable en el contexto del proyecto; el ingeniero tiene más libertad sobre el sistema de frenado a utilizar.

La explicitación y modificación de estas especificaciones evita el riesgo importante de un mal diseño por falta de información o por presuponer soluciones de diseño no adecuadas para el contexto. También evita que, en el caso de que un nuevo grupo de diseño tome el proyecto, o que una persona nueva entre en el equipo de trabajo, cometa errores básicos de concepto al no disponer de esta información.

PROYECTO: Teleférico para transporte de productos agrícolas en Nepal			
ESPECIFICACIONES	Descripción original	Descripción revisada	Propone R/D
Concepto			
Función	Trasladar las cestas con productos agrícolas desde lo alto de la montaña hasta el valle Incorporar un cable tractor + dos cables guías Posibilidad de transportar mercancías en sentido contrario Evitar que los cables se enreden a lo largo de la línea	Trasladar las cestas con productos agrícolas desde lo alto de la montaña hasta el valle Incorporar un cable tractor + dos cables guías Posibilidad de transportar mercancías en sentido contrario Mantener los cables separados a lo largo de la línea	EP EP PA PA
Dimensiones	Cubrir desniveles de 500 m con desniveles intermedios Longitud máxima de cable: 1800 m Flecha máxima: 65 m Peso de la cesta: inferior a 50 Kg Distancia entre los cables guía: 1800 mm	Cubrir desniveles de 500 m con desniveles intermedios Longitud máxima de cable: 1800 m Flecha máxima: 65 m Peso de la cesta: inferior a 50 Kg Distancia entre los cables guía: 1800 mm	CTXT + PA CTXT CTXT + PA PA + CDEI PA
Movimientos	Velocidad de las cestas: entre 10 y 20 m/s Velocidad de descenso controlada	Velocidad de las cestas: entre 10 y 20 m/s Velocidad de descenso controlada	PA + CDEI CDEI
Fuerzas	Tensión máxima del cable: 10000 N (máx. del tensor) Carga máxima: 1200 N Sistema de frenado pasivo Sistema de frenado efectivo en ambos sentidos	Tensión máxima del cable: 1000 Kg (máx. del tensor) Carga máxima: 120 Kg Sistema de frenado independiente del operario Sistema de frenado efectivo en ambos sentidos	CTXT PA PA + CDEI PA
Energía	Accionado por gravedad Accionamiento manual en caso de ser necesario Posibilidad de aprovechar la energía disipada por el sistema	Accionado por gravedad Accionamiento manual Posibilidad de aprovechar la energía disipada por el sistema	EP PA PA + CDEI
Materiales	Se utilizarán materiales de uso extendido en Nepal	Se utilizarán los siguientes materiales preferentemente: 1. Perfiles IPE, UPN 2. Chapas 2 y 5 mm preferiblemente S235JR 3. Madera 4. Piedras 5. Cuero	CTXT
	-	Se pintarán las piezas metálicas para resistir y evitar la corrosión.	R

Tabla 5.2. Nueva lista de especificaciones revisada para el teleférico instalado en Nepal comparada con la especificación original.

Fuente: elaboración propia

PROYECTO: Teleférico de productos agrícolas en Nepal			
ESPECIFICACIONES	Descripción original	Descripción revisada	R/D
Concepto	Se utilizarán piezas normalizadas siempre que sea posible.	Se utilizarán componentes normalizados disponibles en Nepal. No se incluirán muelles y se evitará el uso de rodamientos y cojinetes, de disponibilidad limitada.	CTXT
	Diámetro de poleas: ≤ 800 mm	Diámetro de poleas: ≤ 800 mm	CTXT
	Usar cable de tipo 6x19 Seale (9/9/1)	Usar cable de tipo 6x19 Seale (9/9/1)	CTXT
Fabricación y montaje	Piezas no normalizadas fabricables con las tecnologías disponibles in situ.	Piezas no normalizadas fabricables con las tecnologías disponibles in situ: 1. torno, taladro, soldadura por soplete, corte (sierra) y plegado de chapa rudimentarios (poco precisos); 2. destornillador, llaves fijas, escarpa, martillo, tensor de cable.	R
	-	Todas las piezas del sistema se han de poder transportar en burro: Unidad Máxima de Transporte, UMT = 45 kg – 500x500x500 mm	C
Transporte	-	-	R
Coste	Coste mínimo	Reducir uso de materiales, componentes y procesos de fabricación.	CTXT
Vida útil y mantenim.	Mantenimiento mínimo	Mantenimiento mínimo: engrase y revisión de elementos principales semanalmente.	PA + CTXT
	-	La vida útil de la máquina ha de ser de al menos 10 años	PA+CDEI
Seguridad y ergonomía	Uso de componentes comercializados en el mercado nacional	Uso de componentes comercializados en el mercado nacional	CTXT
	Piezas en movimiento no accesibles en funcionamiento	Piezas en movimiento no accesibles en funcionamiento	PA-CDEI
Impacto ambiental	Priorizar el uso de materiales reciclables	Priorizar el uso de materiales reciclables	PA + CDEI
Propone:			
PA: Practical Action Nepal		EP: Establecida previamente	
CDEI: Centre de Disseny d' Equipos Industrials - UPC		CTXT: Derivada del análisis del contexto	
Carácter de la especificación:			
R: Requisito		D: Deseo	

Tabla 5.2. (cont.). Nueva lista de especificaciones revisada para el teleférico instalado en Nepal comparada con la especificación original.

Fuente: elaboración propia

5.1.3. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

El procedimiento y el resultado de las etapas de materialización y detalle sería prácticamente igual para el diseño del teleférico ya que la información del contexto se tuvo en cuenta durante el proceso y se resolvieron satisfactoriamente los puntos que quedaban afectados por ésta, aunque no se explicitase adecuadamente ni se siguiese un método para documentarla. Esto fue posible gracias al desplazamiento del equipo del CDEI-UPC al país y a la interacción con el equipo local durante el proyecto.

Si el diseño se hubiese realizado en su totalidad desde un contexto desarrollado, sin la interacción adecuada ni la captación de información del contexto por el equipo de diseño, el resultado probablemente hubiese sido distinto y se hubiesen cometido errores de diseño por la falta de esta información. Por ejemplo, es probable que se hubiesen diseñado piezas que requiriesen tecnologías de fabricación no disponibles en la zona pero comunes en nuestro entorno tecnológico (corte por láser o simplemente por sierra), o se hubiesen incorporado tolerancias de montaje demasiado estrictas para las herramientas disponibles, o se hubiesen incluido muelles o rodamientos en el mecanismo de paso por la torre. Es probable también que no se hubiesen considerado adecuadamente las restricciones de transporte y acceso y se hubiesen sobrepasado las dimensiones máximas de transporte impidiendo el traslado de piezas hasta la zona de montaje.

5.2. Caso 2: Deshojadora de mazorcas de maíz en Ecuador

Este proyecto, como se ha visto en el apartado 3.2, consistió en el diseño de una deshojadora de mazorcas de maíz. Este proceso se realiza a mano, habitualmente por mujeres y niños, y supone una inversión de tiempo importante. Como en el caso del teleférico, este proyecto se llevó a cabo sin realizar una etapa previa de análisis del contexto, al menos de una manera explícita, pero se documentaron ya, como se ha visto, algunos aspectos básicos que afectarían al diseño: coste, expectativas de los usuarios, montaje, energía, disponibilidad de materiales (apartado 3.2.2). De forma análoga al proyecto del teleférico, se muestra el desarrollo del proyecto, pero incluyendo la nueva etapa de análisis de contexto en la metodología de diseño y utilizando la lista de referencia propuesta en el capítulo anterior. Si el caso del teleférico se trataba de un rediseño de un equipo colectivo, este proyecto muestra la aplicación de la metodología a un equipo de uso individual cuyo diseño se realiza desde cero (proyecto original).

5.2.1. Etapa 0: Análisis del contexto. Documento de contexto

Se lleva a cabo la etapa 0 de análisis del contexto aplicando la lista de referencia propuesta. En la tabla propuesta para la recogida de datos se introduce la información de contexto de los agricultores de la Sierra de Ecuador, clasificada y obtenida en las visitas por el equipo del CDEI-UPC y a través del equipo de ingenieros locales de la ESPE en Quito. La Tabla 5.3 recoge toda esta información.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Deshojadora de mazorcas de maíz para la Sierra de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma Altitud, terreno, accesibilidad: Altitud: siempre por encima de los 2500 – 3000 metros en la Sierra. Disminuye hasta el nivel del mar en la costa. Terreno muy montañoso en la Sierra, con grandes cortados y vaguadas difíciles de salvar. Vegetación: Muy variable según la zona y el clima: desde bosque seco a selva tropical.
	Clima Clima muy variado en todo el país; existen hasta 80 microclimas distintos. En la Sierra temperaturas más bajas y pluviosidad más alta. 12-12 horas de sol – noche. Condiciones atmosféricas habituales: en la Sierra lluvioso de octubre a mayo (>2500 mm/año), húmedo, temperatura media oscila entre los 7°C y los 21°C. Condiciones atmosféricas esporádicas: en la Sierra puede haber episodios de lluvia intensa.
	Recursos naturales Fuentes de agua: abundante en toda la Sierra durante todo el año, potable, la usan para beber y algunos procesos agrícolas (cacao, café). Materiales naturales: principalmente madera, cañas, piedra. Residuos agrícolas: restos de los cultivos y estiércol animal se usan como abono.
	Impacto ambiental Uso masivo de combustibles fósiles debido a su bajo precio y elevadas emisiones de CO ₂ , principalmente para el transporte. En la zona de las comunidades donde se usará la máquina no hay tanta contaminación. En las ciudades como Quito la contaminación del aire es muy elevada.

Tabla 5.3. Documento de contexto para el diseño de la deshojadora en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Deshojadora de mazorcas de maíz para la Sierra de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
USUARIOS	<p>Aspectos sociales</p> <p>Tipos de usuarios: hombres, mujeres o niños de zonas agrícolas.</p> <p>Género y edad: usarán el equipo indistintamente hombres o mujeres. La media de estatura está sobre los 165 cm para hombres, 155 para mujeres.</p> <p>Capacidades, formación: Los usuarios no tendrán o tendrán escasa formación básica o conocimientos tecnológicos. Algunos poseen experiencia en el manejo de pequeñas máquinas.</p> <p>Cultura y valores: población multiétnica (indígenas, mestizos, afroamericanos, blancos). El idioma oficial y mayoritario es el español, pero con muchas variantes. Existen otras lenguas minoritarias: quichua, chuar y otras. Sus costumbres están adaptadas a los estándares occidentales, pero conservan sus tradiciones. La situación de la mujer ha mejorado con el desarrollo de las últimas décadas, pero en las áreas rurales continúan sufriendo condiciones discriminatorias. La predisposición a cambios varía en función de la comunidad. Algunas comunidades de origen quichua son más herméticas y se encuentran algunas dificultades de acercamiento. Son más reacios a cambios, aunque están bien organizados. Valoran su entorno y son sensibles al impacto ambiental provocado por sus actividades. Incluso son sensibles a la contaminación acústica. Los productores de café y cacao realizan cultivo ecológico. Son emprendedores a pequeña y mediana escala. No tienen consciencia de la independencia técnica; al contrario, gran dependencia a nivel industrial y de maquinaria de mercados externos como el colombiano y el estadounidense. Consciencia a nivel de ingenieros agrícolas en la universidad.</p> <p>Asociacionismo, participación: El nivel de asociacionismo o cooperativismo depende de la zona: se ha detectado que es bajo en la Sierra, pero alto en el Sur (Loja). Han existido campañas del gobierno para la promoción de maquinaria de uso colectivo, pero con escaso éxito. Experiencias de proyectos de cooperación anteriores para compartir máquinas o equipos comunitarios han fracasado. No se conoce la presencia de ONG que trabajen en esta línea.</p> <p>Número potencial de usuarios: depende de la difusión que se haga del equipo y su precio pero pueden llegar a ser unos cien en la Sierra.</p>
	<p>Aspectos económicos</p> <p>Ingresos: El nivel adquisitivo de los agricultores es bajo. Sus ingresos proceden de su producción agrícola y algunos subsidios del gobierno. Han existido campañas para la promoción de maquinaria de uso colectivo, pero con escaso éxito.</p> <p>Formas de financiación: El proyecto se realiza con la financiación y el soporte de la AECID. No se disponen ni se conocen otras ayudas.</p> <p>Precio de sus máquinas o herramientas: no disponen de máquinas apenas invierten en otros equipos; se desconoce el coste de las herramientas.</p> <p>Coste de la mano de obra del agricultor: aprox. 15 \$/jornada</p>

Tabla 5.3 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la deshojadora en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Deshojadora de mazorcas de maíz para la Sierra de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
INFRAESTRUCTURAS	Transporte Vías de comunicación: aéreas y terrestres. Disponibilidad de transporte aéreo interno a las ciudades principales del país. Gran oferta de servicios de autobús o taxis entre poblaciones. Tipo de vías: Vías de acceso a las fincas complicadas, caminos sin asfaltar. Medios de transporte: Los agricultores no disponen de vehículos propios o comunitarios. El fabricante de las máquinas dispone de vehículo (turismo y furgoneta). Transporte animal: burros, mulos, llamas.
	Tecnologías de comunicación y localización Telecomunicaciones: disponibilidad de señal de telefonía móvil, radio y televisión por satélite. Tecnologías de localización: Disponibilidad de receptores GPS en los mismos teléfonos móviles. Aparatos electrónicos: Algunos agricultores disponen de teléfono móvil o pueden acceder a locutorios.
	Energía Tipos: Ecuador es productor de petróleo, por tanto, los combustibles fósiles provenientes de él se pueden adquirir fácilmente en casi todo el país y resultan baratos. El país dispone de un único parque eólico (Villonaco). La disponibilidad de energía solar en la Sierra es escasa por el bajo número de horas de insolación (cielos nublados gran parte del día). Ecuador dispone de gran número de centrales hidroeléctricas que generan más del 50% de la energía eléctrica del país. No se dispone de sistemas de energía eólica o solar adaptadas a las comunidades rurales. Suministro: la red eléctrica llega a un 99% de la población y la calidad es aceptable. En las explotaciones agrícolas el combustible está disponible y barato (con restricciones en las zonas fronterizas); energía eléctrica disponible en la mayor parte de las explotaciones agrícolas a 110 V.
ENTORNO TECNOLÓGICO	Capacidad de fabricación y montaje Talleres disponibles: en la capital, Quito, o ciudades como Cuenca o Loja, hay talleres que pueden hacerse cargo de la fabricación del equipo. El taller encargado de la fabricación (Quito) puede asumir la fabricación de unas 10 máquinas al mes. Tecnologías de fabricación disponibles: los talleres consultados en Quito pueden en su mayoría mecanizar y plegar piezas sencillas. Corte por láser disponible en las grandes ciudades. Posibilidad en algunos talleres de mecanizar engranajes y recubrir con caucho ciertas piezas y mecanizarlas. Tiempos de entrega largos y variables. Presupuesto de fabricación: 860 \$ (Quito). Aspectos sociales: El jefe de taller es discapacitado y no puede desplazarse a las fincas. Otros operarios pueden hacerlo y transportar el equipo hasta las fincas.
	Capacidad de mantenimiento El mantenimiento básico lo realizarán los propios usuarios. El mantenimiento más técnico lo realizará el taller de fabricación. Presupuesto de mantenimiento: no disponible Aspectos sociales: El jefe de taller es discapacitado y no puede desplazarse a las fincas. Otros operarios pueden hacerlo y transportar el equipo hasta las fincas.
	Disponibilidad de materiales y componentes Materiales: disponibles la mayoría de formatos estándar de acero, aluminio, latón, plásticos, elastómeros, etc. Componentes y recambios: alta disponibilidad de componentes de transmisión y otros elementos usados en automoción; tiempo de entrega variable según la zona. Estándares de fabricación: normas y estándares estadounidenses y anglosajones en su mayoría, así como sistemas de medida (peso, longitudes).
	Aspectos legales No existen patentes ni normativa en el país que condicionen el diseño.

Tabla 5.3 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la deshojadora en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Deshojadora de mazorcas de maíz para la Sierra de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
PROCESO OPERATIVO	<p>Proceso actual</p> <p>Cultivos: Cultivos principales del país: maíz (sierra, costa y oriente), arroz (costa y oriente), caña de azúcar (costa y valles), café (costa, sierra y oriente) y cacao (costa, oriente). Ciclos de cosecha: dos para el maíz. Utilizan fertilizantes e insecticidas, pero se desconoce de qué tipo.</p> <p>Máquinas utilizadas: no se dispone de ninguna máquina, se realiza a mano con herramientas fabricadas por los propios agricultores. La productividad es de 6-8 mazorcas/minuto manualmente. Apenas invierten en otros equipos de sus procesos.</p> <p>Coste: se desconoce el coste exacto, pero es muy bajo ya que lo realizan los propios agricultores propietarios del cultivo.</p> <p>Calidad y precio de venta de los productos: 15 \$/quintal (45 kg) aprox.</p>
	<p>Equipos alternativos</p> <p>Funcionamiento: Existen máquinas de deshojado enfocadas a alta producción cuyo principio de funcionamiento se basa en la fricción de dos rodillos de caucho sobre las hojas de la mazorca de maíz. Deshojadoras de maíz pequeñas no se encuentran en el país, aunque sí existen en el mercado internacional.</p> <p>Precio: \cong 2.000 \$ para máquinas medias, 700 \$ para máquinas pequeñas.</p> <p>Productividad: variable. Pequeñas deshojadoras 1 mazorca/s.</p>
	<p>Expectativas respecto al equipo</p> <p>Expectativas de los usuarios. Productividad deseada: \geq 10 mazorcas/minuto. Precio que los agricultores están dispuestos a pagar: \cong 200-300 \$</p> <p>Expectativas de los fabricantes: el taller desearía obtener unos 500 \$/mes aproximadamente con la venta de las máquinas.</p>

Tabla 5.3 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la deshojadora en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

5.2.2. Etapa 1: Definición. Nuevas especificaciones de la deshojadora

A partir del análisis realizado anteriormente de las especificaciones y utilizando la información de contexto disponible, se redactan de nuevo las especificaciones y decisiones de diseño de la etapa de definición. La Tabla 5.4 muestra la nueva lista de especificaciones revisada para la deshojadora donde se comparan con las especificaciones originales del proyecto. En color se han marcado las especificaciones que han variado respecto a las originales.

PROYECTO: Deshojadora de mazorcas de maíz para la Sierra de Ecuador			
ESPECIFICACIONES	Descripción original	Descripción revisada	Propone R/D
Concepto	Arrancar las hojas que cubren la mazorca de maíz	Arrancar las hojas que cubren la mazorca de maíz	U
	Deshojar varias mazorcas a la vez	Deshojar varias mazorcas a la vez	U
	Deshojar una mazorca cada 6 segundos (10 mazorcas/min)	Deshojar una mazorca cada 6 segundos (10 mazorcas/min)	U
	Deshojar una mazorca cada 5 segundos (12 mazorcas/min)	Deshojar una mazorca cada 5 segundos (12 mazorcas/min)	U
	Funcionamiento muy sencillo	Alimentación de las mazorcas manual y de una en una.	CTXT
Función	Desgranar los granos de maíz de la mazorca	Desgranar los granos de maíz de la mazorca	ESPE-CDEI
	Máquina de uso individual, no compartida (dará servicio a un solo agricultor)	Máquina de uso individual, no compartida (dará servicio a un solo agricultor)	U-ESPE
	Volumen máximo de máquina 600x500x600mm aprox.	Máquina total: Unidad Máxima de Transporte 1, UMT1 = 25 kg – 600x500x600 mm aprox.	CTXT-ESPE
	Peso máximo: 25 kg	Subconjuntos transportables: Unidad Máxima de Transporte 2, UMT2 = 10 kg – 400x400x400 mm aprox.	CTXT-ESPE
	Accionamiento eléctrico	Accionamiento eléctrico	U-ESPE
Fuerzas	Posibilidad de accionamiento manual además del eléctrico	Posibilidad de accionamiento manual además del eléctrico	ESPE-CDEI
	Si el accionamiento es manual, la fuerza para mantener el movimiento ha de ser inferior a 10N	Si el accionamiento es manual, la fuerza para mantener el movimiento ha de ser inferior a 10N	ESPE-CDEI
	Accionamiento eléctrico	Accionamiento eléctrico	CTXT
	Se utilizarán materiales disponibles en Ecuador.	Se utilizarán materiales estándar distribuidos en planchas o perfiles normalizados según normas ASME.	CTXT
	Se utilizarán materiales o recubrimientos para evitar la corrosión.	Se utilizarán materiales o recubrimientos para resistir y evitar la corrosión.	CTXT
Energía	Diseño adecuado para su fabricación en Ecuador.	Minimizar diseños de corte por láser, mecanizados excesivamente complicados y plegados de medidas no estándar.	CTXT
	Se utilizarán componentes disponibles en Ecuador.	Priorizar la incorporación de componentes de la industria del automóvil.	CTXT
	El equipo ha de ser modular o desmontable en su totalidad para poder ser montado y desmontado por el propio usuario.	El equipo ha de poder ser montado y desmontado por el propio usuario.	ESPE-CDEI
	-	Tiempo de montaje y desmontaje inferior a 30 minutos.	CTXT-CDEI
	-	Unidades a fabricar: inicialmente unas 20 máquinas.	ESPE

Tabla 5.4. Nueva lista de especificaciones revisada para la deshojadora en Ecuador comparada con la especificación original.

Fuente: elaboración propia

PROYECTO: Deshojadora de mazorcas de maíz para la Sierra de Ecuador			
ESPECIFICACIONES	Descripción original	Descripción revisada	Propone R/D
Concepto			
Transporte	El equipo ha de ser modular o desmontable en su totalidad para poder ser transportado con facilidad.	Se ha de poder transportar sin desmontar en furgoneta o turismo (UMT1)	R
	Se ha de poder transportar sin desmontar por dos personas	Se ha de poder transportar sin desmontar por dos personas (UMT1)	R
	Se ha de poder transportar por una sola persona	Se ha de poder transportar desmontado por una sola persona (UMT2)	D
Coste	El precio de la máquina ha de ser inferior a 250\$	El precio de la máquina ha de ser inferior a 250\$	R
Vida útil y mantenimiento	La vida útil de la máquina ha de ser de al menos 20 años	La vida útil de la máquina ha de ser de al menos 20 años	R
	El mantenimiento básico de la máquina ha de ser mínimo	El mantenimiento básico de la máquina ha de ser mínimo: engrase una vez por cosecha.	R
	El mantenimiento básico ha de ser sencillo.	El mantenimiento básico ha de ser sencillo: tiempo de desmontaje del equipo inferior a 30 min.	R
	-	Proporcionar piezas de recambio básicas para el funcionamiento	D
	-	Proporcionar kit de mantenimiento	D
Seguridad y ergonomía	Imposibilitar, en la medida de lo posible, la introducción de elementos que no sean una mazorca dentro de la máquina	Imposibilitar, en la medida de lo posible, la introducción de elementos que no sean una mazorca dentro de la máquina	R
	Si el accionamiento es manual, la fuerza para mantener el movimiento ha de ser inferior a 10 N.	Si el accionamiento es manual, la fuerza para mantener el movimiento ha de ser inferior a 10 N.	D
	Se incluirán las protecciones necesarias para evitar atrapamientos en los elementos de transmisión.	Se incluirán las protecciones necesarias para evitar atrapamientos en los elementos de transmisión.	R
Impacto ambiental	El impacto ambiental ha de ser mínimo: evitar uso de combustibles fósiles.	El impacto ambiental ha de ser mínimo: evitar uso de combustibles fósiles.	D
Aspectos legales	Evitar colisión con patentes que afecten al país de uso (Ecuador)	Evitar colisión con patentes vigentes en Ecuador.	R
Propone: ESPE: Universidad de las Fuerzas Armadas U: Usuarios CDEI: Centre de Disseny d'Equips Industrials - UPC CTXT: Derivada del análisis del contexto			
Carácter de la especificación: R: Requisito D: Deseo			

Tabla 5.4. (cont.). Nueva lista de especificaciones revisada para la deshojadora en Ecuador comparada con la especificación original.

Fuente: elaboración propia

Como en el caso del teleférico, las modificaciones introducidas en estas especificaciones revisadas no harían que el diseño realizado por el equipo del CDEI-UPC variase, pero evitaría que se cometiesen errores de concepto en la definición del equipo difíciles de solventar a posteriori. Por ejemplo, sin la información sobre los materiales y estándares disponibles en la zona o los componentes más asequibles se podría haber definido la bancada de la máquina con perfiles no normalizados en Ecuador.

Con el análisis de estas modificaciones se detecta que los cambios introducidos en las especificaciones corrigen dos errores generales debidos a no haber analizado el contexto:

1. Especificaciones que no se definen adecuadamente o ni tan solo se definen. Por ejemplo:

- **Función:**
“Funcionamiento muy sencillo”. Es demasiado general y se ha traducido en alimentación manual y detallando que la entrada de mazorcas ha de ser de una en una.
- **Materiales:**
“Se utilizarán materiales disponibles en Ecuador”. Se ha concretado a partir del documento de contexto con los materiales disponibles en Ecuador y estándares utilizados. Estos datos ayudan en el proceso posterior de diseño conceptual y de materialización del equipo y ahorran tiempo en nuevas consultas.
- **Fabricación y montaje:**
“Diseño adecuado para su fabricación en Ecuador” y “Se utilizarán componentes disponibles en Ecuador”, se concretan añadiendo las tecnologías de fabricación disponibles en la zona (o las que conviene evitar) y el uso de componentes de la industria del automóvil como prioridad por disponibilidad.
- **Transporte / Dimensiones:**
El apartado de transporte se ha detallado mucho más, especificando los medios de transporte disponibles que se utilizarán y definiendo, a partir de ellos, las Unidades Máximas de Transporte (UMT1 y UMT2) especificadas en el apartado de Dimensiones:
 - ✓ UMT1 = 25 kg – 600x500x600 mm, basada en las especificaciones originales:
 - Masa máxima: 25 kg
 - Volumen máximo: 600x500x600mm aprox.
 - Se ha de poder transportar sin desmontar en furgoneta o turismo
 - ✓ UMT2 = 10 kg – 400x400x400 mm aprox., basada en las especificaciones:
 - Se ha de poder transportar por una sola persona

De esta manera se puede usar una unidad cuantificable y rápida para dimensionar y diseñar la máquina o los módulos que la conforman. Esta definición también clarifica la procedencia de especificaciones tan básicas como las dimensiones y peso máximo de la máquina, que también se modifican.

- **Mantenimiento:**
“El mantenimiento básico ha de ser mínimo” y “el mantenimiento básico ha de ser sencillo” se han concretado indicando que ha de ser una vez por cosecha y que el tiempo de desmontaje ha de ser inferior a 30 minutos.
3. Especificaciones que se avanzan a la definición, presuponiendo un contexto ya conocido (el de los países desarrollados):
- **Fabricación y montaje / Transporte:**
“El equipo ha de ser modular o desmontable en su totalidad (...)”. Esta es una decisión que condiciona o puede condicionar el diseño o el principio de funcionamiento del equipo. Se ha eliminado de las especificaciones en las que aparecía.
 - **Fabricación y montaje:**
Se incluye el tiempo máximo de montaje y desmontaje de la máquina teniendo en cuenta las capacidades y herramientas disponibles por los agricultores.
Se añade el número de máquinas iniciales a fabricar. Este dato da idea de las posibles técnicas de fabricación a utilizar y, por tanto, de los diseños de pieza que se pueden realizar.
 - **Mantenimiento:**
Se añaden las especificaciones “Proporcionar piezas de recambio básicas para el funcionamiento” y “Proporcionar kit de mantenimiento”. Más que una especificación de diseño es una decisión comercial o de marketing. Después de analizar el contexto se detecta que el mantenimiento es un aspecto clave y que sin recambios estas máquinas pueden quedar abandonadas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta durante todo el proyecto para incorporar únicamente componentes disponibles en el país y/o en un tiempo razonable. Al disponer de recambio con el equipo, el agricultor puede sustituir el componente dañado y seguir trabajando hasta su llegada.

Continúan apareciendo aspectos que algunos autores no considerarían especificaciones ya que no se han cuantificado, sino que son especificaciones cualitativas ya que representan decisiones, criterios o determinaciones importantes para la definición del diseño, que se enuncian en esta tabla (el accionamiento será eléctrico, se ha de facilitar el transporte, ...). El tipo de proyecto justificaría la presencia de estas especificaciones/decisiones.

5.2.3. Etapas 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

El resultado de las etapas de materialización y detalle para el diseño de la deshojadora sería básicamente igual. En este proyecto ya se prestó una especial atención y dedicación previa al análisis del contexto, aunque no se siguiese aún una metodología clara para explicitarlo ni documentar la información. El diseño ya integraba los requisitos del contexto y se resolvieron satisfactoriamente los temas que quedaban afectados por éste. Sin embargo, si el diseño se hubiese realizado en su

totalidad desde un contexto desarrollado, sin la captación de información del contexto por el equipo de diseño, el resultado probablemente hubiese sido distinto y se hubiesen cometido errores de diseño por la falta de esta información. Por ejemplo, no se habría tenido en cuenta la disponibilidad en la zona de ciertos componentes, como perfiles, o la diferente estandarización de tornillería o incluso del motor, incorporando los habituales en el contexto del diseñador y basando el diseño en dimensiones o parámetros de funcionamiento, como el voltaje, no adecuados.

5.3. Caso 3: Trituradora de residuos agrícolas en Ecuador

Este proyecto se desarrolló entre julio de 2016 y septiembre de 2017, gracias al apoyo del Centre de Cooperació pel Desenvolupament de la Universitat Politècnica de Catalunya y en colaboración con la Universidad Nacional de Loja (Ecuador) y la ONG Ayuda en Acción. Durante la visita realizada al país en julio de 2016, se contacta con la ONG Ayuda en Acción y se realiza una visita a su sede en Cariamanga, en la provincia de Loja, al sur del país. A la sesión de trabajo asistieron una veintena de agricultores de la zona. Estos agricultores cultivan principalmente café de forma ecológica para su venta. Para mantener la riqueza de las plantaciones de café éstas se abonan periódicamente con una mezcla elaborada a partir de los restos de otras cosechas y estiércol de animales. Los residuos agrícolas, cañas principalmente de maíz, ramas, cáscara de maní, etc. han de triturarse en pequeños trozos para que el proceso de putrefacción y elaboración del abono sea más rápido. Esta operación de troceado de cañas y demás restos la realizan los agricultores a machete y el proceso les ocupa entre 1 y 2 semanas. Agrupados y coordinados por Ayuda en Acción, estos agricultores de la zona de Cariamanga solicitaron expresamente el diseño de un equipo para triturar residuos agrícolas, principalmente caña de maíz, y elaborar abono natural para las plantaciones de café.

Este proyecto de diseño original muestra la aplicación completa de la metodología propuesta ya que se llevan a cabo todas las etapas del proceso de diseño: análisis del contexto, definición, diseño conceptual, materialización y detalle.

5.3.1. Etapa 0. Análisis del contexto

El contexto en Ecuador, por los proyectos anteriores realizados, es conocido por la autora, pero se documenta y se concreta para la zona del proyecto, Cariamanga, con la ayuda de personal de la Universidad Nacional de Loja y de la ONG Ayuda en Acción en base a las manifestaciones de los futuros usuarios. En la Tabla 5.5 se recoge toda esta información de contexto.

Como puede verse, la estructura propuesta permite que la información sea básicamente la misma que para el caso de la deshojadora para la sierra de Ecuador, lo cual facilita la recogida y la organización de la información. Los aspectos relacionados con medioambiente, usuarios e infraestructuras son prácticamente iguales, únicamente se adapta la información de *Entorno tecnológico* a la zona y cambia substancialmente el apartado dedicado a *Proceso operativo*.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Trituradora de residuos agrícolas en el sur de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma Altitud, terreno, accesibilidad: Altitud: siempre por encima de los 2500 – 3000 metros en la Sierra. Disminuye hasta el nivel del mar en la costa. Terreno muy montañoso en la Sierra, con grandes cortados y vaguadas difíciles de salvar. Desniveles de 80 a 200 metros aproximadamente en la zona de Cariamanga. Vegetación: Muy variable según la zona y el clima: desde bosque seco a selva tropical.
	Clima Clima muy variado en todo el país; existen hasta 80 microclimas distintos. En la Sierra temperaturas más bajas y pluviosidad más alta. 12-12 horas de sol – noche. Condiciones atmosféricas habituales: en la Sierra lluvioso de octubre a mayo (>2500 mm/año), húmedo, temperatura media oscila entre los 7°C y los 21°C. Condiciones atmosféricas esporádicas: en la Sierra puede haber episodios de lluvia intensa.
	Recursos naturales Fuentes de agua: abundante en toda la Sierra durante todo el año, potable, la usan para beber y algunos procesos agrícolas (cacao, café). Materiales naturales: principalmente madera, cañas, piedra. Residuos agrícolas: restos de los cultivos y estiércol animal se usan como abono.
	Impacto ambiental Uso masivo de combustibles fósiles debido a su bajo precio y elevadas emisiones de CO ₂ , principalmente para el transporte. En la zona de las comunidades donde se usará la máquina no hay tanta contaminación. En las ciudades como Quito la contaminación del aire es muy elevada.
USUARIOS	Aspectos sociales Tipos de usuarios: hombres, mujeres o niños de zonas agrícolas. Género y edad: usarán el equipo indistintamente hombres o mujeres. La media de estatura está sobre los 165 cm para hombres, 155 para mujeres. Capacidades, formación: Los usuarios no tendrán o tendrán escasa formación básica o conocimientos tecnológicos. Algunos poseen experiencia en el manejo de pequeñas máquinas. Cultura y valores: población multiétnica (indígenas, mestizos, afroamericanos, blancos). El idioma oficial y mayoritario es el español, pero con muchas variantes. Existen otras lenguas minoritarias: quichua, chuar y otras. Sus costumbres están adaptadas a los estándares occidentales, pero conservan sus tradiciones. La situación de la mujer ha mejorado con el desarrollo de las últimas décadas, pero en las áreas rurales continúan sufriendo condiciones discriminatorias. La predisposición a cambios varía en función de la comunidad. Algunas comunidades de origen quichua son más herméticas y se encuentran algunas dificultades de acercamiento. Son más reacios a cambios, aunque están bien organizados. Valoran su entorno y son sensibles al impacto ambiental provocado por sus actividades. Incluso son sensibles a la contaminación acústica. Los productores de café y cacao realizan cultivo ecológico. Son emprendedores a pequeña y mediana escala. No tienen consciencia de la independencia técnica; al contrario, gran dependencia a nivel industrial y de maquinaria de mercados externos como el colombiano y el estadounidense. Consciencia a nivel de ingenieros agrícolas en la universidad. Asociacionismo, participación: El nivel de asociacionismo o cooperativismo depende de la zona: se ha detectado que es bajo en la Sierra, pero alto en el Sur (Loja). Han existido campañas del gobierno para la promoción de maquinaria de uso colectivo, pero con escaso éxito. Experiencias de proyectos de cooperación anteriores para compartir máquinas o equipos comunitarios han fracasado. Cuentan con maquinaria que nunca se utilizó. La ONG Ayuda en Acción está muy presente en la zona pero abandona esta sede en diciembre de 2017. Número potencial de usuarios: depende de la difusión que se haga del equipo y su precio pero pueden llegar a ser unos cincuenta en la zona de Cariamanga únicamente.
USUARIOS	Aspectos económicos Ingresos: El nivel adquisitivo de los agricultores es bajo. Sus ingresos proceden de su producción agrícola y algunos subsidios del gobierno. Han existido campañas para la promoción de maquinaria de uso colectivo, pero con escaso éxito. Formas de financiación: El proyecto se realiza con la financiación y el soporte de la AECID. No se conocen otras ayudas. Precio de sus máquinas o herramientas: no disponen de máquinas apenas invierten en otros equipos; se desconoce el coste de las herramientas. Coste de la mano de obra del agricultor: aprox. 15 \$/jornada

Tabla 5.5. Documento de contexto para el diseño de la trituradora en Ecuador.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Trituradora de residuos agrícolas en el sur de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
INFRAESTRUCTURAS	<p>Transporte</p> <p>Vías de comunicación: aéreas y terrestres. Disponibilidad de transporte aéreo interno a las ciudades principales del país. Gran oferta de servicios de autobús o taxis entre poblaciones. Vías de acceso a Cariamanga precarias y en muchas otras zonas, aunque han mejorado en los últimos años.</p> <p>Tipo de vías: Vías de acceso a las fincas complicadas, caminos sin asfaltar.</p> <p>Medios de transporte: Los agricultores no disponen de vehículos propios o comunitarios. El fabricante de las máquinas dispone de vehículo (turismo y furgoneta). Transporte animal: burros, mulos, llamas.</p>
	<p>Tecnologías de comunicación y localización</p> <p>Telecomunicaciones: disponibilidad de señal de telefonía móvil, radio y televisión por satélite.</p> <p>Tecnologías de localización: Disponibilidad de receptores GPS en los mismos teléfonos móviles.</p> <p>Aparatos electrónicos: Algunos agricultores disponen de teléfono móvil o pueden acceder a locutorios.</p>
	<p>Energía</p> <p>Tipos: Ecuador es productor de petróleo, por tanto, los combustibles fósiles provenientes de él se pueden adquirir fácilmente en casi todo el país y resultan baratos. El país dispone de un único parque eólico (Villonaco). La disponibilidad de energía solar en la Sierra es escasa por el bajo número de horas de insolación (cielos nublados gran parte del día). Ecuador dispone de gran número de centrales hidroeléctricas que generan más del 50% de la energía eléctrica del país. No se dispone de sistemas de energía eólica o solar adaptadas a las comunidades rurales.</p> <p>Suministro: la red eléctrica llega a un 99% de la población y la calidad es aceptable. En las explotaciones agrícolas el combustible está disponible y barato (con restricciones en las zonas fronterizas); energía eléctrica disponible en la mayor parte de las explotaciones agrícolas a 110 V.</p>
ENTORNO TECNOLÓGICO	<p>Capacidad de fabricación y montaje</p> <p>Talleres disponibles: en la capital, Quito, o ciudades como Cuenca o Loja, hay talleres que pueden hacerse cargo de la fabricación del equipo. El taller encargado de la fabricación (Loja) puede asumir la fabricación de unas 10 máquinas al mes.</p> <p>Tecnologías de fabricación disponibles: el taller de Loja puede mecanizar y plegar piezas de cierta complejidad con buenas tolerancias y acabados. Corte por láser disponible en las grandes ciudades. Posibilidad en algunos talleres de mecanizar engranajes y recubrir con caucho ciertas piezas y mecanizarlas. Tiempos de entrega largos y variables dependiendo del componente. Para recambios estándar de entre 3 y 4 días en Cariamanga.</p> <p>Presupuesto de fabricación: 1700 \$.</p> <p>Aspectos sociales: El taller está situado en Loja, a unas 3,5 horas de viaje de Cariamanga, zona donde se venderán las máquinas. El taller dispone de vehículos para el transporte de las máquinas (pick-up). El responsable de taller conoce bien la zona y las costumbres y cultura de los agricultores. Amplia visión de negocio y desarrollo de equipos.</p>
	<p>Capacidad de mantenimiento</p> <p>El mantenimiento básico lo realizarán los propios usuarios. El mantenimiento más técnico lo realizará el taller de fabricación.</p> <p>Presupuesto de mantenimiento: no disponible</p> <p>Aspectos sociales: Idem anterior.</p>
	<p>Disponibilidad de materiales y componentes</p> <p>Materiales: disponibles la mayoría de formatos estándar de acero, aluminio, latón, plásticos, elastómeros, etc.</p> <p>Componentes y recambios: alta disponibilidad de componentes de transmisión y otros elementos usados en automoción; tiempo de entrega variable según la zona.</p> <p>Estándares de fabricación: normas y estándares estadounidenses y anglosajones en su mayoría, así como sistemas de medida (peso, longitudes).</p>
	<p>Aspectos legales</p> <p>No existen patentes ni normativa en el país que condicionen el diseño.</p>

Tabla 5.5 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la trituradora en Ecuador.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Trituradora de residuos agrícolas en el sur de Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
PROCESO OPERATIVO	<p>Proceso actual</p> <p>Cultivos: Cultivos principales del país: maíz (sierra, costa y oriente), arroz (costa y oriente), caña de azúcar (costa y valles), café (costa, sierra y oriente) y cacao (costa, oriente). Ciclos de cosecha: dos para el maíz. Utilizan fertilizantes e insecticidas, pero se desconoce de qué tipo.</p> <p>Los campesinos secan los productos al aire libre y cuando están totalmente secos proceden a descascarar (frejol, arveja) o desgranar (maíz) golpeando con una vara. Los restos se trituran a machete. Tardan en triturar toda una semana, pero depende de la cantidad.</p> <p>En la comunidad (Cariamanga) crearon un centro de acopio para procesar los productos, pero no funciona, la ubicación no es la adecuada. Cuentan con maquinaria que nunca se utilizó.</p> <p>Máquinas utilizadas: no se dispone de ninguna máquina, se realiza a mano con machete. Se utilizan algunas herramientas tipo cuchilla hechas a mano, para quitar las hojas de las mazorcas de maíz. Éstas también se trituran.</p> <p>Coste: se desconoce el coste exacto, pero es muy bajo ya que lo realizan los propios agricultores propietarios del cultivo. Tardan en triturar toda una semana, pero depende de la cantidad.</p> <p>Apenas invierten en otros equipos para sus procesos.</p> <p>Calidad y precio de venta de los productos: no venden el abono directamente, el beneficio repercute en la producción de café ecológico.</p>
	<p>Equipos alternativos</p> <p>Funcionamiento: Las trituradoras existentes en el mercado han sido diseñadas para triturar pasto fresco, por tanto, son inadecuadas para el material que se desea triturar, en particular se necesita triturar el tallo del maíz seco. Una máquina similar diseñada por la UNL hace unos años es una trituradora de cuchillas y martillos.</p> <p>Precio: \cong 600 \$</p> <p>Productividad: En la zona existen dos máquinas para triturar pasto, una de propiedad del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca- MAGAP de 5 quintales diarios y la otra es del Gobierno Provincial de Loja de 50 quintales diarios. Estas máquinas son de alquiler, el método para alquilar la máquina trituradora de 50 quintales es un trueque, por cada 100 sacos de producto triturado se paga 13 sacos. Por tanto, los pequeños agricultores no tienen la cantidad suficiente para alquilar la máquina.</p>
	<p>Expectativas respecto al equipo</p> <p>Expectativas de los usuarios. triturar residuos agrícolas (cañas, vainas, ramas, bagazo, cáscara del maní, cáscara del café) en menos tiempo del invertido actualmente (1 caña maíz/minuto). Productividad deseada: se desea triturar unos 5 quintales por semana, invirtiendo uno o dos días en el proceso. Beneficio esperado: mejora la calidad de vida y la obtención de abono natural para las plantaciones de café ecológico.</p> <p>Precio que los agricultores están dispuestos a pagar: \cong 300 \$ (motorizada)</p> <p>Expectativas de los fabricantes: el taller desearía obtener unos 500 \$/mes aproximadamente con la venta de las máquinas.</p>

Tabla 5.5 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la trituradora en Ecuador.

5.3.2. Etapa 1. Definición. Especificaciones.

Se elaboran las especificaciones del equipo en base al documento de contexto anterior y se envían a la ONG local para su aprobación y consulta con alguno de los agricultores locales. Algunos conceptos son difíciles de entender para ellos, pero a nivel general, encuentran las especificaciones correctas para el deseo y la necesidad de los agricultores. La tabla siguiente muestra las especificaciones definitivas para la trituradora. Cabe mencionar que, a diferencia de la ONG Practical Action Nepal, Ayuda en Acción no interviene en aspectos técnicos de la máquina, tan solo en aspectos de uso y como puente con los usuarios. Por eso no se refleja en las especificaciones en la columna de quién propone. En esta columna se referencia a los usuarios (U), el contexto (CTXT) y al equipo de diseño (CDEI).

ESPECIFICACIONES		PROYECTO: Trituradora de residuos agrícolas en el sur de Ecuador	
Concepto	Descripción	Propone	R/D
Función	Triturar residuos agrícolas: caña de maíz, cáscara de maní, frejol, bagazo, cáscara de café.	U	R
	Triturar 5 quintales en 2 días como máximo	U	R
	Mezclar los residuos triturados con estiércol	U	D
	Posibilidad de regular la velocidad de trituración	U	D
	Máquina individual, no compartida (dará servicio a un solo agricultor)	CTXT	R
Dimensiones	Máquina total: Unidad Máxima de Transporte 1, UMT1 = 25 kg – 600x500x600 mm aprox.	CTXT	R
	Subconjuntos transportables: Unidad Máxima de Transporte 2, UMT2 = 10 kg – 400x400x400 mm aprox.	CTXT	R
	Diámetro máximo de la caña: 60 mm		
	Tamaño de los residuos triturados: 5 mm de espesor		
Fuerzas	Accionamiento motorizado, no será manual	U	R
Energía	Uso preferible: energía eléctrica	CTXT	R
	Tensión funcionamiento: 110 V	CTXT	R
Materiales	Se utilizarán materiales estándar distribuidos en planchas o perfiles normalizados según normas ASME.	CTXT	R
	Se utilizarán materiales o recubrimientos adecuados para resistir y evitar la corrosión	CTXT	
Fabricación y montaje	Minimizar diseños de corte por láser, mecanizados excesivamente complicados y plegados de medidas no estándar.	CTXT	R
	El equipo ha de poder ser montado y desmontado por el propio usuario.	CTXT-CDEI	R
	Priorizar la incorporación de componentes de la industria del automóvil	CTXT	R
	Tiempo de montaje y desmontaje inferior a 30 minutos	CTXT-CDEI	
	Unidades a fabricar: inicialmente unas 20 máquinas.	CDEI	R
Transporte	Incorporar asas para transporte.	CDEI	R
	Se ha de poder transportar sin desmontar en furgoneta o turismo (UMT1)	CTXT	R
	Se ha de poder transportar sin desmontar por dos personas (UMT2)	CTXT	R
Coste	El precio de la máquina ha de estar alrededor de 300 \$	CTXT	R
Vida útil y mantenimiento	La vida útil de la máquina ha de ser de al menos 10 años	CDEI	R
	Mantenimiento básico mínimo: limpieza en cada uso, cambio de componentes según desgaste, engrase dos veces al año.	CTXT	R
	Mantenimiento básico sencillo: tiempo desmontaje 30 minutos	CTXT-CDEI	R
	Proporcionar piezas de recambio básicas para el funcionamiento	U-CDEI	D
	Proporcionar kit de mantenimiento	U-CDEI	D
Seguridad y ergonomía	Imposibilitar el acceso a partes cortantes y móviles durante el funcionamiento.	CDEI	D
Impacto ambiental	El impacto ambiental ha de ser mínimo: evitar uso de combustibles fósiles. Que los materiales empleados sean reciclables	CDEI	R
Aspectos legales	Evitar colisión con patentes que afecten al país de uso (Ecuador)	CDEI	R
Propone: U: Usuarios CTXT: Derivada del análisis del contexto CDEI: Centre de Disseny d'Equips Industrials – UPC			
Carácter de la especificación: R: Requisito D: Deseo			

Tabla 5.6. Especificaciones para la trituradora en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

5.3.3. Etapa 2. Diseño conceptual

A partir de estas especificaciones basadas en el documento de contexto se plantea el principio de funcionamiento y el diseño conceptual. Surgen dos ideas:

- Trituradora de cuchillas y martillos accionada mediante motor eléctrico
- Trituradora de cuchillas acoplada a una motosierra o amoladora

Se analizan las condiciones de funcionamiento necesarias para el corte de cañas (par y velocidad) y se descarta la segunda opción ya que las motosierras y amoladoras tienen una velocidad de funcionamiento muy elevada pero un par inferior al necesario. La primera opción permite seleccionar el motor de las características necesarias, aunque puede incrementar el coste. Tomada esta decisión, se selecciona el motor disponible en el mercado de Ecuador y se comprueba que su precio permite mantener el precio de la máquina dentro del margen especificado (300 \$).

Se analiza a continuación la opción de eliminar la parte de martillos, necesaria para disminuir el tamaño de producto obtenido, y dejar únicamente las cuchillas para trocear las ramas. De esta manera se simplifica considerablemente la máquina y se obtiene un producto aceptable, similar al obtenido por los agricultores a machete.

También se contempla en este punto la posibilidad de diseñar una máquina de eje vertical. Esta alternativa facilita la salida de producto y elimina el inconveniente de que la máquina se trabe por acumulación de producto. Analizadas estas opciones, se opta por diseñar una máquina de corte mediante cuchillas de eje vertical. Se prestará especial atención al equilibrado del rotor para evitar vibraciones y rupturas de componentes y situaciones peligrosas durante su uso.

5.3.4. Etapa 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

Se realiza el esbozo del primer diseño en base a estas decisiones, tratando de simplificar al máximo la fabricación y el montaje, reduciendo el número de piezas y componentes de mercado (soportes de rodamientos) y reduciendo el coste al máximo.

Se envía una primera propuesta en planos al taller que se encarga de la fabricación en Loja. Siguiendo sus recomendaciones, se modifican algunos pequeños detalles de materiales, espesores y tornillería. Los planos definitivos se envían para su fabricación y la primera prueba de triturado se realiza en el taller un mes después con éxito.

El equipo del CDEI-UPC viaja de nuevo a Cariamanga en junio de 2017 para realizar las pruebas sobre el terreno con los materiales de las propias explotaciones y para mostrar el resultado a los agricultores. La máquina tritura cañas de maíz de hasta 60 mm sin ningún problema, obteniéndose un producto muy triturado, muy fino, que resulta ideal para la obtención del abono en menos tiempo del invertido hasta ahora (Imagen 5.1). También se realizan pruebas con caña de azúcar, más fibrosa y dura que la de maíz, con similar resultado (Imagen 5.2). Incluso este producto obtenido es apto como pienso para las gallinas y los cuyes de estas granjas, resultando en una aplicación tangencial que no se había contemplado. Se comprueba que también puede triturar ramas del árbol de café, cáscara de maní y otros desechos agrícolas.



a)

b)

Imagen 5.1. Producto obtenido con la trituradora a partir de caña de maíz (a) y caña de azúcar (b) Cariamanga (a) Quilanga (b), Ecuador; septiembre 2017.

Fuente: elaboración propia



Imagen 5.2. Funcionamiento de la trituradora con caña de maíz (a) y caña de azúcar (b) Cariamanga (a) Quilanga (b), Ecuador; septiembre 2017.

Fuente: elaboración propia

5.4. Caso 4: Peladora de cañas

5.4.1. Descripción del proyecto

Este proyecto se está desarrollando en la actualidad en colaboración con el Grup Interdisciplinar de Ciència i Tecnologia a l'Edificació (GICITED) de la UPC. Desde este departamento se han ideado formas de elaborar materiales de construcción a partir de materiales naturales procedentes de residuos agrícolas (caña de totora, maíz, etc.). Estos materiales, además de ser económicos y sostenibles por su procedencia local y baja generación de residuos, aportan aislamiento a viviendas de comunidades en desarrollo donde la baja calidad de los materiales utilizados hacen que las temperaturas en su interior varíen considerablemente (noche-día, invierno-verano). Los materiales utilizados en las diferentes pruebas realizadas por el GICITED proceden de cultivos locales de las zonas a las que se pretende dirigir estos materiales (principalmente de países de África como la caña de maíz o totora). Para su elaboración es necesario retirar el recubrimiento de estas cañas (satinado y brillante) y dejar al descubierto su interior (poroso) para que el aglutinante natural utilizado pueda unir unas con otras. Para facilitar la elaboración de estos materiales por las comunidades a las que se pretende llegar con este proyecto (Ecuador, Perú y países de África), el GICITED consideró adecuado proporcionar las herramientas necesarias para el procesado de las cañas. Por este motivo se solicitó la colaboración del CDEI-UPC, que debería desarrollar un equipo que eliminase la capa exterior de las cañas, inicialmente de maíz.

Así, el proyecto tiene como objetivo diseñar un equipo para eliminar la corteza de las cañas comunes con la finalidad de utilizarlas como material de construcción o bien para pelar la caña de azúcar. El equipo está en fase de prototipo, y se está probando y validando en el laboratorio del GICITED; por lo tanto, su diseño previsiblemente será diferente cuando se implemente en países en desarrollo.

Para la aplicación de la metodología propuesta en esta tesis se ha planteado el proyecto de diseño como una prospección de cómo sería este equipo considerando que va dirigido a dos contextos diferentes: comunidades agrícolas de Ecuador y comunidades agrícolas de Nepal, donde el maíz y la caña de azúcar son cultivos muy extendidos. Se plantea que, en estos contextos, el equipo podría destinarse a dos finalidades: agricultores de caña de azúcar que quisieran venderla pelada para su consumo, y agricultores de maíz que quisieran usar o vender la caña como material aislante para construcciones. Respecto a estas aplicaciones y estos dos contextos se ha realizado la definición y especificación de diseño del equipo, con el que se pretende mostrar cómo puede influir el contexto en el diseño de un mismo equipo.

5.4.2. Contexto 1: Ecuador

Se describen a continuación las etapas de la metodología propuesta que se llevarían a cabo para el diseño de la peladora de cañas en Ecuador. Se describen las etapas que pueden llevarse a cabo (análisis del contexto, definición y diseño conceptual) tomando el proyecto, como se ha descrito previamente, como una prospectiva a realizar en el contexto de Ecuador. Las etapas de materialización y detalle describen las tareas que se realizarían si se llevase a cabo el proyecto en este contexto.

5.4.2.1. Etapa 0. Análisis del contexto

Gracias a las visitas realizadas por la autora al país, los equipos de diseño local (Quito, Loja) y otros proyectos desarrollados anteriormente, se dispone de la información necesaria para establecer las características del entorno siguiendo la lista de referencia del contexto propuesta en este trabajo. El resultado es el documento de contexto mostrado en la Tabla 5.7. La clasificación de la información establecida permite que el contenido de este documento sea prácticamente igual para el mismo contexto (cambian algunos aspectos de fabricación ya que el taller de fabricación cambia), tan sólo se dan cambios substanciales en el apartado de proceso.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO		
PROYECTO: Peladora de cañas en Ecuador		
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS	
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma	Altitud, terreno, accesibilidad: Altitud: siempre por encima de los 2500 – 3000 metros en la Sierra. Disminuye hasta el nivel del mar en la costa. Terreno muy montañoso en la Sierra, con grandes cortados y vaguadas difíciles de salvar. Vegetación: Muy variable según la zona y el clima: desde bosque seco a selva tropical.
	Clima	Clima muy variado en todo el país; existen hasta 80 microclimas distintos. En la Sierra temperaturas más bajas y pluviosidad más alta. 12-12 horas de sol – noche. Condiciones atmosféricas habituales: en la Sierra lluvioso de octubre a mayo (>2500 mm/año), húmedo, temperatura media oscila entre los 7°C y los 21°C. Condiciones atmosféricas esporádicas: en la Sierra puede haber episodios de lluvia intensa.
	Recursos naturales	Fuentes de agua: abundante en toda la Sierra durante todo el año, potable, la usan para beber y algunos procesos agrícolas (cacao, café). Materiales naturales: principalmente madera, cañas, piedra. Residuos agrícolas: restos de los cultivos y estiércol animal se usan como abono.
	Impacto ambiental	Uso masivo de combustibles fósiles debido a su bajo precio y elevadas emisiones de CO ₂ , principalmente para el transporte. En la zona de las comunidades donde se usará la máquina no hay tanta contaminación. En las ciudades como Quito la contaminación del aire es muy elevada.

Tabla 5.7. Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Peladora de cañas en Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
USUARIOS	<p>Tipos de usuarios: hombres, mujeres o niños de zonas agrícolas.</p> <p>Género y edad: usarán el equipo indistintamente hombres o mujeres. La media de estatura está sobre los 165 cm para hombres, 155 para mujeres.</p> <p>Capacidades, formación: Los usuarios no tendrán o tendrán escasa formación básica o conocimientos tecnológicos. Algunos poseen experiencia en el manejo de pequeñas máquinas.</p> <p>Cultura y valores: población multiétnica (indígenas, mestizos, afroamericanos, blancos). El idioma oficial y mayoritario es el español, pero con muchas variantes. Existen otras lenguas minoritarias: quichua, chuar y otras. Sus costumbres están adaptadas a los estándares occidentales, pero conservan sus tradiciones. La situación de la mujer ha mejorado con el desarrollo de las últimas décadas, pero en las áreas rurales continúan sufriendo condiciones discriminatorias. La predisposición a cambios varía en función de la comunidad. Algunas comunidades de origen quichua son más herméticas y se encuentran algunas dificultades de acercamiento. Son más reacios a cambios, aunque están bien organizados. Valoran su entorno y son sensibles al impacto ambiental provocado por sus actividades. Incluso son sensibles a la contaminación acústica. Los productores de café y cacao realizan cultivo ecológico. Son emprendedores a pequeña y mediana escala. No tienen consciencia de la independencia técnica; al contrario, gran dependencia a nivel industrial y de maquinaria de mercados externos como el colombiano y el estadounidense. Consciencia a nivel de ingenieros agrícolas en la universidad.</p> <p>Asociacionismo, participación: El nivel de asociacionismo o cooperativismo depende de la zona: se ha detectado que es bajo en la Sierra, pero alto en el Sur (Loja). Han existido campañas del gobierno para la promoción de maquinaria de uso colectivo, pero con escaso éxito. Experiencias de proyectos de cooperación anteriores para compartir máquinas o equipos comunitarios han fracasado. No se conoce la presencia de ONG que trabajen en esta línea.</p> <p>Número potencial de usuarios: depende de la difusión que se haga del equipo y su precio pero pueden llegar a ser unos cien en la Sierra.</p>
	<p>Aspectos sociales</p>
	<p>Ingresos: El nivel adquisitivo de los agricultores es bajo. Sus ingresos proceden de su producción agrícola y algunos subsidios del gobierno. Han existido campañas para la promoción de maquinaria de uso colectivo, pero con escaso éxito.</p> <p>Formas de financiación: El proyecto se realiza con la financiación y el soporte de la AECID. No se conocen otras ayudas.</p> <p>Precio de sus máquinas o herramientas: no disponen de máquinas apenas invierten en otros equipos; se desconoce el coste de las herramientas.</p> <p>Coste de la mano de obra del agricultor: aprox. 15 \$/jornada</p>
	<p>Aspectos económicos</p>

Tabla 5.7 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Peladora de cañas en Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
INFRAESTRUCTURAS	<p>Transporte</p> <p>Vías de comunicación: aéreas y terrestres. Disponibilidad de transporte aéreo interno a las ciudades principales del país. Gran oferta de servicios de autobús o taxis entre poblaciones.</p> <p>Tipo de vías: Vías de acceso a las fincas complicadas, caminos sin asfaltar.</p> <p>Medios de transporte: Los agricultores no disponen de vehículos propios o comunitarios. El fabricante de las máquinas dispone de vehículo (turismo y furgoneta). Transporte animal: burros, mulos, llamas.</p>
	<p>Tecnologías de comunicación y localización</p> <p>Telecomunicaciones: disponibilidad de señal de telefonía móvil, radio y televisión por satélite.</p> <p>Tecnologías de localización: Disponibilidad de receptores GPS en los mismos teléfonos móviles.</p> <p>Aparatos electrónicos: Algunos agricultores disponen de teléfono móvil o pueden acceder a locutorios.</p>
	<p>Energía</p> <p>Tipos: Ecuador es productor de petróleo, por tanto, los combustibles fósiles provenientes de él se pueden adquirir fácilmente en casi todo el país y resultan baratos. El país dispone de un único parque eólico (Villonaco). La disponibilidad de energía solar en la Sierra es escasa por el bajo número de horas de insolación (cielos nublados gran parte del día). Ecuador dispone de gran número de centrales hidroeléctricas que generan más del 50% de la energía eléctrica del país. No se dispone de sistemas de energía eólica o solar adaptadas a las comunidades rurales.</p> <p>Suministro: la red eléctrica llega a un 99% de la población y la calidad es aceptable. En las explotaciones agrícolas el combustible está disponible y barato (con restricciones en las zonas fronterizas); energía eléctrica disponible en la mayor parte de las explotaciones agrícolas a 110 V.</p>
ENTORNO TECNOLÓGICO	<p>Capacidad de fabricación y montaje</p> <p>Talleres disponibles: en la capital, Quito, o ciudades como Cuenca o Loja, hay talleres que pueden hacerse cargo de la fabricación del equipo. El taller encargado de la fabricación (Loja) puede asumir la fabricación de unas 10 máquinas al mes.</p> <p>Tecnologías de fabricación disponibles: el taller de Loja puede mecanizar y plegar piezas de cierta complejidad con buenas tolerancias y acabados. Corte por láser disponible en las grandes ciudades. Posibilidad en algunos talleres de mecanizar engranajes y recubrir con caucho ciertas piezas y mecanizarlas. Tiempos de entrega largos y variables.</p> <p>Presupuesto de fabricación: No disponible.</p> <p>Aspectos sociales: El taller está situado en Loja, a unas 3,5 horas de viaje de Cariamanga, zona donde se venderán las máquinas. El taller dispone de vehículos para el transporte de las máquinas (pick-up). El responsable de taller conoce bien la zona y las costumbres y cultura de los agricultores. Amplia visión de negocio y desarrollo de equipos.</p>
	<p>Capacidad de mantenimiento</p> <p>El mantenimiento básico lo realizarán los propios usuarios. El mantenimiento más técnico lo realizará el taller de fabricación.</p> <p>Presupuesto de mantenimiento: no disponible</p> <p>Aspectos sociales: Idem anterior.</p>
	<p>Disponibilidad de materiales y componentes</p> <p>Materiales: disponibles la mayoría de formatos estándar de acero, aluminio, latón, plásticos, elastómeros, etc.</p> <p>Componentes y recambios: alta disponibilidad de componentes de transmisión y otros elementos usados en automoción; tiempo de entrega variable según la zona.</p> <p>Estándares de fabricación: normas y estándares estadounidenses y anglosajones en su mayoría, así como sistemas de medida (peso, longitudes).</p>
	<p>Aspectos legales</p> <p>No existen patentes ni normativa en el país que condicionen el diseño.</p>

Tabla 5.7 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Peladora de cañas en Ecuador	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
PROCESO OPERATIVO	<p>Proceso actual</p> <p>Cultivos: Cultivos principales del país: maíz (sierra, costa y oriente), arroz (costa y oriente), caña de azúcar (costa y valles), café (costa, sierra y oriente) y cacao (costa, oriente). Ciclos de cosecha: dos para el maíz. Utilizan fertilizantes e insecticidas, pero se desconoce de qué tipo.</p> <p>Máquinas utilizadas: no se dispone de ninguna máquina, se realiza a mano con herramientas fabricadas por los propios agricultores. La productividad es de 1 caña/minuto manualmente. Apenas invierten en otros equipos de sus procesos.</p> <p>Coste: se desconoce el coste exacto, pero es muy bajo ya que lo realizan los propios agricultores propietarios del cultivo.</p> <p>Calidad y precio de venta de los productos: No se conoce el precio de venta de la caña de maíz o de azúcar pelada. Después de cosechada y pelada se calcula vender al por menor por unos 1.000 \$/Tm. 30 \$/Tm de caña de azúcar en pie (plantada); caña de maíz no se vende.</p>
	<p>Equipos alternativos</p> <p>Funcionamiento: Algunas de las herramientas disponibles (las más baratas) utilizan cuchillas para pelar. Otras se basan en la abrasión de la superficie mediante carda.</p> <p>Precio: manuales \cong 50 \$; motorizadas \cong 500 \$</p> <p>Productividad: variable. Pequeñas peladoras 1 caña/5 s.</p>
	<p>Expectativas respecto al equipo</p> <p>Expectativas de los usuarios. Productividad deseada: \geq 3-5 cañas/minuto.</p> <p>Precio que los agricultores están dispuestos a pagar: \cong 150-250 \$ (motorizada)</p> <p>Expectativas de los fabricantes: el taller desearía obtener unos 500 \$/mes aproximadamente con la venta de las máquinas.</p>

Tabla 5.7 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

5.4.2.2. Etapa 1. Definición. Especificaciones.

A partir de esta información del contexto se elaboran las especificaciones para el diseño de la peladora de cañas en el contexto de Ecuador, que se muestran en la Tabla 5.8. En este caso, las especificaciones se han considerado que podían ser propuestas por los agricultores (usuarios, U), el equipo del GICITED-UPC (GICITED), el equipo de diseño del CDEI-UPC (CDEI), o bien derivarse del análisis del contexto (CTXT).

5.4.2.3. Etapa 2. Diseño conceptual

Se inicia a continuación el diseño conceptual. Esta etapa es muy similar a la que se ha realizado en la UPC ya que, como vemos, en el contexto de Ecuador hay motores disponibles, aunque tendrán diferentes características a los disponibles en España. Se planteas diferentes ideas sobre el principio de funcionamiento; básicamente surgen dos:

- Pelado por corte (cuchillas), sin motor.
- Pelado por abrasión (cardas, cepillos de acero), con motor.

La productividad, aunque sea baja, condiciona la decisión de hacer un diseño motorizado. Sin embargo, a fin de decidir cuál de los dos principios puede funcionar mejor, se realizan ensayos con prototipos conceptuales. Estas pruebas ayudan a:

ESPECIFICACIONES	PROYECTO: Peladora de cañas en Ecuador		
Concepto	Descripción	Propone	R/D
Función	Eliminar la corteza de las cañas de maíz	GICITED	R
	Pelar una caña cada 20 segundos (3 cañas/min)	U	R
	Pelar una caña cada 12 segundos (5 cañas/min)	U	D
	Pelar la caña de una sola vez	U	D
	Pelar cañas de diferentes diámetros	CTXT	R
	Introducción de cañas manual	GICITED	R
	Avance de la caña no manual	GICITED	D
	Regulación de la profundidad de pelado	GICITED	R
Máquina de uso individual, no compartida (dará servicio a un solo agricultor)	CTXT-U	R	
Dimensiones	Máquina total UMT1 = 400x400x400 mm aprox., 10 kg	CTXT	R
Fuerzas	Accionamiento no manual	GICITED	R
	Posibilidad de accionamiento manual	CDEI	D
Energía	Accionamiento eléctrico	U-CDEI	R
Materiales	Se utilizarán materiales estándar distribuidos en planchas o perfiles normalizados según normas ASME.	CTXT	R
	Se utilizarán materiales o recubrimientos adecuados para resistir y evitar la corrosión	CTXT	R
Fabricación y montaje	Minimizar diseños de corte por láser, mecanizados excesivamente complicados y plegados de medidas no estándar.	CTXT	R
	Priorizar la incorporación de componentes de la industria del automóvil	CTXT	R
	El equipo ha de poder ser montado y desmontado por el propio usuario.	CTXT	R
	Tiempo de montaje y desmontaje inferior a 30 minutos.	U-CDEI	R
	Unidades a fabricar: inicialmente unas 10 máquinas.	CTXT-CDEI	R
Transporte	Se ha de poder transportar sin desmontar en furgoneta o turismo (UMT1).	CTXT	R
	Se ha de poder transportar sin desmontar por una persona (UMT1)	CTXT-U	D
Coste	El precio de venta de la máquina ha de ser inferior a 200 \$	CTXT	R
Vida útil y mantenimiento	La vida útil de la máquina ha de ser de al menos 10 años	CTXT	R
	Mantenimiento básico mínimo: limpieza de polvo en cada uso, cambio de componentes según desgaste.	CDEI	R
	Mantenimiento básico sencillo: tiempo desmontaje 30 minutos	U-CDEI	R
	Proporcionar piezas de recambio básicas para el funcionamiento	U-CDEI	D
	Proporcionar kit de mantenimiento	U-CDEI	D
Seguridad y ergonomía	Imposibilitar el acceso a partes móviles durante el funcionamiento.	CDEI	R
	Si el accionamiento es manual, la fuerza para mantener el movimiento ha de ser inferior a 25N	CDEI	D
Impacto ambiental	El impacto ambiental ha de ser mínimo: evitar uso de combustibles fósiles.	CDEI	R
Aspectos legales	Evitar colisión con patentes vigentes en Ecuador.	CDEI	R
Propone: GICITED: Grup Interd. de Ciència i Tecnologia a l'Edificació U: Usuarios CDEI: Centre de Disseny d'Equips Industrials - UPC CTXT: Derivada del anàlisis del contexto			
Carácter de la especificación: R: Requisito D: Deseo			

Tabla 5.8. Especificaciones para la peladora de cañas en Ecuador.

Fuente: elaboración propia

- Descartar las cuchillas: es difícil de regular la penetración de las cuchillas en la caña.
- Aceptar las cardas y:
 - ✓ Probar el tipo de carda que mejor funciona para sacar la corteza;
 - ✓ Cuantificar la potencia necesaria para eliminar la corteza en toda la caña, incluidos los nudos;
 - ✓ Comprobar que el accionamiento directo es viable;
 - ✓ Probar diferentes motores de diferentes potencias para seleccionarlo;
 - ✓ Probar diferentes configuraciones de soporte del motor (fijo y flotante).

Una vez decidido el principio de funcionamiento y el accionamiento, se decide que, para hacer el proceso más rápido, se montarán dos cardas con un motor cada una, que arranquen la corteza por dos bandas opuestas de la caña. Se debería consultar la disponibilidad en el mercado local de motores para cubrir la potencia calculada.

A continuación, se plantea la opción de cómo soportar los dos motores con las cardas. Inicialmente se plantea soportarlos con dos brazos flotantes, cuya presión sobre la caña se pudiera regular. Esta opción, sin embargo, se considera demasiado complicada, principalmente por la regulación del brazo inferior, y se decide implementar sólo un brazo flotante (superior, regulable para ajustar la fuerza y la penetración de la carda en la caña) y el otro fijo (referencia). La regulación se hará mediante muelles y contrapeso.

5.4.2.4. Etapa 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

Se hace un primer esbozo 3D de la disposición de los brazos, motores, regulación, bancada utilizando perfiles y chapa plegada. Para conseguir que la caña se pele de una sola pasada y que el proceso sea más rápido y cómodo para el usuario, se incluye en el diseño un sistema de rodillos de goma que, por la parte delantera de la caña, la frenarán y la harán girar sobre sí misma. De este modo, la caña no saldrá empujada tan rápidamente por la fuerza tangencial de las cardas (se reduce la velocidad de avance) y dará vueltas, lo que facilitará que se pele por los 360°.

En este punto, se realiza el diseño de materialización aplicando la información obtenida en la etapa de análisis de contexto: materiales y métodos de fabricación disponibles, se aplicarían los espesores de chapa adecuados, se incluirían perfiles estándar y componentes necesarios para el motor disponible. Se procuraría utilizar el mínimo de piezas y uniones posibles, aprovechando la multifuncionalidad de algunas piezas de chapa plegada, más económicas que las uniones (criterios DFMA). La regulación con muelles hace que no se tengan que introducir tolerancias muy ajustadas, excepto en los alojamientos para montar los cojinetes de fricción sobre los que girarán los brazos. A continuación, se comprobaría la resistencia y se confirmaría que todas las piezas están bien dimensionadas. También se comprobaría que no existen problemas de vibraciones durante el uso.

El diseño final no debería ser, en este caso, muy diferente en su comportamiento al prototipo fabricado en la Universidad Politécnica de Catalunya, con el que se puede conseguir pelar una caña grande en aproximadamente 30 segundos.

5.4.3. Contexto 2: Nepal

En Nepal se cultiva también maíz y caña de azúcar, por lo que el equipo de pelar cañas puede ser bien recibido por los agricultores de este país. Se describen a continuación las etapas de la metodología propuesta que se llevarían a cabo para el diseño de la peladora de cañas en Nepal. Como en el caso anterior de Ecuador, se pueden llevar a cabo las etapas iniciales de análisis del contexto, definición y diseño conceptual. Las etapas de materialización y detalle describen las tareas que se realizarían si se llevase a cabo el proyecto en este contexto.

5.4.3.1. Etapa 0. Análisis del contexto

Gracias a la visita realizada por el equipo del CDEI-UPC al país se dispone de la información necesaria para establecer las características del entorno siguiendo la lista de referencia del contexto propuesta en este trabajo. El contexto de Nepal es más restrictivo que el de Ecuador, principalmente por la carencia de energía eléctrica y de componentes. A partir de la lista de referencia de contexto propuesta en esta tesis, se elabora el siguiente documento de contexto (Tabla 5.9). El contenido del documento, como se ha comentado en el caso anterior, es muy similar al del proyecto del teleférico, solo se producen cambios en el apartado final de proceso, ya que éste es diferente en cada proyecto.

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO	
PROYECTO: Peladora de cañas en Nepal	
CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
MEDIOAMBIENTE	Orografía y bioma Altitud, terreno, accesibilidad: país muy montañoso y abrupto en su mayor parte. Dividido en tres regiones: montaña (de 4000 a 8845 m), colinas (1000 a 4000 m) y Terai. Los teleféricos se instalan en la zona de colinas y montaña, muy abrupta, con grandes desniveles, sobre los 2000-2500 m en el caso actual. Zonas de montaña erosionadas por los sistemas de cultivo (terrazas). Vegetación: Paisaje y vegetación de alta montaña, bosques de coníferas a partir de 2.500-3.000 m aprox.
	Clima Diferentes zonas climáticas en función de la altura: tropical, subtropical, templada, fría, alpina. Los teleféricos se instalan en zonas subtropicales y templadas. Condiciones atmosféricas habituales: temporada de lluvias (junio-septiembre) por el monzón y temporada seca (octubre-junio). Condiciones atmosféricas esporádicas: Sequía durante 2 meses, temperaturas bajo cero en invierno.
	Recursos naturales Fuentes de agua: abundante en la propia comunidad durante todo el año, potable, la usan para beber. Materiales naturales: principalmente madera, piedras Residuos agrícolas: restos de los cultivos y estiércol animal se usan como abono.
	Impacto ambiental En la zona de instalación no hay contaminación ambiental. En las ciudades como Katmandú la contaminación del aire es muy elevada.

Tabla 5.9. Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Nepal.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO		
PROYECTO: Peladora de cañas en Nepal		
USUARIOS	Aspectos sociales	<p>Tipos de usuarios: Indistintamente hombres, mujeres o niños.</p> <p>Género y edad: Los usuarios serán indistintamente hombres o mujeres. La media de estatura está sobre los 160 cm para hombres, 150 para mujeres.</p> <p>Capacidades, formación: Los usuarios no tendrán o tendrán escasa formación básica conocimientos tecnológicos.</p> <p>Cultura y valores: la mayoría son hinduistas, aunque también hay budistas y musulmanes. El idioma oficial es el nepalí, pero convive con otras lenguas. Tienen dos comidas principales al día (amanecer y noche). Su calendario comienza en el mes de abril occidental. Sociedad totalmente patriarcal, de tradiciones profundamente arraigadas en muchas comunidades, pero buena predisposición a cambios, buena aceptación del proyecto. Valoran su entorno, pero no son conscientes de los impactos ambientales de sus actividades. No se detecta emprendimiento para crear nuevas iniciativas o negocios. Impulsadas básicamente por la ONG Practical Action Nepal presente en la zona.</p> <p>Asociacionismo, participación: En general están bien organizados, posiblemente por la presencia de la ONG en la zona. La comunidad con la que se trabajará tiene un responsable (con funciones de alcalde) como figura de representación del pueblo y de comunicación con la ONG.</p> <p>Número potencial de usuarios: 300-500 personas.</p>
	Aspectos económicos	<p>Ingresos: El nivel adquisitivo de los agricultores es muy bajo.</p> <p>Formas de financiación: Se desconoce para este proyecto. Se puede plantear a través de la ONG Practical Action o como negocio local a través del taller de fabricación.</p> <p>Precio de sus máquinas o herramientas: no disponen de máquinas y las herramientas que tienen son rudimentarias; se desconoce el coste.</p> <p>Coste de la mano de obra del agricultor: se desconoce.</p>
INFRAESTRUCTURAS	Transporte	<p>Vías de comunicación: aéreas y terrestres. Existe un pequeño aeropuerto a unos 20 km del punto habitado más cercano, que se han de hacer en todoterreno y el último acceso a la instalación, en burros o a pie.</p> <p>Tipo de vías: Las vías de comunicación que existen con ciudades importantes son carreteras asfaltadas. Entre poblaciones o comunidades no existen infraestructuras de comunicación, tan sólo caminos o senderos estrechos y abruptos.</p> <p>Medios de transporte: Los agricultores no disponen de vehículos propios o comunitarios, la ONG sí dispone de todoterrenos.</p>
	Tecnologías de comunicación y localización	<p>Telecomunicaciones: disponibilidad de señal de telefonía móvil, radio y televisión por satélite.</p> <p>Tecnologías de localización: Disponibilidad de receptores GPS en los mismos teléfonos móviles.</p> <p>Aparatos electrónicos: La ONG dispone de teléfonos móviles. Algunas edificaciones (hoteles, ONG) cuentan con paneles solares individuales conectados a baterías que sirven para dar soporte a las comunicaciones de estas entidades y establecimientos (cargar los teléfonos móviles de los turistas o coordinadores de las ONG).</p>
	Energía	<p>Tipos: No se dispone de fuentes de energía en las explotaciones agrícolas. No hay energía eléctrica disponible en la comunidad más cercana.</p> <p>Suministro: la red eléctrica llega a un 70% de la población pero la calidad del suministro eléctrico en todo el país es mala.</p>

Tabla 5.9 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Nepal.

Fuente: elaboración propia

LISTA DE REFERENCIA DEL CONTEXTO		
PROYECTO: Peladora de cañas en Nepal		
ENTORNO TECNOLÓGICO	Capacidad de fabricación y montaje	<p>Talleres disponibles: El único taller que puede construir la máquina está a unos 550 km.</p> <p>Tecnologías de fabricación disponibles: tecnologías de fabricación básicas como torno (diámetro máximo 800 mm), taladro, soldadura por soplete, corte (sierra) y plegado de chapa rudimentarios (poco precisos). Herramientas de trabajo básicas: destornillador, llaves fijas, escarpa, piedras, martillo, tensor de cable.</p> <p>Presupuesto de fabricación: se desconoce.</p> <p>Aspectos sociales: el taller está alejado de la zona de instalación y cerca de la capital, Katmandú. El jefe de taller habla inglés lo cual facilita la comunicación. Las capacidades técnicas son limitadas pero por encima de las de los usuarios de la zona de instalación. Hay buena predisposición para asumir el trabajo.</p>
	Capacidad de mantenimiento	El mantenimiento básico lo realizarán los propios usuarios. El mantenimiento más técnico lo realizará el taller de fabricación.
	Disponibilidad de materiales y componentes	<p>Materiales: perfiles estándar de construcción (IPE, UPN) y tubulares (cuadrados y redondos). Se ha de consultar la disponibilidad de la zona en el momento concreto; chapa de acero estructural de espesores estándar preferiblemente S235JR.</p> <p>Componentes y recambios: muy baja; rodamientos, cables y cojinetes no están disponibles, se pueden conseguir de la India.</p> <p>Estándares de fabricación: normas y estándares sistema internacional.</p>
	Aspectos legales	No existen patentes ni normativa en el país que condicionen el diseño.
PROCESO OPERATIVO	Proceso actual	<p>Cultivos: arroz, maíz, yute, caña de azúcar, tabaco, manzanas, hortalizas y cereales. Una única cosecha anual de productos agrícolas en las montañas.</p> <p>Máquinas utilizadas: no se utiliza ningún equipo actualmente.</p> <p>Coste: se desconoce el coste de las horas invertidas en este proceso por los agricultores.</p> <p>Calidad y precio de venta de los productos: se desconoce.</p>
	Equipos alternativos	<p>Funcionamiento: Algunas de las herramientas existentes (las más baratas) utilizan cuchillas para pelar. Otras se basan en la abrasión de la superficie mediante cardas.</p> <p>Precio: manuales \cong 50 \$; motorizadas \cong 500 \$</p> <p>Productividad: variable. Pequeñas peladoras 1 caña/5 s.</p>
	Expectativas respecto al equipo	<p>Expectativas de los usuarios. Productividad deseada: 1-3 cañas/minuto. Precio que los agricultores están dispuestos a pagar: unos 10 \$.</p> <p>Expectativas de los fabricantes: se desconoce el beneficio que pretende obtener el taller por la fabricación.</p>

Tabla 5.9 (cont.). Documento de contexto para el diseño de la peladora de cañas en Nepal.

Fuente: elaboración propia

5.4.3.2. Etapa 1. Definición. Especificaciones.

Junto al equipo que propone el proyecto (GICITED-UPC) y a partir de esta información del contexto, se elaboran las especificaciones para el diseño de la peladora de cañas que se muestran en la Tabla 5.10. En este caso, el concepto de máquina es diferente al de Ecuador: el equipo se considera más una herramienta que una máquina y se enfoca su diseño a una producción más baja. El principio de funcionamiento cambia para adaptarse a las condiciones del contexto (corte mediante cuchillas sin accionamiento eléctrico), muchas especificaciones cambian de descripción debido al cambio de principio de funcionamiento y algunas especificaciones que en el contexto de Ecuador eran

imprescindibles para el diseño (requisitos) en Nepal se convierten en deseables, ya que no se pueden conseguir para un equipo de bajo coste y con la disponibilidad de recursos del contexto.

ESPECIFICACIONES	PROYECTO: Peladora de cañas en Nepal		
Concepto	Descripción	Propone	R/D
Función	Eliminar la corteza de las cañas de maíz	GICITED	R
	Pelar una caña cada minuto	U	R
	Pelar 3 cañas cada minuto	U	D
	Pelar cañas de diferentes diámetros	CTXT	R
	Introducción de cañas manual	GICITED	R
	Avance de la caña manual	GICITED	D
	Regulación de la profundidad de pelado	GICITED	R
	Máquina de uso compartido	CTXT-U	R
Dimensiones	Máquina total, UMT1 = 300 x 300 x 300 mm aprox., 5 kg	CTXT	R
Fuerzas	El accionamiento de la máquina se realizará manualmente.	CTXT	R
Energía	Sólo será necesaria energía humana para utilizar el equipo	CTXT	R
Materiales	Se utilizarán materiales disponibles en Nepal: Perfiles IPE y UPN; chapas 2 y 5 mm preferiblemente S235JR; madera; piedras; cuero.	CTXT	R
	Se utilizarán materiales y/o recubrimientos adecuados para soportar las condiciones climáticas de cualquier zona del país.	CTXT	R
Fabricación y montaje	Se utilizarán piezas disponibles en Nepal. No existe disponibilidad de: Muelles, rodamientos y cojinetes.	CTXT	R
	Tecnologías de fabricación disponibles in situ: <ul style="list-style-type: none"> - torno, taladro, soldadura por soplete, corte (sierra) y plegado de chapa rudimentarios (poco precisos); - destornillador, llaves fijas, escarpa, martillo. 	CTXT	R
	El equipo ha de poder ser montado y desmontado si es necesario por el propio usuario.	CTXT	R
	Tiempo de montaje y desmontaje inferior a 20 minutos	U-CDEI	D
	Unidades a fabricar: inicialmente unas 20 máquinas.	CTXT-CDEI	R
Transporte	Se ha de poder transportar por una persona, UMT1 = 300 x 300 x 300 mm aprox., 5 kg	CTXT-U	R
Coste	El coste de la máquina ha de ser inferior a 50\$	CTXT	R
Vida útil y mantenimiento	La vida útil de la máquina ha de ser de al menos 10 años	CTXT	R
	Mantenimiento básico mínimo: afilado de las cuchillas manualmente.	CTXT	R
	Tiempo de desmontaje: 20 minutos	U-CDEI	D
	Proporcionar piezas de recambio básicas para el funcionamiento	U-CDEI	D
Seguridad y ergonomía	Imposibilitar acceso a los elementos cortantes.	CDEI	D
Impacto ambiental	Materiales empleados reciclables	CDEI	D
Aspectos legales	Evitar colisión con patentes que afecten al país de uso (Nepal)	CDEI	R
Propone:			
GICITED: Grup Interd. de Ciència i Tecnologia a l'Edificació		U: Usuarios	
CDEI: Centre de Disseny d'Equips Industrials - UPC		CTXT: Derivada del anàlisis del contexte	
Carácter de la especificación:			
R: Requisito		D: Deseo	

Tabla 5.10. Especificaciones para la peladora de cañas en Nepal.

Fuente: elaboración propia

5.4.3.3. Etapa 2. Diseño conceptual

A partir de estas especificaciones, se inicia el diseño conceptual con diferentes propuestas sobre el principio de funcionamiento. Básicamente surgen dos:

- Pelado por corte (cuchillas), sin motor;
- Pelado por abrasión (cardas), accionadas mediante tracción humana.

La no disponibilidad de bicicletas u otro accionamiento al que pueda acoplarse la máquina decanta el diseño hacia la opción de las cuchillas. Se deberían realizar ensayos con prototipos conceptuales para probar:

- Tipo de cuchillas a incorporar (deben ser obtenidas manualmente, afilando chapa);
- Número de cuchillas y disposición;
- Regulación de la penetración en la caña;
- Velocidad de avance adecuada (debe ser manual).

Después de estas pruebas se decidiría cómo montar y regular la posición de las cuchillas. Inicialmente se podría plantear soportarlas con dos brazos flotantes, cuya presión sobre la caña se pudiera regular. Esta opción, sin embargo, se ve demasiado complicada, principalmente por la regulación del brazo inferior, y se decide implementar un sistema con una cuchilla fija y otra montada sobre un brazo basculante. Las cuchillas serían de forma circular para que contacten el ángulo más grande posible con la caña.

La regulación de las cuchillas y los brazos (para ajustar la fuerza y la penetración en la caña) es compleja ya que no hay disponibilidad de muelles en el país. Se piensa diseñar con elementos flexibles (chapas delgadas del grosor adecuado) y/o disponiendo series de agujeros en la bancada o los brazos que permitieran una regulación discreta con tornillos. Ambas opciones se deben probar en prototipos para validar su funcionamiento. No se contempla añadir ningún sistema para girar la caña o ayudar en el avance de ésta, las dos operaciones las debe hacer manualmente el usuario.

5.4.3.4. Etapa 3 y 4. Diseño de materialización y detalle

En este punto, y con un primer esbozo 3D de la disposición de los brazos, regulación y bancada, se contactaría con el taller local para ver cuáles son los inconvenientes y limitaciones que encuentra para la fabricación del equipo propuesto. Se harían las modificaciones oportunas para adecuar el diseño a las peticiones del taller, si son necesarias, y se realizaría el diseño de materialización aplicando la información obtenida: se aplican los espesores de chapa disponible, perfiles estándar, diámetros; los mecanizados deben ser sencillos, las uniones atornilladas y soldadas se podrían hacer sin problema; las tolerancias no deberían ser ajustadas para poder conseguir las fácilmente por el taller. Se procuraría utilizar el mínimo de piezas y uniones posibles, aprovechando la multifuncionalidad de algunas piezas de chapa plegada, más económicas que las uniones (criterios DFMA). A continuación, se comprobaría la resistencia y se confirmaría que todas las piezas están bien dimensionadas. Con este diseño y su modelo en 3D se construiría un primer prototipo que debería servir para comprobar el funcionamiento de las cuchillas y su regulación. Se deberían poder hacer los ajustes en el posicionamiento de los brazos fácilmente para conseguir la presión adecuada sobre la caña.

5.4.4. Comparación entre los dos contextos

Como puede observarse, los diseños obtenidos para cada contexto, Ecuador y Nepal, son completamente diferentes debido a las restricciones del entorno, principalmente por la carencia de componentes en Nepal (motores y muelles). Estos condicionantes hacen que el diseño deba adaptarse y se acoten ciertas funciones “accesorias”, cubriéndose únicamente la función esencial, pelar cañas. Así, al no incluirse motorización, se penaliza la productividad, ya que se han de realizar más pasadas para pelar totalmente la caña e invertir más tiempo, y la comodidad del usuario, que interviene en el proceso realizando más esfuerzo.

Las diferencias en el diseño se fundamentan en la información recogida en el documento de contexto, elaborado en la etapa inicial de cada diseño y siguiendo la metodología propuesta. Este documento permite poner de manifiesto las características y restricciones de cada contexto, evidenciar sus diferencias y evitar pasar por alto condicionantes que afecten directamente al diseño del equipo. Por ejemplo, como en los casos anteriores, podría ser que, desde un contexto desarrollado, se incorporasen al diseño del pelacañas para Nepal funciones que facilitasen más la intervención del usuario pero que no fuesen posible implementarlas con los medios disponibles (motorización, principalmente). También podría darse el caso de que se incorporasen cuchillas más sofisticadas y eficientes pero que no se pudiesen obtener en Nepal, lo cual haría que el equipo cayese en desuso cuando las cuchillas se desafilasen.

5.5. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha aplicado la metodología de diseño de máquinas agrícolas apropiadas a diferentes casos prácticos. Los dos primeros son una revisión de los casos expuestos en el capítulo 3, donde se había tenido en cuenta el contexto pero de manera informal, sin documentarlo. La revisión del proyecto incluye el análisis del contexto previo a la definición del equipo, lo que hace que se replanteen las especificaciones iniciales de los dos proyectos y se puedan analizar los errores cometidos sin la realización de esta etapa:

- especificaciones no definidas adecuadamente o ni tan solo consideradas;
- especificaciones que se avanzan a la definición, presuponiendo un contexto ya conocido (el de los países desarrollados).

Aunque el resultado del diseño es el mismo al obtenido previamente, se demuestra que la aplicación de la metodología permite asegurar que se recoge toda la información necesaria de forma sistemática y garantiza no cometer los errores citados.

El tercer caso práctico de aplicación de la metodología muestra el diseño de una trituradora de residuos agrícolas para agricultores de Ecuador. Este proyecto muestra la aplicación exitosa de la metodología de diseño completa, desde el análisis del contexto hasta la fabricación y pruebas del equipo. Comparando el documento de contexto de este ejemplo con el de la deshojadora (también llevado a cabo en Ecuador), se muestra que, con la clasificación de la información establecida, queda prácticamente igual para un mismo contexto y únicamente cambia la información a incluir en el apartado de proceso operativo.

El último caso de la peladora de cañas se realiza como prospección de diseño en dos contextos diferentes conocidos, Nepal y Ecuador. Se parte del diseño y del prototipo construido en el CDEI-UPC y se explora cómo sería el diseño del equipo en los dos contextos, a partir de la elaboración del documento de contexto. En este caso se demuestra que la solución de diseño es diferente en función del contexto para el que vaya dirigido, resultando diseños con principios de funcionamiento diferentes para Nepal y Ecuador. También se vuelve a demostrar que, respecto a los proyectos anteriores realizados en estos mismos países, el documento de contexto es muy similar y cambia principalmente en el apartado de proceso operativo, lo cual facilita la elaboración de este documento.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Tomando como punto de partida que la ciencia y la tecnología han sido y han de ser un instrumento para el desarrollo humano y para ayudar a las personas a salir de la pobreza, se ha orientado el tema de esta tesis hacia el diseño de máquinas agrícolas para comunidades en desarrollo. Dentro de este marco, se ha centrado el estudio del estado del arte y de proyectos y casos reales en las tecnologías apropiadas y las metodologías de diseño de máquinas.

Las tecnologías apropiadas son aquellas que en su diseño han considerado condicionantes técnicos, económicos, ambientales y socioculturales de la comunidad en que se utilizará, así como su sostenibilidad en el tiempo. Se ha visto en el estado del arte que existen numerosos ejemplos de proyectos de tecnologías apropiadas y de análisis de los factores de éxito y fracaso de estas tecnologías en diferentes ámbitos y contextos. El estudio de esta bibliografía muestra que las barreras que pueden impedir el éxito del proyecto tienen relación principalmente con el contexto y la desinformación del equipo de diseño.

Por otra parte, se ha mostrado que las metodologías de diseño de máquinas más utilizadas son las metodologías de fases, basadas en cuatro etapas básicas: definición, diseño conceptual, materialización y diseño de detalle. Estas etapas son válidas para el diseño concreto de máquinas para comunidades en desarrollo (máquinas apropiadas) pero no suficientes. Se ha demostrado la carencia que presentan estas metodologías en cuanto al análisis del contexto, básico en este tipo de proyectos de cooperación para el desarrollo. Así, el análisis de la bibliografía y el análisis de casos y proyectos reales justifica la necesidad de una metodología específica para diseñar tecnologías apropiadas y, en concreto, máquinas apropiadas, que permita contemplar adecuadamente el contexto de la comunidad a la que va dirigida evitando así los riesgos de fracaso del proyecto.

Mediante la descripción detallada de dos casos de diseño de máquinas apropiadas en Nepal y Ecuador, se muestra de forma práctica la necesidad de explicitar el contexto y la importancia que tiene sobre el diseño. Aunque el resultado del diseño en ambos casos fue positivo, la revisión de cada caso muestra los defectos y carencias que presentan las especificaciones de estos proyectos al no seguir una metodología adecuada y no disponer de toda la información de forma ordenada.

En base a estos dos casos prácticos y el estudio de la bibliografía previo, se plantea la propuesta de metodología para el diseño de máquinas agrícolas apropiadas. Se basa en las metodologías de fases pero incluyendo una etapa previa de *análisis del contexto*. De forma análoga a la lista de referencia que los equipos de diseño utilizan para la elaboración de las especificaciones de cada proyecto, se

elabora una lista de referencia para el análisis del contexto. Esta lista de referencia se ha confeccionado y clasificado en base a la información referenciada en la bibliografía y la necesaria en los casos prácticos analizados. Esta lista se clasifica en función del origen y de la utilización que de ella se hace posteriormente en el diseño con el objetivo de facilitar la obtención de la información y su y su posible reutilización en otros diseños futuros. La lista clasifica esta información en cinco categorías: medioambiente, usuarios, infraestructuras, entorno tecnológico y proceso operativo en el que ha de intervenir o realizar la máquina. La utilización de esta lista ha de evitar obviar o pasar por alto aspectos del contexto importantes para el diseño. La clasificación adoptada permite obtener una imagen de la realidad de la comunidad que afecta al diseño de la máquina de forma rápida, simple y ordenada.

La metodología propuesta se ha aplicado a diferentes casos prácticos para corroborar su validez:

- a los dos proyectos de diseño anteriores, lo que permite revisar y mejorar las especificaciones y detectar carencias en ellas que podrían afectar al diseño;
- a un caso completo de diseño (trituradora en Ecuador) que permite demostrar que, para diseñar diferentes máquinas en un mismo contexto, la lista de referencia, tal como está formulada, posibilita mantener la mayor parte de la información recogida del contexto y sólo cambiar la que afecta al proceso operativo de la máquina a diseñar;
- a un caso de prospección de una misma máquina para diferentes contextos (peladora de cañas en Nepal y Ecuador) que permite demostrar cómo el contexto afecta al diseño, resultando en dos principios de funcionamiento diferentes para cada país. También demuestra que, respecto a los proyectos anteriores realizados en estos mismos países, el documento de contexto es muy similar y cambia principalmente en el apartado de proceso operativo, lo cual facilita la elaboración de este documento.

Así, se demuestra que la metodología propuesta, mediante la lista de referencia del contexto, ayuda a los equipos de diseño de máquinas agrícolas apropiadas a aumentar las posibilidades de éxito del proyecto. Permite contemplar los aspectos del contexto que afectan al diseño, ya sean técnicos, ambientales, culturales o económicos, y ayuda a evitar errores y malas prácticas respecto a estos aspectos, al contener toda la información necesaria para el proyecto.

6.1. Extensión de la metodología y trabajos futuros

Diferentes aspectos propuestos en esta tesis son susceptibles de extensiones futuras y continuar la línea de investigación. El guion propuesto para la elaboración del documento de contexto puede usarse como punto de partida sobre el que realizar otros proyectos de diseño de máquinas apropiadas y ajustar su contenido y la información requerida.

Por una parte, la metodología propuesta se ha focalizado en el diseño de máquinas agrícolas apropiadas, pero, por su planteamiento general, es fácilmente extrapolable a máquinas apropiadas de otros ámbitos de actividad para comunidades en desarrollo. Se deberían adaptar ciertos apartados y matices de la lista de referencia del contexto que en este trabajo están orientados al sector agrícola; sin embargo, la mayor parte del contenido continuaría siendo válida. En el diseño de

máquinas para estas nuevas actividades, sería adecuado también aplicar la metodología a casos prácticos para corroborar su validez.

De la misma forma, la metodología se ha propuesto desde un enfoque de tecnologías apropiadas, entendiendo que van dirigidas a mejorar las condiciones de comunidades en desarrollo. Sin embargo, y tal como apunta algún autor, las tecnologías apropiadas pueden abrir su campo de aplicación a nuevos contextos en los países desarrollados (Sorlini et al., 2015). En la actualidad, nuestra sociedad desarrollada ha atravesado, y está atravesando, un momento de profunda crisis a muchos niveles: económico, social, energético (probablemente causante de todas las otras crisis). Esta situación está provocando un cambio en la manera de hacer de muchos ciudadanos en cuanto a hábitos, modo de entender la disponibilidad de recursos, alimentos, trabajo, etc. Este nuevo paradigma propicia que las tecnologías apropiadas tengan cabida también en contextos desarrollados, tanto en el ámbito agrícola como en otras actividades.

Por ejemplo, con estos nuevos contextos y cambios sociales en nuestra sociedad desarrollada, muchas personas del ámbito urbano están emigrando hacia zonas rurales (actualmente amenazadas de despoblación y abandono de las tierras) con la intención de retomar actividades agrícolas y ganaderas. Estas personas inician su nueva actividad con una formación y unas actitudes diferentes a las que hasta ahora se podían encontrar entre el campesinado "tradicional": formación universitaria, poco conocimiento de las actividades agrícolas o ganaderas, intención de incorporar nuevas tecnologías, transición hacia a la agricultura ecológica, sostenible, de proximidad, cooperativa, con ralentización de las tareas, etc. Un nuevo paradigma agrosocial (Monllor, 2013). Se presenta, pues, una comunidad de personas con unas necesidades concretas, donde el término tecnologías apropiadas también puede aplicarse para definir sus nuevas necesidades, dentro de un contexto rural y con un panorama de disponibilidad de recursos materiales y energéticos cambiante. Así, en el mismo sentido que se diseñan tecnologías apropiadas para el desarrollo agrícola en comunidades de países en desarrollo, es adecuado pensar que será necesario estudiar qué necesidades y carencias puede tener este nuevo campesinado a nivel de maquinaria agrícola: si la maquinaria disponible y diseñada en nuestro entorno contempla las necesidades de estos nuevos usuarios, si está adaptada a los cultivos, la orografía o las extensiones de las explotaciones agrícolas de nuestro país, si contempla las nuevas tendencias hacia la agricultura ecológica, etc.

Se considera, pues, que de esta tesis puede derivarse una línea de investigación que contemple el estudio de las necesidades de la nueva agricultura en contextos desarrollados, de la oferta que se ofrece de maquinaria por parte de los fabricantes y de la metodología de diseño necesaria para esta maquinaria agrícola. Esta metodología podría ser muy similar a la metodología de máquinas agrícolas apropiadas propuesta en esta tesis, pero, en este caso, adecuada al contexto rural de nuestra sociedad desarrollada.

De forma más amplia, sería interesante explorar qué cambios cabría introducir en la metodología de diseño de máquinas en otras actividades de contextos desarrollados, no sólo agrícolas, para incluir el contexto como una etapa más de diseño.

En resumen, se considera que esta etapa previa de análisis del contexto puede ser decisiva en diseños futuros de máquinas en contextos cambiantes, tanto en actividades agrícolas como en otros ámbitos, y tanto para países en desarrollo como en países desarrollados.

7. REFERENCIAS

- Adams, K. M. (2015). *Non-functional Requirements in Systems Analysis and Design*. Springer International Publishing. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-18344-2>
- Akubue, A. (2000). Appropriate technology for socioeconomic development in Third-World countries. *The Journal of Technology Studies: An E-Journal*, 26(1).
- Aliu, S., & Ebunilo, P. (2012). Development and Performance Evaluation of a Cocoa Pod Breaking Machine. *Advanced Materials Research*, Volume 367, 1–2. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.367.725>
- Amiolemen, S. O., Ologeh, I. O., & Ogidan, J. A. (2012). Climate Change and Sustainable Development: The Appropriate Technology Concept. *Journal of Sustainable Development*. <http://doi.org/10.5539/jsd.v5n5p50>
- Andersen, A. J., & Kim, C. (2011). Principles of Mechanical Design for the Developing World: A Case Study Approach. In *Volume 5: 37th Design Automation Conference, Parts A and B* (pp. 445–452). ASME. <http://doi.org/10.1115/DETC2011-48245>
- Banco Mundial. (2013). *Informe sobre el desarrollo mundial 2014. Panorama general: Riesgo y oportunidad. La administración del riesgo como instrumento de desarrollo*. Washington DC. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/844111468151156193/pdf/817850WDR0SPAN00Box379841B00PUBLIC0.pdf>
- Banzaert, A., & Winter, A. (2013). Design of agricultural waste charcoal cooking fuel for developing countries. In *ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference* (p. 10). Portland: ASME. <http://doi.org/10.1115/DETC2013-12219>
- Bauer, A. M., & Brown, A. (2014). Quantitative Assessment of Appropriate Technology. *Procedia Engineering*, 78, 345–358. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.076>
- Bixler, G. D. (2011). Extreme user centered design: Methodology for eliciting and ranking requirements in user-centered new product development: Case studies from Honduras and the Central African Republic. In *IEEE Global Humanitarian Technology Conference* (pp. 311–315). Seattle: IEEE. <http://doi.org/10.1109/GHTC.2011.40>
- Bowonder, B. (1979). Appropriate technology for developing countries: Some issues. *Technological Forecasting and Social Change*, 15(1), 55–67. [http://doi.org/10.1016/0040-1625\(79\)90065-9](http://doi.org/10.1016/0040-1625(79)90065-9)
- Bruun, P., & Mefford, R. N. (1996). A framework for selecting and introducing appropriate production technology in developing countries. *International Journal of Production Economics*, 47, 197–209.
- Buitenhuis, A. J., Zelenika, I., & Pearce, J. M. (2010). Open Design-Based Strategies to Enhance Appropriate Technology Development. *Proceedings of the 14th Annual National Collegiate Inventors and Innovators Alliance Conference: Open*, (Pursell 1993), 1–12. Retrieved from

<http://nciia.org/sites/default/files/pearce.pdf>

- Burra, S., Patel, S., & Kerr, T. (2003). Community-designed, built and managed toilet blocks in Indian cities. *Environment and Urbanization*, 15(2), 11–32. <http://doi.org/10.1177/095624780301500202>
- CDEI-UPC. (2013). *Análisis de los procesos agroalimentarios para el establecimiento de las nuevas especificaciones de equipos agrícolas para el procesado de alimentos en base a los contextos socioeconómicos y energéticos. ANEXO IX – JUSTIFICACIÓN TÉCNICA*. AECID Código proyecto 11-CAP2-12, Barcelona.
- Cross, N. (2000). *Engineering Design methods. Strategies for Product Design* (3rd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Date, A. (1984). Understanding appropriate technology. P.K. Ghosh (Ed.), *Appropriate Technology in Third World Development*. Greenwood Press, Westport (CT), 163–183.
- Donaldson, K. M. (2006). Product design in less industrialized economies: Constraints and opportunities in Kenya. *Research in Engineering Design*, 17(3), 135–155. <http://doi.org/10.1007/s00163-006-0017-3>
- Doss, C. R. (2001). Designing Agricultural Technology for African Women Farmers: Lessons from 25 Years of Experience. *World Development*, 29(12), 2075–2092. [http://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00088-2](http://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00088-2)
- Dunmade, I. (2002). Indicators of sustainability: assessing the suitability of a foreign technology for a developing economy. *Technology in Society*, 24(4), 461–471. [http://doi.org/10.1016/S0160-791X\(02\)00036-2](http://doi.org/10.1016/S0160-791X(02)00036-2)
- Dunn, P. (1978). *Appropriate technology: Technology with a human face*. New York: Schocken Books.
- Fernández-Baldor, Á., Boni, A., & Hueso, A. (2012). Technologies for Freedom: una visión de la tecnología para el desarrollo humano. *Estudios de Economía Aplicada*, 30(3), 1–26.
- Ferrer Real, I. (2007). *Contribución metodológica en técnicas de diseñar para fabricación*. Universitat de Girona.
- Fisher, M. (2006). Income is development. Kickstart's pumps help Kenyan farmers transition to a cash economy. *Innovations*, 1(1), 9–30.
- French, M. J. (1997). *Engineering Design, The Conceptual Stage*. London: Heinemann.
- French, M. J. (1999). *Conceptual Design for Engineers*. Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-1-4471-3627-9>
- Grover, P. D., Mishra, S. K., & Clancy, J. S. (1994). Development of an appropriate biomass briquetting technology suitable for production and use in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 1(1), 45–48. [http://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60015-0](http://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60015-0)
- History. From Intermediate Technology to Practical Action. (2016). Retrieved February 6, 2018, from <http://practicalaction.org/history>
- Hollick, M. (1982). The appropriate technology movement and its literature: A retrospective. *Technology in Society*, 4(3), 213–229. [http://doi.org/10.1016/0160-791X\(82\)90019-7](http://doi.org/10.1016/0160-791X(82)90019-7)
- Hubka, V., & Eder, W. E. (1996). *Design Science* (2Rev. ed). London: Springer London. <http://doi.org/10.1007/978-1-4471-3091-8>
- Hyman, E. L. (1987). the Identification of Appropriate Technologies for Rural Development. *Impact Assessment*, 5(3), 35–55. <http://doi.org/10.1080/07349165.1987.9725594>

- Ilechie, C. O., Akii, A. O., & Abikoye, B. O. (2011). Design and Development of an Integrated Small-Scale Oil Palm Fruit Processing Mill. *Advanced Materials Research*, 367, 739–743. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.367.739>
- Jéquier, N., & Blanc, G. (1983). *The world of appropriate technology. A quantitative analysis*. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- Jequier, N. (1976). *Appropriate technology. Problems and promises*. OECD.
- Kaplinsky, R. (2011). Schumacher meets Schumpeter: Appropriate technology below the radar. *Research Policy*, 40(2), 193–203.
- Kuhr, R., Otto, K., Sosa, R., Raghunath, N., Katja, H., & Wood, K. (2013). Design with the developing world: A model with seven challenges for the future. In *International Conference on Engineering Design August 19-22, 2013* (Vol. 22, pp. 1–10). Seul, Korea.
- Kusakana, K. (2014). A survey of innovative technologies increasing the viability of micro-hydropower as a cost effective rural electrification option in South Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 370–379. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.026>
- Lewis, P. K., & Murray, V. R. (2010). An engineering design strategy for reconfigurable products.
- Margolin, V., & Margolin, S. (2002). A “Social Model” of Design: Issues of Practice and Research. *Design Issues*, 18(4), 24–30. <http://doi.org/10.1162/074793602320827406>
- Mattson, C. A., & Wood, A. E. (2014). Nine Principles for Design for the Developing World as Derived From the Engineering Literature. *Journal of Mechanical Design*, 136(12), 121403. <http://doi.org/10.1115/1.4027984>
- Maunder, A., Marsden, G., Gruijters, D., & Blake, E. (2007). Designing interactive systems for the developing world - reflections on user-centred design. In *International Conference on Information and Communication Technologies and Development* (pp. 1–8). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICTD.2007.4937419>
- Mazzù, A. (2007). Study, design and prototyping of an animal traction cam based press for biomass densification. *Mechanism and Machine Theory*, 42(6), 652–667. <http://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2006.06.006>
- Mazzù, A. (2010). Design of a press for densification of waste biomass in developing countries. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 3, 2–3. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.3.1>
- Mefford, R. N., & Bruun, P. (1998). Transferring world class production to developing countries : A strategic model. *International Journal of Production Economics*, 5273(98), 433–450.
- Minority Rights Group International. (2009). United Republic of Tanzania - Barabaig. Minority Rights Group International. Retrieved February 5, 2018, from <http://minorityrights.org/minorities/barabaig/>
- Monllor, N. (2013). La nova pagesia: vers un nou model agrosocial. *Quaderns Agraris*, 35(desembre), 7–24. <http://doi.org/10.2436/20.1503.01.25>
- Morrise, J., Lewis, P. K., Mattson, C. A., & Magleby, S. P. (2011). A method for designing collaborative products with application to poverty alleviation. In *ASME International Design Engineering Technical Conferences* (p. 10). Washington: ASME.
- Murcott, S. (2007). Co-evolutionary design for development: influences shaping engineering design and implementation in Nepal and the global village. *Journal of International Development*,

- 19(1), 123–144. <http://doi.org/10.1002/jid.1353>
- Murphy, H. M., McBean, E. A., & Farahbakhsh, K. (2009). Appropriate technology – A comprehensive approach for water and sanitation in the developing world. *Technology in Society*, 31(2), 158–167. <http://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.03.010>
- Naciones Unidas. (2015a). *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2015*. Nueva York. Retrieved from http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/spanish/UNDP_MDG_Report_2015.pdf?download
- Naciones Unidas. (2015b). *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2015*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (2016). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2016, 56. Retrieved from https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the_sustainable_development_goals_report_2016_spanish.pdf
- Naciones Unidas. (2017). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 64. Retrieved from https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017_Spanish.pdf
- Nieusma, D., & Riley, D. (2010). Designs on development: engineering, globalization, and social justice. *Engineering Studies*, 2(1), 29–59. <http://doi.org/10.1080/19378621003604748>
- Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things* (Revised ed). New York: The Perseus Books Group. Retrieved from http://ucdwiki.chuank.com/uploads/Main/UCDReading_wk5.pdf
- Ogundipe, S. I. Obiakor, F. B. Olotu, O. A. O. and J. A. A. (2011). Design of a low-cost cocoa oil expeller. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 19(1), 1–88.
- Olaniyan, A., & Babatunde, O. (2012). Development of a Small Scale Sugarcane Juice Extractor Using a Screw Pressing System. *Advanced Materials Research*, 367, 699–709. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.367.699>
- Olaniyan, A. M., Olawale, T. T., Alabi, K. P., Adeleke, A. E., & Oyeniyi, S. K. (2017). Design, construction and testing of a biogas reactor for production of biogas using cassava peel and cow dung as biomass. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 13(4), 478–488.
- Otto, K., & Wood, K. (2001). *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. Prentice Hall.
- Pahl, G., & Beitz, W. (1972). Für die Konstruktionspraxis. *Konstruktion*, 1972–1974.
- Pahl, G., & Beitz, W. (1977). *Konstruktionslehre*. Springer.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (2007). *Engineering design: a systematic approach* (3rd ed). Springer.
- Papanek, V. (1972). *Design for the real world; human ecology and social science* (1st edition). Chicago: Academy Chicago. Retrieved from http://playpen.icomtek.csir.co.za/~acdc/education/Dr_Anvind_Gupa/Learners_Library_7_March_2007/Resources/books/designvictor.pdf
- Pearce, J. M. (2012). The case for open source appropriate technology. *Environment, Development and Sustainability*, 14(3), 425–431. <http://doi.org/10.1007/s10668-012-9337-9>
- Pellegrini, U. (1979). The problem of appropriate technology. In A. De Giorgio & C. Roveda (Ed.), *Criteria for selecting appropriate technologies under different cultural, technical and social conditions* (pp. 1–5). New York: Pergamon Press.

- Pérez, I., Garfí, M., Cadena, E., & Ferrer, I. (2014). Technical, economic and environmental assessment of household biogas digesters for rural communities. *Renewable Energy*, *62*, 313–318. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.017>
- PNUD. (2001). *Informe sobre desarrollo humano 2001. Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*.
- PNUD. (2017). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved October 2, 2017, from <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- PNUD, P. de N. U. para el D. (2014). Informe sobre Desarrollo Humano 2014 Equipo del Informe sobre Desarrollo Director y autor principal, 19.
- Polak, P. (2008). *Out of poverty : what works when traditional approaches fail. A BK currents book*.
- Pugh, S. (1990). *Total design. Integrates methods for successful product engineering*. Wokingham: Addison Wesley.
- Quiénes somos. Misión. (2013). Retrieved February 6, 2018, from <http://www.solucionespracticas.org.pe/mision>
- Raichle, B. W., Sinclair, R. S., & Ferrell, J. C. (2012). Design and construction of a direct hydro powered coffee depulper. *Energy for Sustainable Development*, *16*(4), 401–405. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2012.08.006>
- Ramachandran, D., Kam, M., Chiu, J., Canny, J., & Frankel, J. F. (2007). Social dynamics of early stage co-design in developing regions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '07*, 1087. <http://doi.org/10.1145/1240624.1240790>
- Ranis, G. (1980). Appropriate Technology and the development process. In F. A. Long & A. Oleson (Eds.), *Appropriate technology and social values – a critical appraisal* (pp. 99–120). Cambridge: Ballinger Publishing Company.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.
- Roozenburg, N., & Eekels, J. (1995). *Product design: fundamentals and methods*. John Wiley & Sons.
- Rybczynski, W. (1980). *Paper Heroes: A review of appropriate technology*. Anchor Press/Doubleday.
- Schumacher, E. (1978). *Lo pequeño es hermoso*. Madrid: H. Blume.
- Sianipar, C. P. M., Dowaki, K., Yudoko, G., & Adhiutama, A. (2013a). Seven Pillars of Survivability : Appropriate Technology with a Human Face. *European Journal of Sustainable Development*, *2*, 1–18.
- Sianipar, C. P. M., Dowaki, K., Yudoko, G., & Adhiutama, A. (2013b). Seven Pillars of Survivability : Appropriate Technology with a Human Face. *European Journal of Sustainable Development*, *2*(4), 1–18.
- Sianipar, C., Yudoko, G., Dowaki, K., & Adhiutama, A. (2013). Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered. *Sustainability*, *5*(8), 3382–3425. <http://doi.org/10.3390/su5083382>
- Sorlini, S., Rondi, L., Gomez, A. P., & Collivignarelli, C. (2015). Appropriate technologies for drinking water treatment in Mediterranean countries. *Environmental Engineering and Management Journal*, *14*(7), 1721–1733.
- Suh, N. P. (1990). *The principles of design*. New York: Oxford University Press.
- Teitel, S. (1978). On the concept of appropriate technology for less industrialized countries.

Technological Forecasting and Social Change, 11(4), 349–369. [http://doi.org/10.1016/0040-1625\(78\)90018-5](http://doi.org/10.1016/0040-1625(78)90018-5)

- Tekale, K. S., Chaure, Y. K., Kapre, A. R., & Kumar, S. (2017). Design and development of roundnut oil extracting machine by human pedal flywheel motor concept. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(1), 642–652. Retrieved from <https://irjet.net/archives/V4/i1/IRJET-V4I11110.pdf>
- Thomas, H. (2009). De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. Conceptos/estrategias/diseños/acciones. In *Grupo de Estudios Sociales de la Tecnología y la Innovación, IEC/UNQ y CONICET*. (pp. 1–37). Buenos Aires: Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales (PROCODAS), Ministerio de Ciencia y Tecnología. Retrieved from http://inti.gov.ar/bicentenario/documentoslibro/pdf/anexo_4/jornadas_tecno_soc_hernan_tomas.pdf
- Uddin, S. M. N., Muhandiki, V. S., Sakai, A., Al Mamun, A., & Hridi, S. M. (2014). Socio-cultural acceptance of appropriate technology: Identifying and prioritizing barriers for widespread use of the urine diversion toilets in rural Muslim communities of Bangladesh. *Technology in Society*, 38, 32–39. <http://doi.org/10.1016/j.techsoc.2014.02.002>
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. Boston: McGraw-Hill.
- Vaccari, M., Vitali, F., & Mazzù, A. (2012). Improved cookstove as an appropriate technology for the Logone Valley (Chad - Cameroon): Analysis of fuel and cost savings. *Renewable Energy*, 47, 45–54. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.008>
- VDI. (1987). Guideline 2221 - Systematic approach to the design of technical systems and products. VDI-Verlag.
- Wasley, N. S., Lewis, P. K., & Mattson, C. A. (2012). Designing products for optimal collaborative performance with application to engineering-based poverty alleviation. In *International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 1–8). Chicago.
- Weiss, J. P. (2006). Redesigning and Manufacturing an Appropriate Technology Shredder in a Developing Country. *International Journal for Service Learning in Engineering*, 1(December), 11–26.
- Wicklein, R. (2004). Design Criteria for Sustainable Development in Appropriate Technology: Technology as if People Matter. In *PATT-14 Conference* (p. 11). Albuquerque.
- Wicklein, R. C. (1998). Designing for appropriate technology in developing countries. *Technology in Society*, 20(3), 371–375. [http://doi.org/10.1016/S0160-791X\(98\)00022-0](http://doi.org/10.1016/S0160-791X(98)00022-0)
- Winter, A. G., Bollini, M. a, Judge, B. M., Hanley, H. F. O., & Frey, D. D. (2012). Stakeholder-driven design evolution of the leveraged freedom chair developing world wheelchair. In ASME (Ed.), *Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition* (pp. 1–8). Houston.
- Witherspoon, T., & Harris, E. (2011). Avoiding the 30-Pound Paperweight: Success via Contextually Appropriate Technologies. In *IEEE Global Humanitarian Technology Conference* (pp. 402–408). Seattle: IEEE. <http://doi.org/10.1109/GHTC.2011.44>
- Yusuf, K. A., Akhigbe, A. E., Izuagie, F. I., Yusuf, K. A., Akhigbe, A. E., & Performance, F. I. I. (2017). Performance Evaluation of a Screw Press for Extraction of Groundnut (Arachease hypogeal)

Seeds and Cashew (*Anacardium Occidentale*) Kernel Performance Evaluation of a Screw Press for Extraction of Groundnut (*Arachease hypogeal*) Seeds and Cashew (An.

Zelenika, I., & Pearce, J. M. (2011). Barriers to Appropriate Technology Growth in Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 4(6), p12. <http://doi.org/10.5539/jsd.v4n6p12>