

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Programa de Doctorado en Sostenibilidad

PLAN DE INVESTIGACIÓN

Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo

Doctoranda

Elena Blanco Romero

Directores

Dra. Laia Ferrer Martí

Dr. Carles Riba Romeva

Barcelona, enero de 2015

En el día de hoy, nos comprometemos una vez más a pensar, tomar decisiones y actuar unidos contra la pobreza extrema, y a forjar planes para un mundo donde nadie quede postergado. (...) También debemos poner fin a la marginación de las personas que viven en la pobreza. Sus conocimientos y sus opiniones son esenciales si queremos hallar soluciones significativas y duraderas.

Nuestro objetivo debe ser la prosperidad para todos, no solo para unos cuantos.

Mensaje del Secretario General de las Naciones Unidas, Ban Ki-moon
17 de octubre de 2014
Día Internacional para la Erradicación de la Pobreza

ÍNDICE

1.	RESUMEN	5
2.	INTRODUCCIÓN	7
3.	MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	11
4.	ESTADO DEL ARTE	13
4.1.	Tecnologías apropiadas	13
4.1.1.	Inicio de las tecnologías apropiadas.....	13
4.1.2.	Características de las tecnologías apropiadas	15
4.1.3.	Ejemplos de tecnologías apropiadas.....	19
4.2.	Metodologías de diseño	19
4.2.1.	Modelos de fases de diseño de producto.....	21
4.2.2.	Metodologías de diseño en tecnologías apropiadas.....	29
4.3.	Métodos de decisión multicriterio	35
4.4.	Discusión	37
5.	METODOLOGÍA	39
5.1.	Medios empleados	40
5.2.	Contribuciones esperadas.....	41
6.	PLAN DE TRABAJO	43
7.	REFERENCIAS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Características de una tecnología apropiada según diferentes autores (elaboración propia).....	17
Tabla 4.2. Etapas de diferentes métodos para el diseño de máquinas (elaboración propia, (Farias, Aca, Molina, Maury, & Riba, 2006), (Ferrer Real, 2007))	25
Tabla 4.3. Pasos y actividades de la metodología propuesta por Sianipar et al. (2013).....	34
Tabla 5.1. Actividades de las etapas 1 y 2 de la metodología (propuesta inicial)	40
Tabla 6.1. Planificación para la elaboración de la tesis doctoral.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Población por debajo del umbral de la pobreza extrema (Banco Mundial, 2014b).....	7
Figura 2.2. Vínculos entre tecnología y desarrollo humano (PNUD, 2001)	8
Figura 4.1. Indicadores de sostenibilidad de una tecnología en países en desarrollo (Dunmade, 2002)	16
Figura 4.2. Aspectos fundamentales de las AT (a) y niveles de apropiatividad de una AT (Sianipar et al., 2013)	18
Figura 4.3. Indicadores de idoneidad vs frecuencia de aparición en la bibliografía (Bauer & Brown, 2014)	18
Figura 4.4. Actividad central de la Ingeniería de Diseño (Pahl et al., 2007)	20
Figura 4.5. Estructura de diseño según Ullman. Elaboración propia a partir de Hullman (Ullman, 2010)	22
Figura 4.6. Estructura de diseño según la norma alemana VDI 2221 (Riba, 2002)	23
Figura 4.7. Estructura de diseño según Pahl & Beitz. (traducción de León Duarte (2006)).....	24
Figura 4.8. Casa de la calidad, fase inicial del método QFD (Ullman, 2010).....	27
Figura 4.9. Elementos básicos del diseño de materialización, según Ullman (2010).....	29
Figura 4.10. Relaciones entre usuarios, diseñadores e intermediarios en diferentes contextos (Kuhr et al., 2013)	30
Figura 4.11. Áreas de oportunidad y retos, según Kuhr et al. (2013)	31
Figura 4.12. Proceso de diseño, según Mattson & Wood (2014)	31
Figura 4.13. Diagrama de flujo de la metodología para identificar principios de diseño (a) y resultados obtenidos por los autores en su aplicación a sociedades desarrolladas y en desarrollo (b) (Campbell et al., 2011).....	32
Figura 4.14. Proceso de diseño para tecnologías apropiadas básico (a) y propuesto (b) por Sianipar et al. (2013).....	33
Figura 4.15. Matriz de decisión, diagrama básico y ejemplo (Ullman, 2010).....	37

1. Resumen

A lo largo de la historia, la tecnología y los avances científicos han sido un poderoso instrumento de desarrollo humano y reducción de la pobreza. En las comunidades en desarrollo, la tecnología debe adaptarse al contexto y a las características de la población para su uso efectivo y apropiación por parte de la población. Se denominan tecnologías apropiadas aquellas en las que en su diseño se ha considerado condicionantes técnicos, económicos, ambientales y socioculturales de la comunidad en que se utilizará así como su sostenibilidad en el tiempo. Esta definición puede aplicarse también a las máquinas apropiadas.

Las metodologías de diseño de máquinas más utilizadas actualmente son las metodologías de fases pero surgieron y han evolucionado dentro del marco proporcionado por las sociedades desarrolladas. Es por ello que algunas metodologías, o determinadas fases de ellas, no son del todo apropiadas cuando se trata de diseñar máquinas apropiadas a comunidades en desarrollo

El trabajo de la autora en proyectos de diseño de máquinas apropiadas y el estudio de la literatura revelan que su diseño requiere una metodología que preste especial atención a las fases iniciales del diseño, que ayude a los ingenieros a contemplar el contexto y las necesidades de la comunidad de forma exhaustiva y sistemática para traducir sus características en un diseño apropiado. El objetivo principal de esta tesis es desarrollar una metodología que permita obtener, para una comunidad en desarrollo cualquiera, la solución de diseño más sostenible posible y adecuada a las características de la comunidad, adaptada a sus necesidades, recursos y características concretas.

En el presente documento se describen los objetivos principales del tema de tesis propuesto, el estado del arte de los temas clave y el método de trabajo que se pretende aplicar para el desarrollo de la metodología propuesta.

2. Introducción

Actualmente, en el mundo hay aproximadamente 1215 millones de personas que viven con menos de 1,25USD diarios y 2400 millones que viven con menos de 2,5USD al día (Banco Mundial, 2014a: Figura 2.1). En los países en desarrollo, la población que subsiste con menos de 1,25USD al día representa más del 20%, más del 50% lo hace con menos de 2,50USD y casi el 75% con menos de 4USD (Banco Mundial, 2014b).

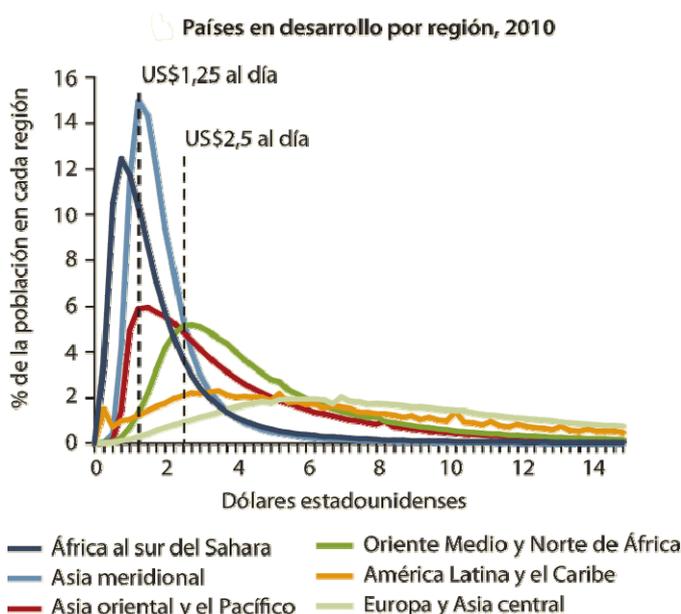


Figura 2.1. Población por debajo del umbral de la pobreza extrema (Banco Mundial, 2014b)

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM, *Millennium Developments Goals, MDG*), acordados el año 2000 por gobiernos y agencias internacionales, tienen como fin mejorar la calidad de vida de estas personas (Naciones Unidas, 2001, 2014). La tecnología juega un papel fundamental: a lo largo de la historia, la tecnología y los avances científicos han sido un poderoso instrumento de desarrollo humano y reducción de la pobreza (Kaplinsky, 2011; PNUD, 2001; Thomas, 2009): producción de alimentos, vivienda, transporte, energía, acceso a conocimientos y cultura, organización social. La tecnología ha de servir a las personas para salir de la pobreza, ha de ser un instrumento, un medio de desarrollo, no un fin. Por una parte, los avances técnicos mejoran la calidad de vida de las personas a nivel de salud, nutrición o conocimientos. Por otra parte, también contribuyen 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 2.2).

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)

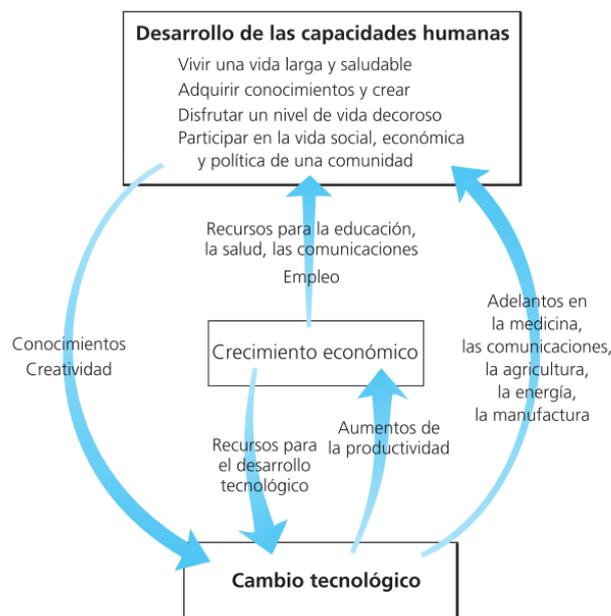


Figura 2.2. Vínculos entre tecnología y desarrollo humano (PNUD, 2001)

En los países industrializados se desarrollan tecnologías y, en concreto, máquinas, equipos o bienes de equipo, básicamente 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 de una amplia disponibilidad de recursos técnicos, de una reducción de costes laborales, de una aceleración de los tiempos y de una competencia internacional.

En sociedades y comunidades en desarrollo estos parámetros pasan a un segundo plano y 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. Estas características son algunas de las que se incluyen en las definiciones de tecnologías apropiadas o adaptadas.

Las metodologías actuales de diseño de máquinas surgieron y han evolucionado dentro del marco proporcionado por las sociedades desarrolladas. Es por ello que algunas metodologías, o determinadas fases de ellas, no son del todo apropiadas cuando se trata de diseñar máquinas en y

para contextos diferentes a los de las sociedades desarrolladas, por ejemplo para comunidades en desarrollo.

En el diseño de máquinas apropiadas a estos contextos, las fases iniciales requieren más atención y se ha de considerar que tienen entidad propia, diferenciada y que han de seguir una metodología con características adecuadas. En estas fases se definen las necesidades de los usuarios, las alternativas tecnológicas a utilizar, las especificaciones de la máquina a diseñar, como se realizará, los criterios de selección y la selección de diseños generados. En estas etapas es donde las metodologías aplicadas han de ser especialmente eficaces a la hora de diseñar una máquina para comunidades en desarrollo. Y son estas etapas las que más van a condicionar el resultado final y el éxito final del proyecto, visto como la aceptación de la máquina por la comunidad a la que va dirigido.

En esta tesis se propone desarrollar una metodología para el diseño de máquinas adaptadas al contexto (máquinas apropiadas¹) de comunidades en desarrollo que tenga en cuenta las características del contexto y que permita seleccionar la alternativa de diseño más adecuada en función de las especificaciones y requisitos iniciales del caso concreto.

En este documento se definen los objetivos generales y específicos y los resultados esperados de la tesis doctoral (apartado 3, Motivación y objetivos). En base a la línea de investigación definida en las metodologías de diseño de máquinas apropiadas, se expone el análisis del estado del arte sobre estos temas (apartado 4, Estado del arte). A continuación se describe el trabajo concreto que se realizará y los medios empleados para llevar a cabo el desarrollo de la metodología propuesta (apartado 5, Metodología). Finalmente, se define el plan de trabajo y el cronograma de las tareas a realizar para la elaboración de la tesis doctoral (apartado 6, Plan de trabajo). Al final del documento se muestran las referencias bibliográficas consultadas (apartado 7, Referencias).

¹ En este documento se utilizará este término para máquinas diseñadas y desarrolladas bajo el paradigma de tecnologías apropiadas, que se define en el apartado 4.1.

3. Motivación y objetivos

En determinados 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 traducir sus características y las necesidades de los usuarios en especificaciones técnicas y transformarlas en un diseño. Sólo de esta manera se asegurará que la máquina será aceptada por la comunidad y que su diseño es sostenible. Esta es la principal motivación de este plan de investigación.

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo de una metodología que asista en el proceso de diseño de máquinas para comunidades en desarrollo (máquinas apropiadas) y en la toma de decisiones de este proceso.

En concreto, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Establecimiento de una metodología específica de diseño de máquinas apropiadas que integre y contemple toda la información característica de la comunidad a la que va dirigida, y que permita generar diferentes alternativas de máquinas adaptadas a las necesidades de los decisores y los usuarios.
- Desarrollo de un procedimiento para seleccionar la alternativa de diseño más adecuada y sostenible de entre las generadas, desde un punto de vista que contemple los aspectos del contexto, y que considere criterios cualitativos y cuantitativos, así como la intervención de decisores con intereses diversos.
- Validación de la metodología en casos reales de diseño de máquinas en diferentes contextos.

4. Estado del arte

Para la elaboración de esta tesis es necesario estudiar la bibliografía dedicada a tres temas diferenciados:

1. **Tecnologías apropiadas:** se analizan la literatura referente a tecnologías apropiadas con el fin de estudiar sus definiciones y las características básicas de este tipo de tecnologías.
2. **Metodologías de diseño de máquinas:** se estudian las diferentes metodologías utilizadas en el campo del diseño de máquinas y las existentes en la bibliografía aplicadas a tecnologías apropiadas.
3. **Métodos de decisión multicriterio:** la metodología propuesta de diseño de máquinas apropiadas conllevará la consideración de múltiples requisitos del diseño y del contexto que será necesario evaluar, comparar y ponderar. Para ello será necesario conocer los métodos adecuados que permitan establezca los pasos y criterios de decisión y evaluar cada requisito en función del caso concreto de diseño.

4.1. Tecnologías apropiadas

4.1.1. Inicio de las tecnologías apropiadas

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*) 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).

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 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 (Schumacher, 1978):

- 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, según sus propias palabras 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.”

Así, las tecnologías intermedias se distinguen por dos características concretas (Thomas, 2009):

- se basan en tecnologías industriales maduras
- se trata 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 Schumacher había cofundado el *Intermediate Technology Development Group* (ITDG) que en 2005 cambió su nombre a *Practical Action* (Practical Action, web). Desde entonces la misión de esta 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 (Soluciones prácticas, web).

El término *tecnología intermedia* fue ampliamente criticado porque sugería una tecnología inferior o de segunda categoría y 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 del 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.

Aun así, el término y el cambio de paradigma propuesto por Schumacher tuvo desde el inicio numerosas críticas por diferentes motivos:

- el propio término implica que hay tecnologías inapropiadas (Jequier, 1976)
- 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 genera 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)
- la adecuación no reside en la propia tecnología o diseño concreto sino en la amplitud de 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).

Este último punto ya plantea que la tecnología no ha de ser obligatoriamente diferente para comunidades en desarrollo sino que ha de adaptarse al contexto.

Otro enfoque propuesto recientemente por Fernández-Baldor et al. (2012) es el denominado *Technologies for Freedom*. Este enfoque aplica el enfoque a las capacidades de las personas y propone una visión de la tecnología que incorpore los elementos positivos de las diferentes visiones (tecnologías apropiadas y desarrollo humano) y que refuerce sobre todo el papel que la tecnología puede jugar a la hora de ampliar las opciones reales de las personas (capacidades) y la habilidad de ayudarse a sí mismas e influir en los procesos de cambio que consideran importantes (agencia). Así, los proyectos tecnológicos han de incorporar, en todas sus etapas, una intención clara de expandir las capacidades y autonomía de las personas. La diferencia fundamental respecto a las tecnologías apropiadas sería el foco principal del proyecto: para éstas es tecnología mientras que para el enfoque *Technologies for Freedom* serían las personas.

4.1.2. Características 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 para 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.

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.

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 encontrados en la literatura que identifican una tecnología como apropiada se han resumido en la Tabla 4.1. En ella se contemplan los trabajos de Teitel (1978), Bowonder (1979), Jequier & Blanc (1983), Wicklein (1998; 2004), Akubue (2000). La orientación de los estudios de Teitel y Bowonder, así como la de otros autores (Bruun et al., 1996; Hyman, 1987; Mefford et al., 1998) están orientados a la adecuación de la transferencia de tecnologías de producción desde multinacionales de los países desarrollados a países en desarrollo (industria de la automoción, farmacéutica, metalúrgica, química, etc.). Aunque su orientación de desarrollo es diferente de la que se da aquí a las tecnologías apropiadas (basada en el mercado respecto al desarrollo de la comunidad), se ha considerado que sus conclusiones y criterios para la identificación de una tecnología apropiada son útiles de contemplar. Todos los autores contemplan 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).

Dunmade (2002) no habla de tecnología apropiada sino de la sostenibilidad de una tecnología foránea en países en desarrollo. Según su punto de vista, la sostenibilidad de una tecnología se basa principalmente en su adaptabilidad y ésta, a su vez, en la sostenibilidad técnica, ambiental, económica y socio-política (Figura 4.1).

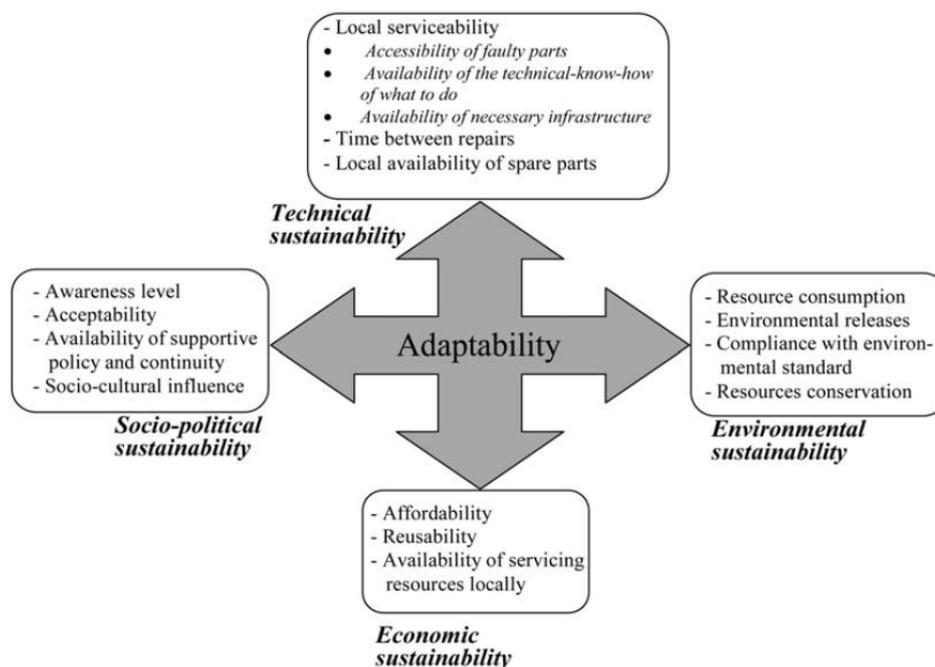


Figura 4.1. Indicadores de sostenibilidad de una tecnología en países en desarrollo (Dunmade, 2002)

Por su parte, Sianipar et al. (2013) hace una clasificación de los criterios de Wicklein (1998) teniendo en cuenta su naturaleza tangible, intangible o intermedia y a quiénes involucra (ingenieros, gobierno y comunidad) (Figura 4.2.a). Según esta clasificación, define tres niveles de idoneidad de una tecnología (Figura 4.2.b): básica, ambientalmente apropiada y socialmente apropiada. Este tercer nivel de apropiación asegura la sostenibilidad y la supervivencia de la tecnología en la comunidad.

Teitel (1978)	Bowonder (1979)	Jequier & Blanc (1983)	Wicklein (1998; 2004)	Akubue (2000)
<ul style="list-style-type: none"> - contempla las necesidades y preferencias de los mercados locales y consumidores - no está basada en el uso de materiales importados y sí en los que están disponibles localmente - escalada al mercado local - usa suficientemente la mano de obra local - no se necesitan capacidades y habilidades especiales o se pueden aprender en poco tiempo - no usa bienes de equipo importados - la transferencia de la tecnología es barata - usa pocos recursos energéticos o abundantes - no contamina el ambiente - no impacta en la industria local 	<ul style="list-style-type: none"> - bajo consumo energético - alta necesidad de mano de obra - uso de materiales locales disponibles - alta productividad - ecológicamente sostenible - bajo coste - baja necesidad de importación - orientación rural - bajo mantenimiento - fácil manejo - reutilización de productos - producción a baja escala - enfocada a más de un sector - capacidad de deslocalización - conservación de las condiciones socioculturales - promoción de estructuras participativas 	<ul style="list-style-type: none"> - baja inversión por puesto de trabajo - baja inversión por unidad producida - simplicidad de organización - adaptabilidad al contexto social y cultural - uso racional de los recursos naturales locales - bajo coste del producto final - alto potencial de empleo. 	<ul style="list-style-type: none"> - independencia del sistema - imagen de modernidad - estándares sociales y culturales - coste de la tecnología - riesgo - capacidad de evolución - multifunción 	<ul style="list-style-type: none"> - capacidad de creación de puestos de trabajo - utilización racional de los recursos locales - utilización de fuentes de energía renovables - asequible - fácil de mantener - compatible con infraestructura existente - eficiente en el uso de recursos naturales - eficiente ambientalmente - pequeña escala

Tabla 4.1. Características de una tecnología apropiada según diferentes autores (elaboración propia).

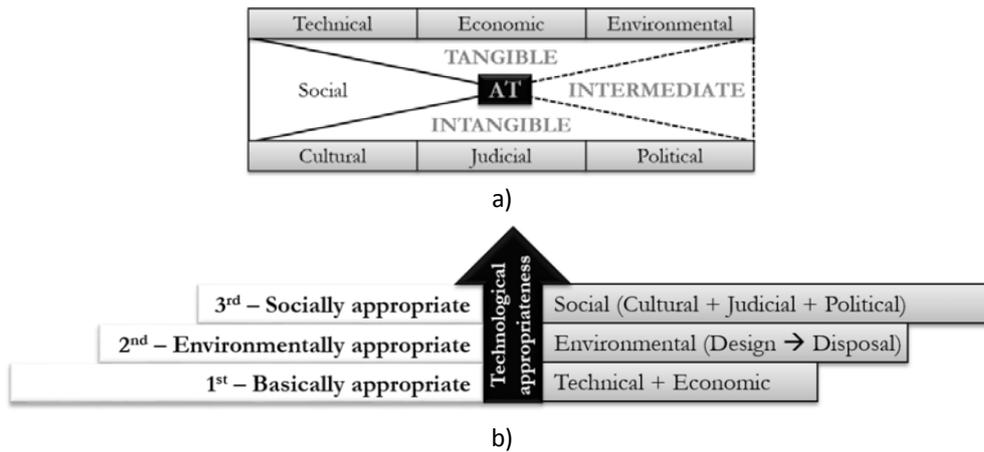


Figura 4.2. Aspectos fundamentales de las AT (a) y niveles de apropiatividad de una AT (Sianipar et al., 2013)

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 4.3).

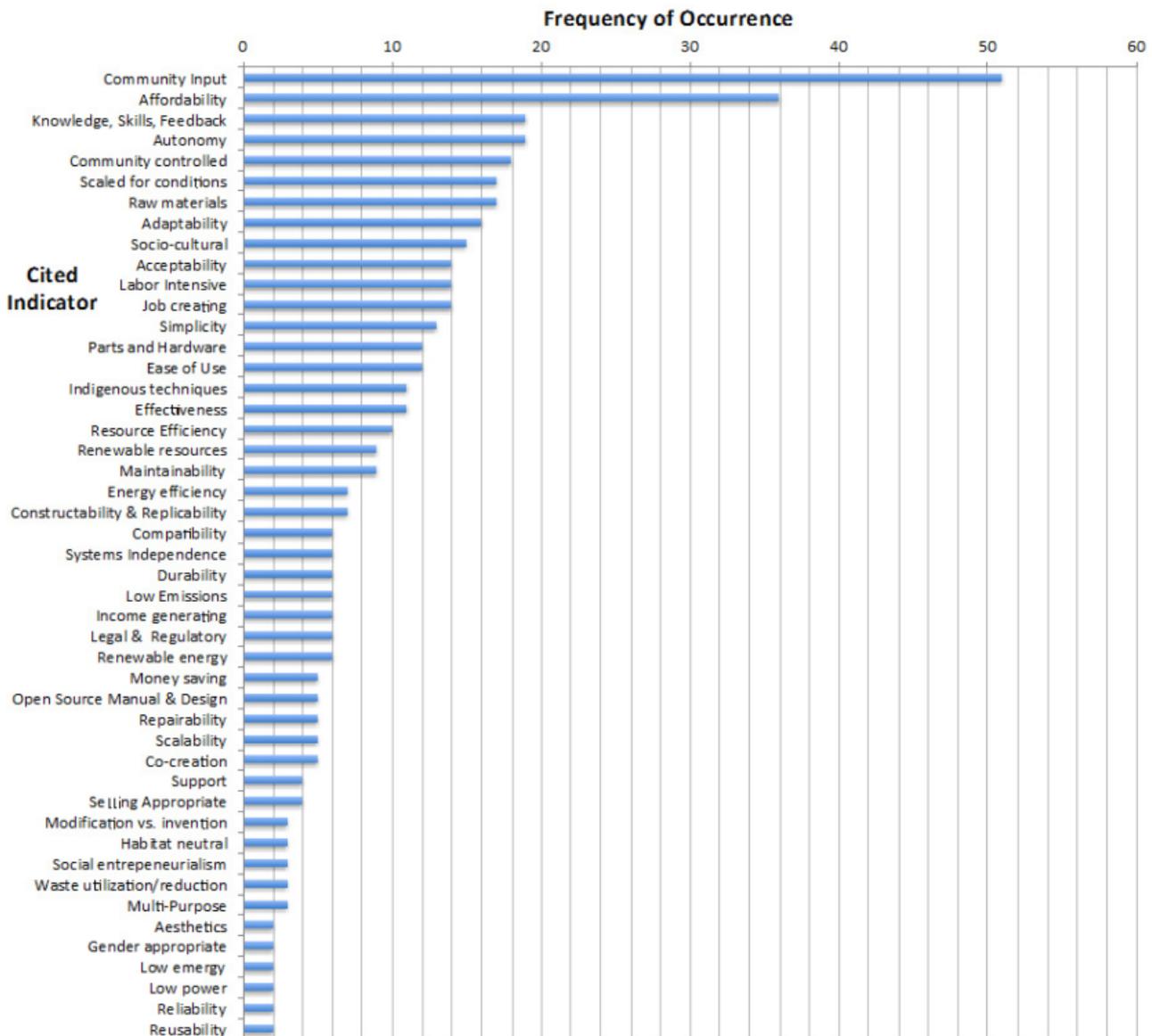


Figura 4.3. Indicadores de idoneidad vs frecuencia de aparición en la bibliografía (Bauer & Brown, 2014)

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 aparecen 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).

4.1.3. Ejemplos de tecnologías apropiadas

La literatura analizada contempla numerosos ejemplos de tecnologías apropiadas llevados a cabo en diferentes comunidades en desarrollo. La mayoría de ellos están dirigidos al diseño y construcción de máquinas para el sector agrícola o energético. En los artículos, los autores analizan el proceso en el que se integrará la máquina a diseñar, el contexto social y económico de la comunidad donde se utilizará y se describe el diseño y el funcionamiento posterior de la máquina.

Entre los ejemplos de aplicación de este tipo de proyectos se pueden encontrar máquinas depulpadoras de café actuadas por agua (Raichle et al., 2012), pequeños extractores de husillo de jugo de caña de azúcar (Olaniyan & Babatunde, 2012), máquinas para romper la vaina del cacao (Aliu & Ebunilo, 2012), molinos de pequeña escala para el procesado del aceite de la fruta de palma (Ilechie et al., 2011), prensas para la densificación de residuos de biomasa (Mazzù, 2010), mejoras en el proceso de obtención de combustibles para cocinar a partir de residuos agrícolas (Banzaert & Winter, 2013), contenedores al aire libre para la investigación de la labranza del suelo (Manuwa et al., 2011) o digestores domésticos de biogás (Pérez et al., 2014).

4.2. Metodologías de diseño

La Ingeniería de Máquinas aplica los conocimientos científicos a la solución de problemas técnicos en el marco de unas restricciones y requisitos impuestos por los materiales, la tecnología, así como económicos, legales, ambientales y humanos. Varios 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 4.4). Así, según Pahl (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.

En el campo de la Ingeniería de Máquinas, el diseño agrupa todas aquellas actividades que tienen por objeto la concepción y definición de un producto adecuado a las especificaciones y al ciclo de vida previsto y su concreción en todas aquellas determinaciones que permitan su posterior fabricación y utilización (Riba, 2002). El término *producto* define un amplio abanico de posibles resultados del diseño entre los que se encuentran las máquinas. 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).

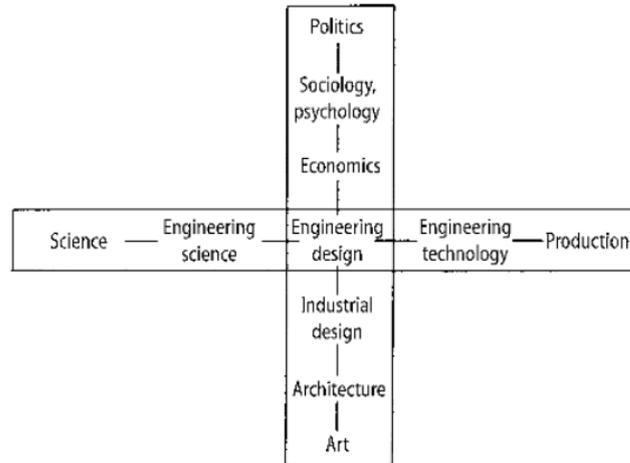


Figura 4.4. Actividad central de la Ingeniería de Diseño (Pahl et al., 2007)

Este trabajo se centrará exclusivamente en el diseño de máquinas (como producto del diseño) y se diferenciará *diseño* de *desarrollo*. Se considera que *desarrollo* 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 (Riba, 2002). Se considerará máquina como una concreción del término producto (más general).

El término 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 especifiquen las tareas concretas del proceso de diseño en cualquier ámbito o disciplina.

Según Pahl et al. (2007), las metodologías de diseño 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:

- ser aplicable a todo tipo de actividad de diseño, no importa de qué especialidad se trate
- facilitar la búsqueda de soluciones óptimas
- ser compatible con los conceptos, métodos y resultados de otras disciplinas
- no confiar en la búsqueda de soluciones por casualidad
- facilitar la aplicación de soluciones conocidas a tareas relacionadas
- ser sencilla
- reducir la carga de trabajo, ahorrar tiempo y evitar el error humano
- facilitar la planificación y la gestión del trabajo en equipo en un proceso de desarrollo de productos integrado e interdisciplinar

Los diferentes enfoques dados a los métodos empleados en el proceso de diseño de máquinas han dado lugar a diferentes metodologías. Pahl & Beitz (2007, p. 20) hacen una exhaustiva clasificación cronológica de publicaciones sobre metodologías de diseño de máquinas y proponen una propia, mientras que Cross (2000) plantea una clasificación de éstas en dos grupos:

- **Metodologías descriptivas:** describen simplemente la secuencia de actividades que típicamente ocurren en el diseño. Responden principalmente a la pregunta *¿Qué hacer?* y tienen un enfoque heurístico: se basan en la experiencia previa, reglas generales y buenas prácticas que conducen a lo que puede ser la solución correcta pero no dan garantía absoluta de éxito. Normalmente es un proceso iterativo. 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).
- **Metodologías prescriptivas:** Responden a la pregunta *¿Cómo hacerlo?* y recomiendan un patrón de actividades durante el proceso de diseño. Son procedimientos sistemáticos o algorítmicos que enfatizan en la necesidad de un trabajo más analítico para llegar a la generación de soluciones conceptuales. Hacen incidencia en la identificación y comprensión total del problema de diseño. Dentro de estas metodologías se diferencia dos tipos:
 - **Modelos de fases:** estructuran el proceso de diseño en fases o etapas y la secuencia recomendada para llevarlas a cabo. En este grupo se encuentran las metodologías propuestas por Pahl & Beitz a principios de los 70, (Pugh, 1991), Ullman (Ullman, 2010) o la norma alemana VDI 2222 (1977) y la más reciente VDI 2221 (1986, en inglés). Los modelos propuestos por Ulrich y Eppinger (2000) o Otto y Wood (Otto & Wood, 2001) son modelos de fases orientados a desarrollo de producto.
 - **Modelos de 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).

Se describen a continuación las metodologías más destacadas de los métodos de fases. Cabe destacar que estos modelos comprenden tan solo el diseño del producto, frente a los de desarrollo de producto. También es conveniente recordar que, aunque todas las metodologías hablan de diseño de producto y se conserva esa terminología, en esta tesis se aplicarán concretamente al diseño de máquinas.

4.2.1. Modelos de fases de diseño de producto

Estos modelos establecen las etapas del problema a resolver para facilitar su entendimiento y la secuencia más recomendable para llevarlas a término. Esta metodología la adoptan, entre otros, Pahl & Beitz, (2007), Pugh (1991), Ullman (Ullman, 2010) y la norma alemana VDI 2221 (1986). Las figuras siguientes muestran la estructura de los modelos de diseño de Ullman, de la norma VDI 2221 y de Pahl & Beitz, respectivamente. La metodología propuesta por Ullman contempla como fases iniciales del diseño de productos el establecimiento de la necesidad y la planificación del

proyecto, etapas que quedan fuera de las metodologías de la VDI y de Pahl & Beitz. Para estas últimas, estas fases pertenecerían al desarrollo global de producto y no estarían dentro del proceso específico de diseño.

A partir de este punto, las tres metodologías continúan con una etapa de *definición* donde el resultado es una especificación clara de lo que se quiere conseguir en términos técnicos. La siguiente etapa en las tres metodologías está dedicada al *diseño conceptual*, donde se establecen los principios de solución y la estructura funcional y se selecciona un concepto para desarrollar en la siguiente etapa. En el caso de la metodología de la VDI, en esta etapa también se genera la estructura modular del producto, muy útil en ciertas ocasiones para el posterior diseño y evolución del producto.

A continuación, Ullman propone una etapa denominada *desarrollo de producto*. Esta denominación puede llevar a confusión, ya que, como se ha definido previamente, se considera desarrollo de producto al conjunto global de actividades alrededor del producto (desde la concepción hasta la retirada del servicio). Sin embargo, a pesar de esta diferencia, las actividades que de fase engloban las contempladas en las dos etapas siguientes de las otras metodologías: *diseño de materialización* (o preliminar) y *diseño de detalle* (o definitivo).

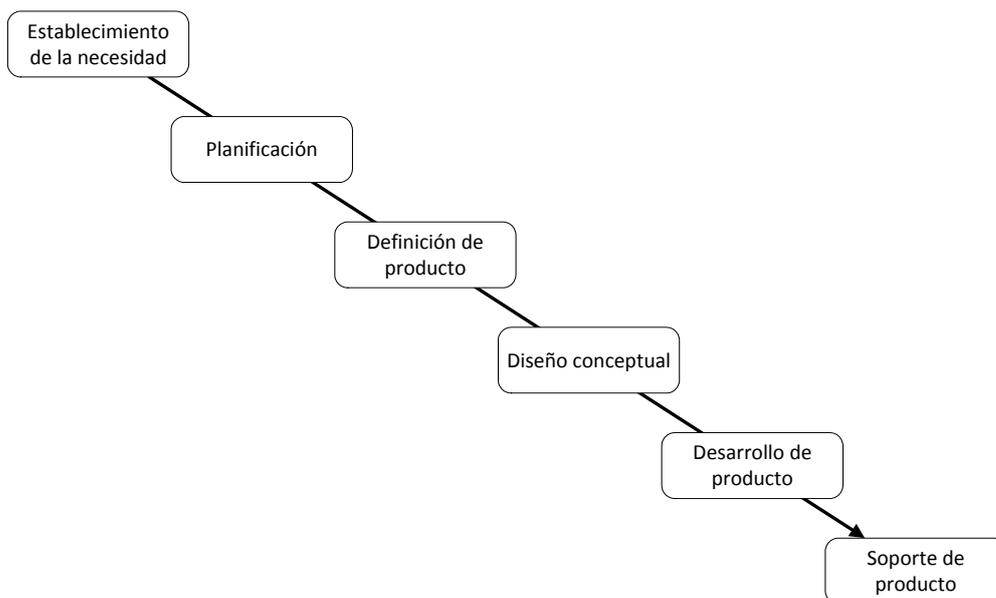


Figura 4.5. Estructura de diseño según Ullman. Elaboración propia a partir de Hullman (Ullman, 2010)

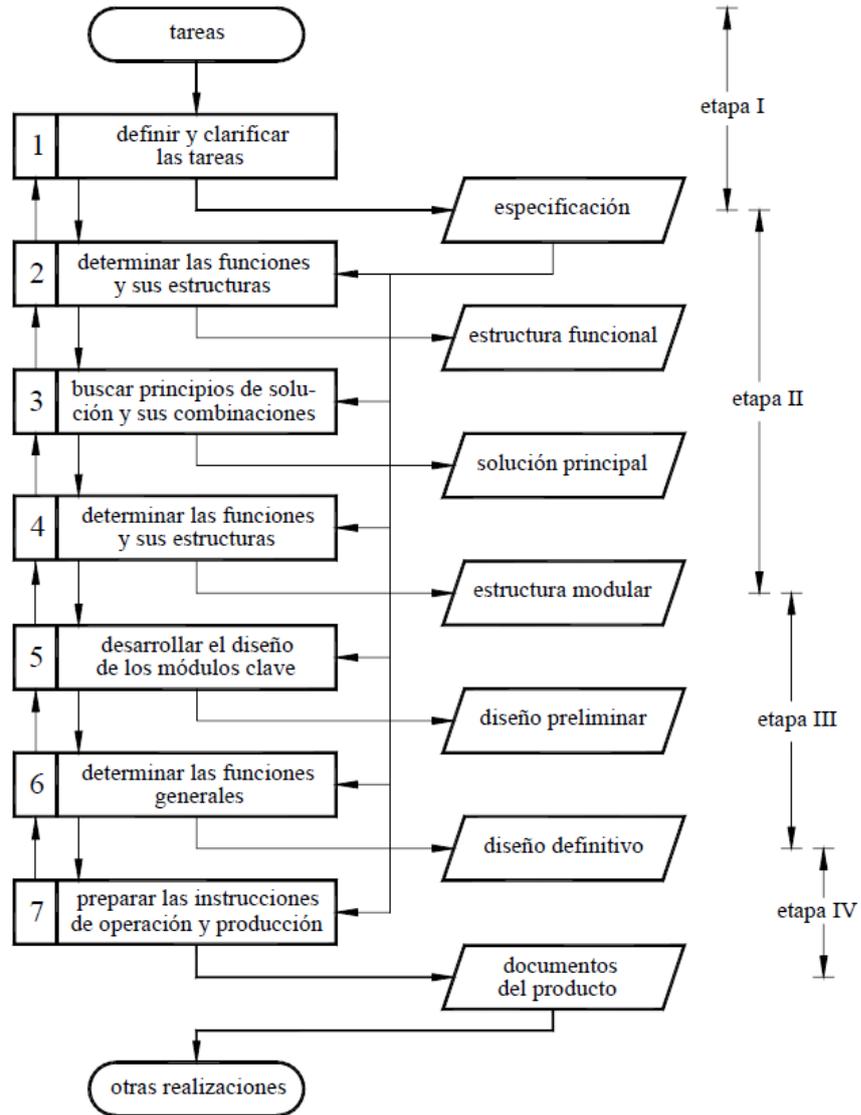


Figura 4.6. Estructura de diseño según la norma alemana VDI 2221 (Riba, 2002)

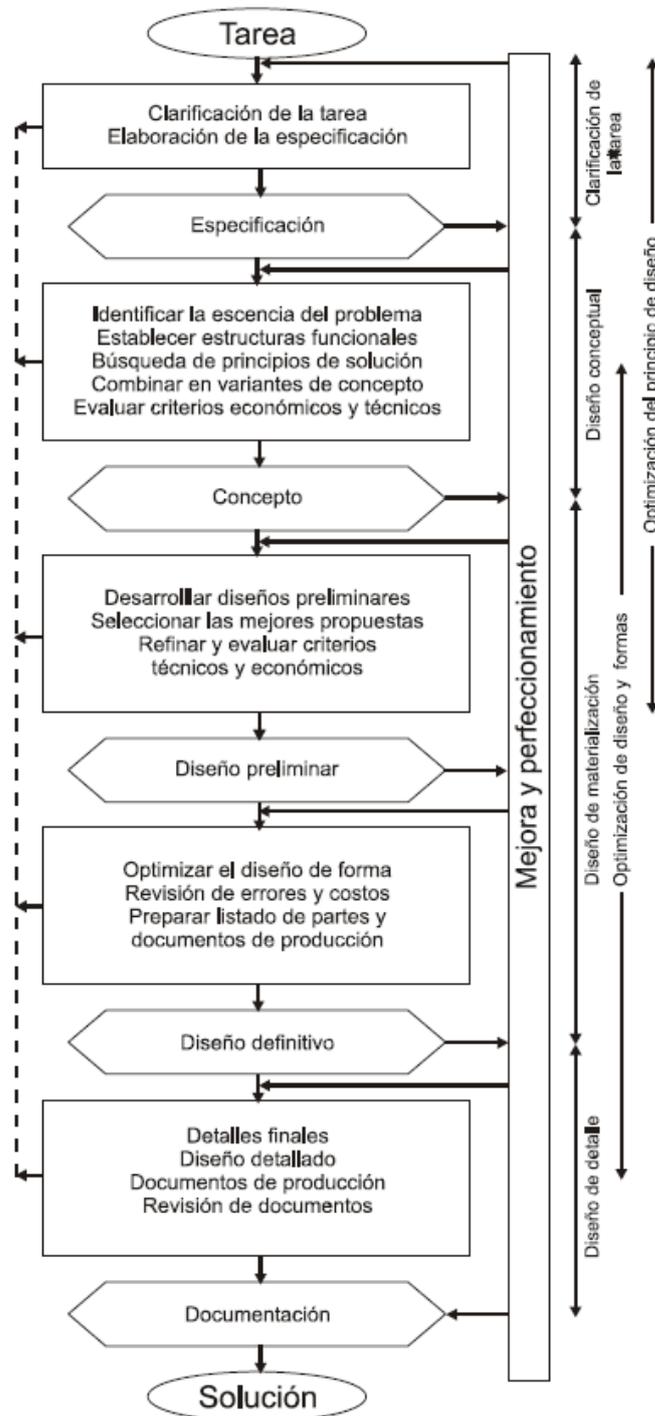


Figura 4.7. Estructura de diseño según Pahl & Beitz. (traducción de León Duarte (2006))

La Tabla 4.2 muestra una comparación entre las fases de los métodos clásicos propuestos por Pahl & Beitz (2007), Pugh (1990), Ullman (Ullman, 2010) y la norma VDI 2221 (1986). Como se ha visto, todas ellas establecen fundamentalmente las etapas de definición, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño de detalle, denominaciones utilizadas por Riba (2002). En la última columna se muestran los resultados y documentación que deben obtenerse de cada una de ellas.

La delimitación de las fases, como puede observarse, es muy similar en la mayoría de los métodos aunque en la práctica del diseño las fronteras pueden ser difusas. En muchas ocasiones habrá que definir aspectos del diseño correspondientes a una fase posterior (material, fabricación) en fases

precedentes. Por este motivo, los modelos de Pahl & Beitz, VDI y Ullman proponen que las fases se ejecuten de forma secuencial pero realizando iteraciones entre ellas.

Las actividades previas y posteriores a las cuatro etapas comunes que aparecen en algunas metodologías, entrarían dentro del desarrollo de producto, más que en el diseño.

Estas metodologías de fases son las más utilizadas en la práctica diaria por los ingenieros de diseño de máquinas y, en concreto, la VDI se considera la más completa por los siguientes motivos (C. Sianipar, Yudoko, Dowaki, & Adhiutama, 2013):

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

A continuación se analizan las etapas básicas consideradas por todas las metodologías de fases, utilizando para las etapas la nomenclatura de Riba (2002), y los resultados que deben obtenerse de cada una de ellas.

Etapas básicas (Riba, 2002)	Pahl et al., (2007)	Pugh (1990)	Ullman (2010)	VDI 2221 (1986)	Resultados
	Planificación	Mercado	Establecimiento de la necesidad Planificación		
ETAPA 1 DEFINICIÓN	Clarificación de la tarea	Especificación	Desarrollo de especificaciones	Definición y clarificación de la tarea	Especificación
ETAPA 2 DISEÑO CONCEPTUAL	Diseño conceptual	Diseño del concepto	Diseño conceptual	Diseño conceptual	Principios de solución, arquitectura de máquina (estructura funcional, estructura modular)
				Diseño de forma	
ETAPA 3 DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN	Diseño de materialización	Diseño detallado	Desarrollo del producto	Diseño de forma	Planos de conjunto, prototipos
ETAPA 4 DISEÑO DE DETALLE	Diseño de detalle			Diseño detallado	Diseño detallado
		Fabricación	Producción Servicio Retirada		
		Ventas			

Tabla 4.2. Etapas de diferentes métodos para el diseño de máquinas (elaboración propia, (Farias, Aca, Molina, Maury, & Riba, 2006), (Ferrer Real, 2007))

Etapas 1: Definición del producto

Esta fase suele estar dividida en dos sub-etapas: planificación y clarificación de la tarea. La **planificación**, tiene por objetivo detectar una necesidad (en los métodos clásicos, normalmente procedente del mercado), crear la idea para desarrollar un determinado diseño o proyecto o cubrir la necesidad propuesta por un cliente. Esta sub-etapa queda fuera del diseño propiamente de máquinas y entra dentro del desarrollo de producto pero algunos autores hacen especial incidencia en ella. Suele estar en manos de departamentos diferentes al de diseño propiamente dicho (marketing o desarrollo de producto) pero los ingenieros de diseño han de interactuar estrechamente con ellos para definir correctamente el producto. La mayoría de metodologías incluyen en esta sub-etapa consideraciones como estudios de mercado, de la competencia y de la tecnología y aspectos internos de la compañía: estrategia, objetivos, capacidades, fortalezas, desarrollos futuro, gamma de producto, etc.

Independientemente de la procedencia del estímulo que desencadena el inicio del diseño, la sub-etapa de **clarificación de la tarea** ha de partir de un enunciado inicial del producto. Este enunciado inicial es poco concreto para poder iniciar el diseño; normalmente se parte de unas necesidades u objetivos a cumplir expresadas en “lenguaje del cliente” (Ulrich & Eppinger, 2000). Por lo tanto, en esta sub-etapa se “traducen” estas necesidades a descripciones técnicas; se establecen las acciones destinadas a definir el producto de manera completa y precisa en términos cuantificables.

El resultado de esta etapa es un documento de especificaciones, un conjunto de determinaciones, características o prestaciones que ha de fundamentar y guiar el diseño del producto en todas las etapas posteriores (Riba, 2002). Sin embargo, este documento de especificaciones no ha de ser un lastre para el diseñador sino que ha de ser revisado en cada etapa y, si es necesario, reconsiderar alguna especificación que sea demasiado restrictiva o ambiciosa (siempre de acuerdo con el cliente o con el departamento que corresponda). Todos los autores describen procedimientos para la generación y documentación de especificaciones y contemplan aspectos como:

- Funciones y modos de operación principales, ocasionales y accidentales del producto, movimientos y fuerzas;
- Entorno de operación, espacio, dimensiones, medioambiente, seguridad;
- Servicios de entorno, suministro energías, mantenimiento, infraestructuras;
- Aspectos de fabricación, materiales, montaje, unidades, coste;
- Aspectos comerciales, precio, aspecto, vida útil;
- Aspectos legales, patentes, normas.

Según Ullman (Ullman, 2010), Cross (Cross, 2000) y Riba (2002), uno de los métodos más eficaces para la definición de especificaciones es el citado modelo de artefacto QFD (Desarrollo de la función de calidad). Este método sirve para el desarrollo global del producto y su primera fase de planificación del producto (también llamada Casa de la calidad, Figura 4.8) traduce las demandas de los usuarios (voz del usuario) en requerimientos técnicos del producto. Se estructura en los siguientes pasos (Ullman, 2010):

1. Identificar a los usuarios (Quién)
2. Determinar los requerimientos de los usuarios (Qué)

3. Valorar la importancia de los requerimientos (Quién vs Qué)
4. Identificar y evaluar la competencia (Ahora)
5. Generar las especificaciones de ingeniería (Cómo)
6. Relacionar los requerimientos de los usuarios con las especificaciones (Cómo vs Qué)
7. Determinar la importancia y los objetivos de las especificaciones (Cuánto)
8. Identificar las relaciones entre las especificaciones

Su aplicación asegura que se han tenido en cuenta las necesidades de los usuarios. En su elaboración se recogen las demandas de los usuarios (requisitos y deseos), se analiza y se valora cuantitativamente por parte de los usuarios y de los ingenieros los productos de la competencia y se definen los requerimientos técnicos necesarios para articular las demandas de los usuarios. A continuación se establecen correlaciones cualitativas entre las necesidades de los usuarios y los requerimientos de los ingenieros. Finalmente se definen los compromisos técnicos cualitativos entre las características técnicas (dependencia positiva o negativa, o independencia total entre ellas) (Riba, 2002).

Su aplicación puede ser laboriosa y puede simplificarse en una sola matriz de necesidades vs. métricas (Ulrich & Eppinger, 2000). Es decir, a partir de los requerimientos de los usuarios ordenados por importancia, se determinan los parámetros físicos y las unidades (si es posible) en que se va a medir ese parámetro para conseguir ese requerimiento.

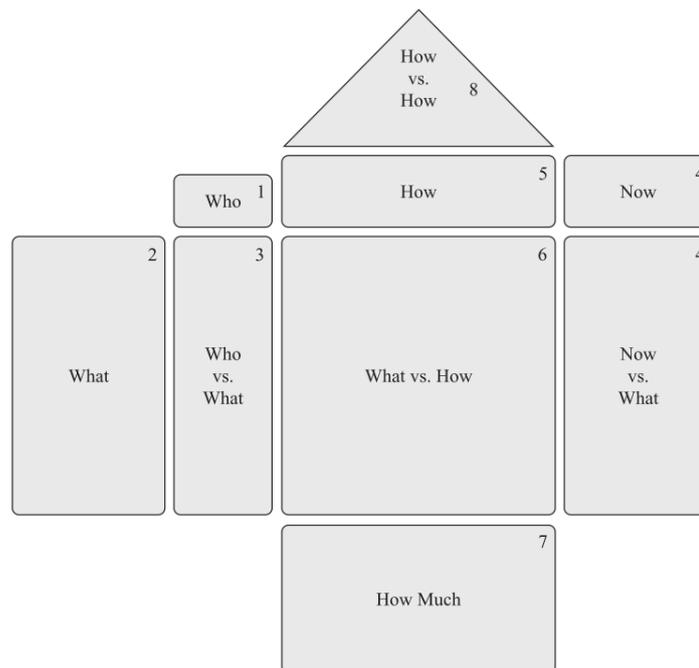


Figura 4.8. Casa de la calidad, fase inicial del método QFD (Ullman, 2010)

Etapa 2: Diseño conceptual

Partiendo del documento de especificaciones elaborado en la etapa anterior, se originan diferentes alternativas de principio de solución, se evalúan y se escoge la más conveniente. En este proceso se establece la estructura funcional del producto, se buscan las estructuras físicas adecuadas y se combinan para obtener la estructura final que definirá el concepto (Pahl et al.,

2007). La metodología propuesta por la norma VDI 2221 considera en esta fase una sub-etapa explícita de división del producto en módulos realizables (Figura 4.6) 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 este momento se define, por tanto, la distribución preliminar, el dimensionamiento inicial, la selección preliminar de materiales y de fabricación de los componentes principales (Pahl et al., 2007). En este punto es usual modificar, renegociar o incluir algún requerimiento en el documento de especificaciones, como incluye Ullman.

Es la etapa de creación del proceso de diseño y la más innovadora. Para facilitar y estimular el proceso existen metodologías que se basan en estos pasos y técnicas:

- **Análisis del problema:** normalmente ya realizado con la elaboración de las especificaciones que puede ampliarse añadiendo un análisis funcional.
- **Generación de ideas:** por investigación, experiencias previas, análisis de la competencia, de patentes, de sistemas naturales, brainstorming, método Delphi, inversión de funciones...
- **Simulación y evaluación:** en ocasiones, es necesario realizar ciertas simulaciones, prototipos preliminares o pruebas experimentales para corroborar ciertos conceptos y validar soluciones. La evaluación se lleva a cabo mediante métodos de selección de soluciones o métodos de decisión que se analizan separadamente en el apartado 4.3.

Etapa 3: Diseño de materialización

Partiendo del principio de solución de la etapa previa, se determina la configuración de diseño (layout) global y definitiva del producto que permite obtener una visión general de los materiales, las formas y dimensiones y del proceso de fabricación (Figura 4.9). 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 simularán las soluciones mediante prototipos funcionales y se evaluarán mediante ensayos (fiabilidad, durabilidad, etc).

El resultado de esta etapa se da en forma de planos de conjunto o esquema de configuración, lista preliminar de piezas y, convenientemente, una memoria con los aspectos más relevantes del proceso de esta etapa (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, 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).

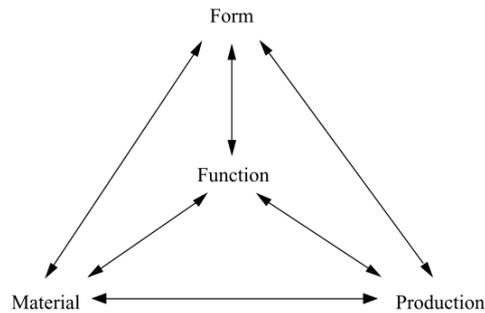


Figura 4.9. Elementos básicos del diseño de materialización, según Ullman (2010)

Etapa 4: Diseño de detalle

En esta etapa se definen la configuración final así como las formas, dimensiones y propiedades superficiales 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 esta etapa no sólo se da la forma final al diseño de materialización de la etapa anterior sino que se añaden funciones características de esta fase como la comprobación de las funciones y la depuración de soluciones para simplificar, eliminar o refundir elementos (Riba, 2002). De hecho, aunque avanzar ciertas tareas de diseño de detalle es improductivo, en múltiples ocasiones las etapas de materialización y detalle se solapan.

4.2.2. Metodologías de diseño en tecnologías apropiadas

Las metodologías descritas hasta ahora se aplican ampliamente en Ingeniería Mecánica y en otras disciplinas y su análisis sigue siendo foco de estudio e investigación. Así, la estructura fundamental de estas metodologías, y en concreto, de las metodologías de fases, son totalmente aplicables a tecnologías apropiadas, pero requieren cierta adaptación para conseguir un producto apropiado (Kuhr et al., 2013; Mattson & Wood, 2014; C. Sianipar et al., 2013).

La adaptación de estas metodologías se centra básicamente en la fase de definición y, en menor medida, en la de diseño conceptual del producto. Según Mattson & Wood (2014). 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. Es en la fase de definición y planificación del producto apropiado donde más se han de adaptar las metodologías para conocer a los usuarios, sus necesidades y su contexto (Mattson & Wood, 2014).

Existe amplia literatura enfocada a las tecnologías para comunidades en desarrollo (ejemplos concretos de máquinas desarrolladas para comunidades concretas, cómo integrar una tecnología en un contexto específico, experiencias detalladas), pero pocos autores hablan sobre la efectividad del proceso de diseño en el contexto de comprensión cultural.

Según 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.

Estos pasos siguen la estructura de los modelos de fases con incidencia en las fases iniciales y finales:

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

Kuhr, Otto et al. (2013) hacen una revisión de la literatura sobre el diseño centrado en el mundo en desarrollo (DDW) y analizan las barreras y aspectos facilitadores. Según este análisis el tema central de la metodología del diseño son las interacciones entre los usuarios, los diseñadores y los intermediarios (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 4.10 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 de cultura, 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 del DDW y los autores las plasman en la Figura 4.11 como resultado del método. Según la literatura estudiada y el análisis realizado por estos autores, 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.

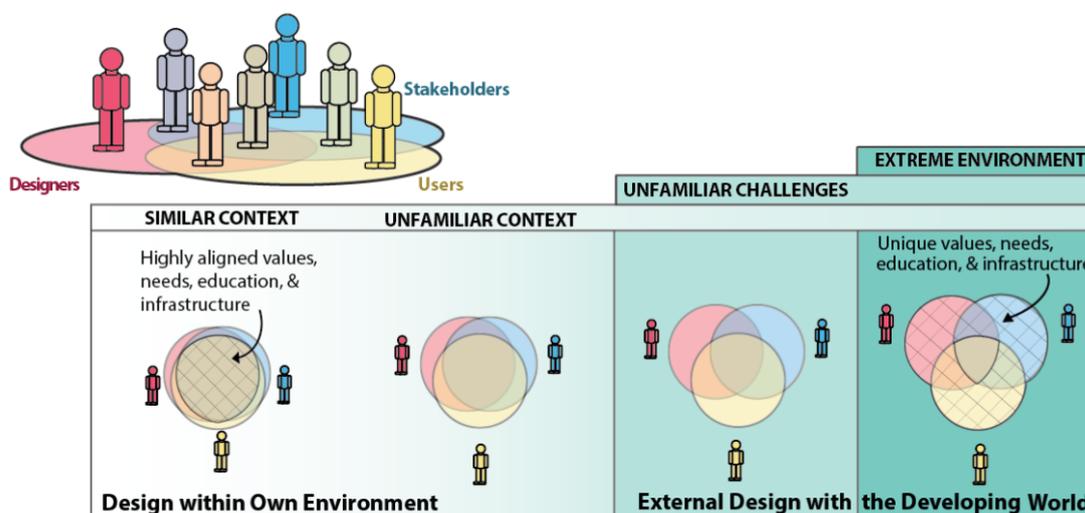


Figura 4.10. Relaciones entre usuarios, diseñadores e intermediarios en diferentes contextos (Kuhr et al., 2013)

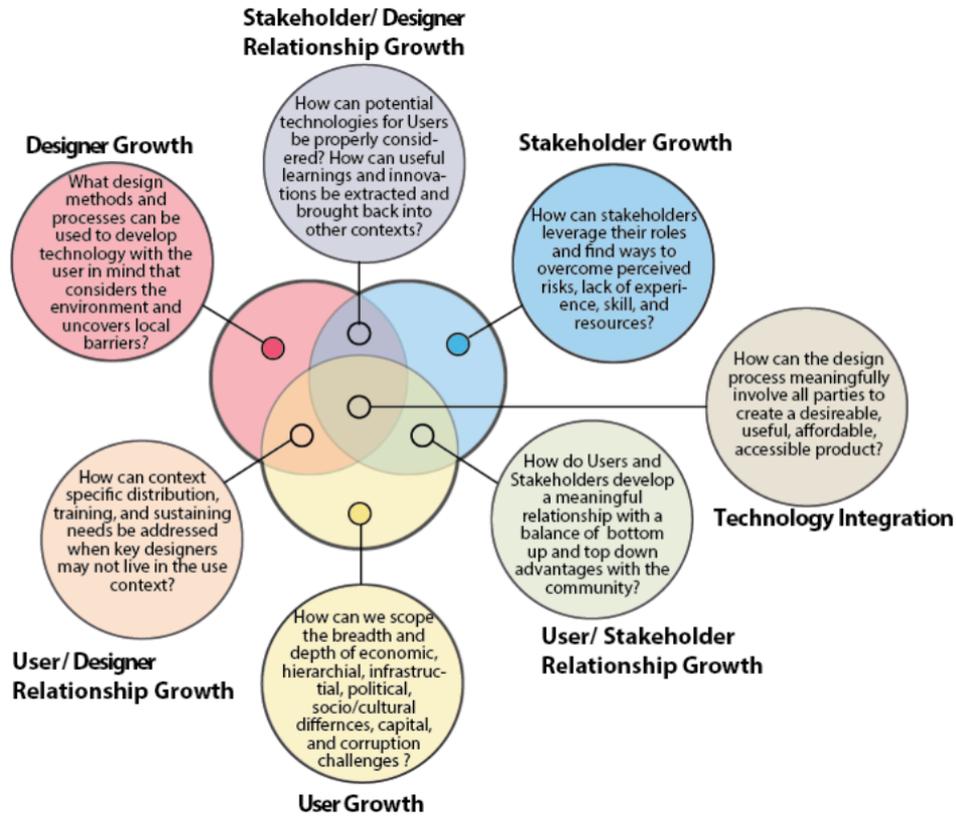


Figura 4.11. Áreas de oportunidad y retos, según Kuhr et al. (2013)

Mattson & Wood (2014) también defienden la aplicación de las metodologías de fases para el diseño de productos. Sin embargo, según estos autores, para que los productos tengan el impacto esperado en la comunidad en desarrollo sus diseños han de ser técnicamente correctos pero también adaptados a los usuarios y su contexto. Pero la mayoría de los principios de diseño de las metodologías clásicas no van dirigidos hacia este ámbito: la revisión de la literatura realizada por estos autores sobre estas metodologías identifican 35 principios de diseño: 30 tienen relación con el proceso de definición de la solución, cuatro tienen relación con el contexto y uno con el equipo de trabajo. Proponen, por tanto, la estructura de óvalos concéntricos de la Figura 4.12. Las fases del proceso de diseño son las mismas que en las metodologías clásicas pero establecen que sólo puede llevarse a cabo cuando el contexto del problema y la solución (anillo interno) está claramente determinado y comprendido por el equipo de desarrollo (anillo externo).

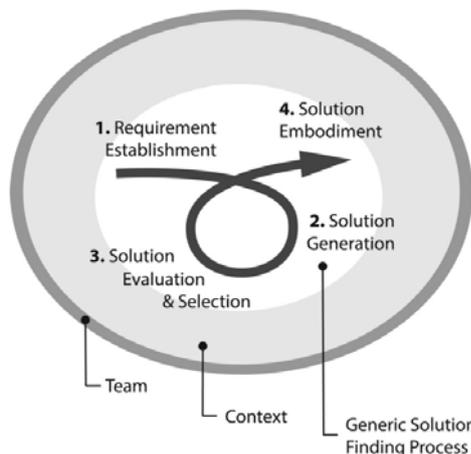


Figura 4.12. Proceso de diseño, según Mattson & Wood (2014)

A partir de la literatura estudiada, estos autores establecen nueve principios básicos a tener en cuenta al diseñar para comunidades en 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 disminución de 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

Campbell et al. (2011) presentan una metodología para identificar estos principios de diseño para comunidades en desarrollo (Figura 4.13.a) y su aplicación a un caso de estudio. Su enfoque para el desarrollo de estas comunidades está basado en el mercado (*market-based development*) y la metodología parte de un estudio de diversos productos seleccionados en una sociedad desarrollada y en otra en desarrollo. La identificación, selección y comparación de las características de estos productos a través de este método permite identificar unos principios de diseño para mercados específicos, incluyendo comunidades en desarrollo. El resultado de este estudio (Figura 4.13.b) muestra que los principios de diseño son similares en ambas sociedades pero la frecuencia de aparición en una y otra son diferentes. Los principios de diseño que son únicos para cada sociedad muestran las singularidades de cada una de ellas y las especificaciones que son particulares para ese contexto.

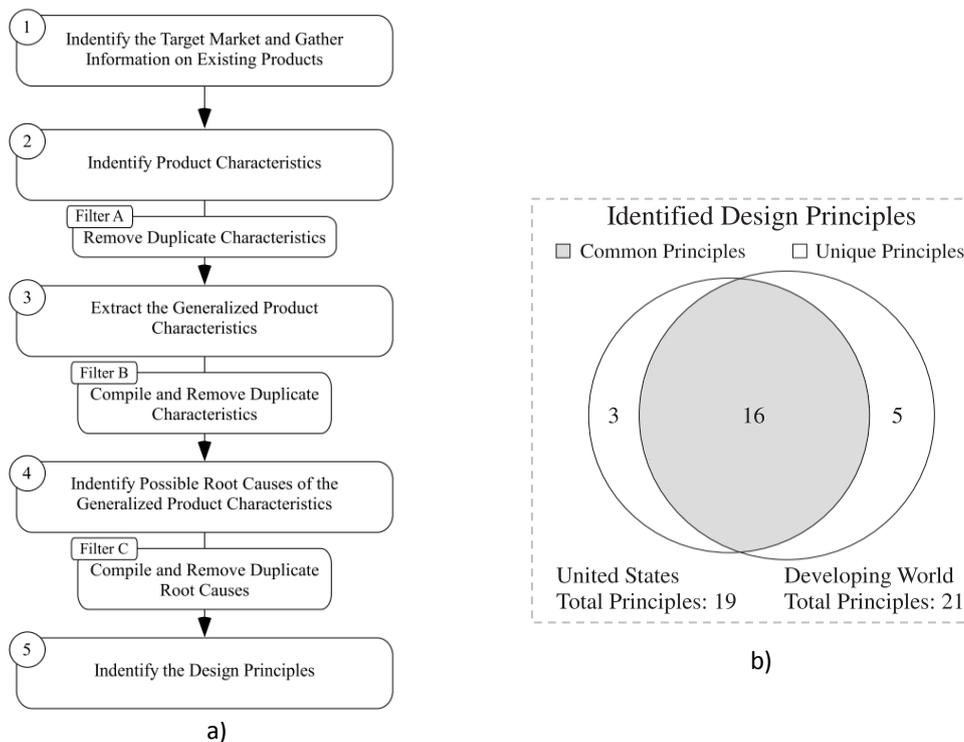


Figura 4.13. Diagrama de flujo de la metodología para identificar principios de diseño (a) y resultados obtenidos por los autores en su aplicación a sociedades desarrolladas y en desarrollo (b) (Campbell et al., 2011)

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 (Morrise, 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.

Finalmente, Sianipar et al. (2013) proponen una metodología concreta de diseño para tecnologías apropiadas basada también en las metodologías de fases (concretamente en la VDI alemana) y donde la intervención de las personas de la comunidad a la que va dirigido el producto es la clave diferenciadora. Ante una estructura básica de procedo de diseño de tecnologías apropiadas (Figura 4.14.a) estos autores proponen una estructura que involucra en todas las fases a los usuarios locales (Figura 4.14.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. La intervención de especialistas en determinados campos para casos concretos del diseño está recomendada.

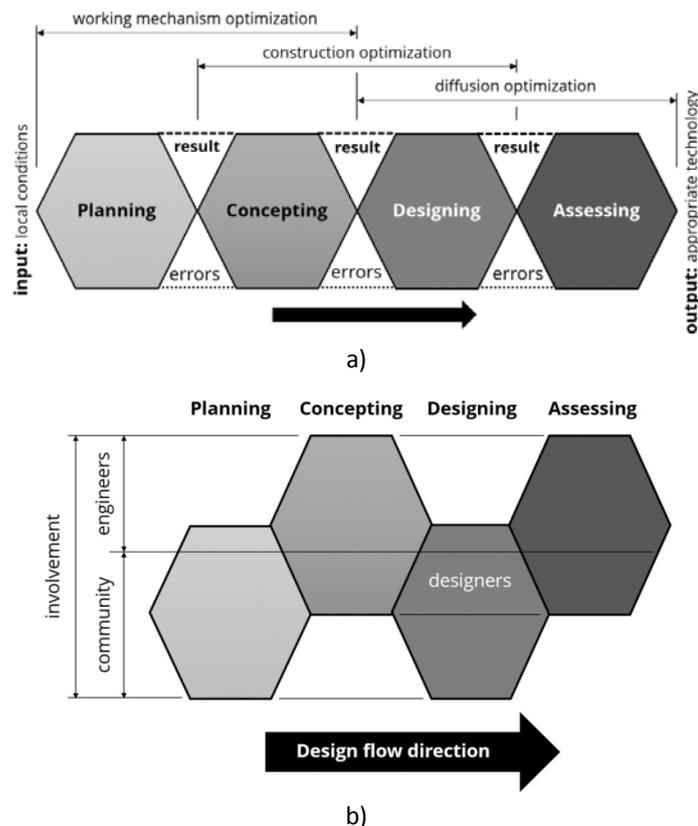


Figura 4.14. Proceso de diseño para tecnologías apropiadas básico (a) y propuesto (b) por Sianipar et al. (2013)

La metodología propuesta por estos autores divide cada etapa en diferentes pasos y en cada paso se realizan diferentes actividades. La Tabla 4.3 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.

PASO	ACTIVIDAD
Etapas 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
Etapas de conceptualización	
Escalar 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
Etapas 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
Etapas 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 4.3. Pasos y actividades de la metodología propuesta por Sianipar et al. (2013)

4.3. Métodos de decisión multicriterio

Como se ha visto en el punto anterior, una metodología para el diseño de máquinas adaptadas al contexto ha de incluir la consideración de múltiples requisitos de los usuarios y del contexto que será necesario evaluar, comparar y ponderar. Para ello será necesario utilizar un método de decisión que establezca los pasos y criterios de decisión y que permita evaluar cada requisito en función del caso concreto de diseño.

La literatura sobre metodologías de diseño de máquinas incluye, en la mayoría de ocasiones, métodos de decisión para la generación de especificaciones y para la selección de alternativas. Algunas de ellas están basada en métodos de decisión multicriterio (MCDM) que permiten comparar múltiples alternativas sin que la visión subjetiva del decisor afecte en gran medida a la decisión. Esto los hace muy adecuados para problemas de decisión complejos como la valoración de requerimientos y especificaciones en el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo.

En cuanto a la literatura referente a los métodos de decisión multicriterio diferentes autores aconsejan el uso de estos métodos para la cuantificación de la sostenibilidad y la toma de decisiones en proyectos para comunidades en de desarrollo (Cherni et al., 2007; Huang et al., 2011; Kalbar et al., 2012; Munda, 2005) y ciertos autores sostienen que éstos han de ser simples y transparentes (Garfi, Ferrer-Martí, Bonoli, & Tondelli, 2011a).

Wang et al. (2009) dividen el proceso de selección en cuatro fases: *definición de criterios, ponderación de pesos, evaluación de alternativas y agregación de resultados*. Aunque estos autores analizan estos métodos para su aplicación a la toma de decisiones en el campo de las energías renovables se considera que la propuesta de división del proceso es aplicable al caso de diseño de máquinas.

En primer lugar, la definición de criterios consiste en determinar un conjunto de criterios que, posteriormente, permitirán evaluar las alternativas. Los criterios en el caso de diseño de máquinas han de surgir del trabajo de campo y de la definición de requerimientos, necesidades y deseos de los usuarios. Una revisión de la literatura sobre criterios de adecuación de tecnologías apropiadas define 49 indicadores para evaluar la “idoneidad” de los diseños de estas tecnologías (Bauer & Brown, 2014). Los diez primeros por orden de frecuencia de aparición en la bibliografía son:

1. Intervención de la comunidad en el diseño
2. Asequibilidad
3. Conocimientos, capacidades y retroalimentación
4. Autonomía
5. Control por parte de la comunidad
6. Escalado a las condiciones
7. Materias primas
8. Adaptabilidad
9. Factores socio-culturales
10. Aceptación

Es recomendable que estos criterios de selección, en cualquier caso, cumplan con los siguientes requisitos (Afgan et al., 2000; Domenech Léga, 2013; Georgopoulou et al., 1997):

- Ser suficientes para incluir la opinión de todos los actores involucrados
- No ser demasiados como para entorpecer el llegar a un consenso
- Ser medibles y con unas diferencias bien marcadas entre sí para evitar redundancias y permitir un análisis claro y conciso

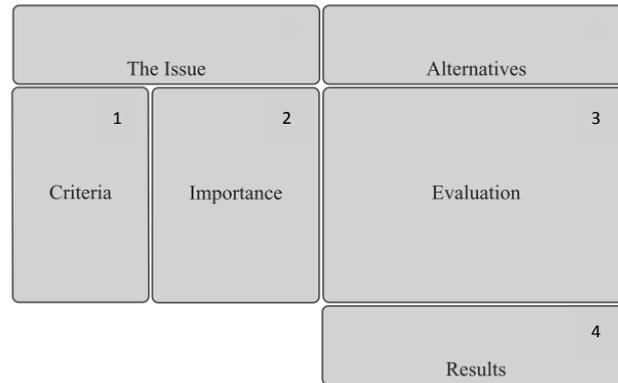
El segundo paso, la asignación de pesos a cada criterio, permite reflejar la importancia relativa del criterio respecto a los demás criterios (Wang et al., 2009). Diferentes métodos permiten realizar esta asignación: métodos de asignación directa y métodos de comparación por parejas. Los primeros tienen una gran componente subjetiva de quien los utiliza pero son sencillos de utilizar (SMART, Domenech Léga, 2013; Wang et al., 2009). Los métodos de comparación por parejas reducen la subjetividad. El más conocido es el AHP (Proceso Analítico Jerárquico), este método consiste en comparar los criterios por parejas e identificar los pesos de cada uno de ellos (Saaty, 1980). Según Garfi et al. (2011) este método es válido para evaluar proyectos en comunidades en desarrollo debido a su enfoque multidisciplinario, a su simplicidad y a su flexibilidad, que permite incluir múltiples criterios, algo esencial cuando el diseño ha de ser adaptado al contexto. El análisis realizado con este método es transparente y hace participar a diferentes actores del diseño (usuarios, intermediarios, expertos, diseñadores).

La siguiente fase, la evaluación de alternativas, consiste en valorar cada alternativa en función de cada criterio, obteniendo una matriz de valores como en el caso del método de Pugh (Figura 4.15). Existen diferentes métodos de evaluación de alternativas: suma ponderada, producto ponderado, AHP, ELECTRE, PROMETHEE (Wang et al., 2009), programación por metas o programación compromiso (Romero, 1993). Entre ellos, la programación compromiso se ha utilizado con éxito en proyectos de energía en comunidades en desarrollo (Domenech Léga, 2013), son fáciles de utilizar y entender y permiten interactuar con quien los utiliza.

Es posible que, para un mismo método aplicado por diferentes decisores o viceversa, se llegue a resultados diferentes. Por ello, es recomendable utilizar más de un método en las fases previas y, en este último paso, realizar la agregación de resultados. Con esta agregación se hacen converger las diferencias y se da robustez a la solución (Domenech Léga, 2013; Eppel, 1992; Wang et al., 2009). Los métodos más utilizados a nivel práctico suelen ser subjetivos y por votación (Domenech Léga, 2013; Klamler, 2005).

Un método basado en los métodos multicriterio y utilizado en el ámbito de diseño de máquinas es el método de Pugh o matriz de decisión (Ullman, 2010). Se utiliza principalmente para la selección entre diversas alternativas propuestas para cumplir un cierto objetivo. Es un método iterativo que propone un procedimiento para obtener una puntuación para cada alternativa. El método sigue los pasos descritos anteriormente: definición de criterios, ponderación de pesos, evaluación de alternativas y agregación de resultados, (Wang et al., 2009). Se establecen unos criterios de valoración (paso 1) y se les otorgan unos pesos (paso 2). Se compara cada alternativa con una referencia (datum) otorgando un valor para cada criterio de 0 si es similar a la referencia, 1 si es mejor o -1 si es peor (paso 3). También se pueden dar valores del 1 al 5 (del 1 al 9 requiere más dedicación y definición de cada alternativa). Multiplicando el peso de cada criterio y sumando el

resultado de cada alternativa se obtiene una clasificación de alternativas donde la de mayor puntuación es la mejor alternativa respecto a los criterios seleccionados (paso 4).



Issue: Choose a MER wheel configuration		Baseline	Cantilevered Beam	Hub Switchbacks	Spiral Flexures
Mass efficiency	35	Datum	0	0	1
Manufacturability	10		0	-1	-1
Available internal wheel volume	20		1	1	1
Stiffness	35		1	1	1
Total			2	1	2
Weighted total			55	45	80

Figura 4.15. Matriz de decisión, diagrama básico y ejemplo (Ullman, 2010)

4.4. Discusión

El análisis de la bibliografía en el campo de las tecnologías apropiadas muestra que hay una gran cantidad de definiciones y criterios referentes a este término. Tomando características y criterios de la literatura existente, en este trabajo se entenderá como máquina apropiada toda máquina que sea diseñada considerando su adaptación al contexto en términos técnicos, económicos, ambientales y socioculturales de la comunidad en que se utilizará y considerando también su sostenibilidad en el tiempo.

El análisis de las metodologías de diseño y sus aplicaciones a diseño de máquinas para comunidades en desarrollo y tecnologías apropiadas resulta en las siguientes conclusiones:

1. Los métodos prescriptivos de artefacto son métodos relativamente complejos y su uso a nivel práctico es bastante limitado por lo que no se consideran para su aplicación en esta tesis.
2. Los modelos de fases son metodologías ampliamente aplicadas en el mundo del diseño y se consideran de probada validez en la Ingeniería de Máquinas. Son metodologías simples y muy sistematizadas pero que permiten a los diseñadores amplio margen para la intuición, la creatividad y la originalidad. Las fronteras de cada etapa no son rígidas pudiéndose desarrollar tareas de diferentes fases simultáneamente, siempre con cierto orden.
3. Por los motivos anteriores, estas metodologías son las más utilizadas también en el diseño de tecnologías apropiadas. Las etapas de *definición*, *concepto*, *materialización* y *detalle* siguen

siendo válidas. Es más, debido a su amplia utilización, sencilla aplicación y probada validez 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, el panorama radicalmente diferente que presentan en muchos aspectos las comunidades en desarrollo (económico, social, cultural, recursos, infraestructuras, etc.) hace cuestionable su traducción y aplicación directa a estos contextos.

4. La adaptación de las metodologías de fases a tecnologías apropiadas se centra básicamente en la fase de definición y, en menor medida, en la de diseño conceptual del producto. El análisis del contexto, el estudio de los requerimientos de los usuarios y la correcta elaboración de las especificaciones se convierten en tareas fundamentales de las metodologías para tecnologías apropiadas.
5. Estas tareas y la obtención de su resultado implican contemplar un número elevado de criterios, priorizar su importancia y seleccionar alternativas. Los métodos de decisión multicriterio son una buena herramienta para realizar estas tareas. En el caso de su aplicación a máquinas apropiadas a comunidades en desarrollo estos procedimientos han de ser sencillos y rápidos de utilizar y han de considerar el máximo de información y de conocimiento del contexto.

5. Metodología

La metodología de trabajo que se empleará en la realización de la tesis doctoral se estructurará de la siguiente forma:

1. Análisis del estado del arte

Fase que, en parte, ya se ha llevado a cabo y que incluye la búsqueda y el análisis 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 inicial en las tecnologías apropiadas y en sus características. A partir de este análisis se amplía el estudio a bibliografía relacionada con las metodologías de diseño, metodologías de diseño aplicadas a tecnologías apropiadas y, finalmente, a los métodos de decisión multicriterio.

2. Definición de las hipótesis del método

Las conclusiones extraídas del estudio del estado del arte permitirán definir los requisitos de la metodología a desarrollar. Esta deberá cumplir las características básicas de las metodologías de diseño de máquinas:

- facilitar la búsqueda de soluciones óptimas y no confiar en la casualidad
- facilitar la aplicación de soluciones conocidas y validadas
- sencilla
- reducir la carga de trabajo, ahorrar tiempo y evitar el error humano
- facilitar la planificación y la gestión del trabajo en equipo en un proceso de desarrollo de productos integrado e interdisciplinar

Se plantearán las hipótesis de partida para su elaboración, que se centrará principalmente en:

- Las características específicas de las máquinas contempladas desde el punto de vista de las tecnologías apropiadas respecto a otros tipos de aplicaciones. Se tendrán en cuenta los aspectos analizados en el estado del arte (recogidos en la Tabla 4.1) como asequibilidad, participación de la comunidad en el diseño, autonomía, adaptabilidad o uso de recursos materiales, energéticos y humanos locales.
- Las fases iniciales de los procesos de diseño de máquinas (etapas de definición y de diseño conceptual), que se adaptarán a las tecnologías y máquinas apropiadas. Concretamente, será decisiva la fase de definición de especificaciones para las máquinas apropiadas de forma que se contemplen todos los requisitos, necesidades y deseos de los usuarios y el contexto en que trabajará la máquina.
- La aplicación o adaptación de un método multicriterio a la generación y ponderación de especificaciones así como a la selección de la alternativa de diseño más adecuada que cumpla las especificaciones más importantes en cada caso de aplicación.

3. Desarrollo de la metodología de diseño

A partir de las hipótesis de partida de la etapa anterior se desarrollará la propuesta metodológica para la definición del proceso y selección de diseño de máquinas apropiadas. Esto incluirá un nuevo planteamiento del proceso de diseño en este tipo de proyectos.

Se propone inicialmente una estructura que contemple las actividades y resultados presentados en la Tabla 5.1:

Etapas básicas (Riba, 2002)	Actividades propuestas	Resultados
ETAPA 1 DEFINICIÓN	Condicionantes del contexto	Documento de contexto
	Desarrollo de especificaciones	Especificación priorizada
ETAPA 2 DISEÑO CONCEPTUAL	Generación de soluciones conceptuales	Arquitectura de máquina
	Selección de soluciones	Estructura funcional, estructura modular

Tabla 5.1. Actividades de las etapas 1 y 2 de la metodología (propuesta inicial)

4. Aplicación y validación de la metodología de diseño. Casos de estudio

En esta fase se aplicará la metodología propuesta a casos concretos de diseño de máquinas apropiadas. Se incluirán los resultados obtenidos en experiencias de la autora en proyectos de transferencia de tecnología colaborando con ONG y entidades de cooperación y desarrollo. Se validará el método propuesto a través de estos casos reales:

- Diseño y construcción de una máquina deshojadora de mazorcas de maíz adaptada a las necesidades de los pequeños agricultores de Ecuador.
- Diseño de un teleférico accionado por gravedad para el transporte de productos agrícolas adaptado a la orografía del terreno en Nepal.

La posibilidad de realización de futuros proyectos en este ámbito puede dar la oportunidad de la aplicación de la metodología a nuevos diseños de máquinas.

Finalmente, se plantearán las conclusiones de la tesis respecto a la metodología desarrollada y se propondrán aspectos para futuras investigaciones.

5.1. Medios empleados

Para llevar a cabo la tesis se contará con la infraestructura y el soporte del Departamento de Ingeniería de Máquinas (DEM) y el Centro de Diseño de Equipos Industriales (CDEI-UPC) de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ambas entidades son expertas y cuentan con una amplia experiencia en proyectos de diseño de máquinas y el desarrollo de equipos industriales, desde la concepción, el diseño, la simulación y el cálculo, 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 posibilitarán la obtención de datos, corroborar y aplicar aspectos de la metodología.

5.2. Contribuciones esperadas

El resultado final de esta tesis es proporcionar a los ingenieros dedicados al diseño de máquinas apropiadas una metodología que permita obtener, para cubrir una necesidad concreta de una comunidad en desarrollo, la solución de diseño más sostenible posible y adecuada a las características de la comunidad, adaptada a sus necesidades, recursos y características concretas. La metodología permitirá tener en cuenta los condicionantes del contexto y priorizar su importancia para traducirlos en especificaciones técnicas para diseño de máquinas.

También permitirá seleccionar la opción de diseño más adecuada a las especificaciones y características del contexto mediante un método de decisión multicriterio adecuado y simple. Esto aportará a los ingenieros de diseño ahorro de tiempo y seguridad en la selección de alternativas de máquina.

Finalmente, se documentarán ejemplos prácticos de aplicación de esta metodología al diseño de máquinas apropiadas concreta donde se corroborará la utilidad de la herramienta y se valorarán los resultados obtenidos.

6. Plan de trabajo

A continuación se muestra una propuesta de planificación para la realización de la tesis doctoral. Se contempla un período de seis meses de análisis y ampliación de la literatura a partir de la presentación de este plan de investigación que permita orientar con más precisión las hipótesis de partida de la metodología a implementar y contemple las aportaciones del tribunal del plan de investigación.

La mayor inversión de tiempo se considera en el desarrollo de la propia metodología, doce meses, a partir de la cual se comenzará la validación y aplicación a casos de estudio en diseño de máquinas apropiadas.

La redacción de la tesis se realizará en paralelo y a medida que se avance en cada etapa de desarrollo. Se espera realizar su depósito y presentación a final del año 2017.

ACTIVIDAD	2014	2015	2016	2017
Plan de investigación	■			
Estudio estado del arte	■	■		
Definición de hipótesis del método		■		
Desarrollo del procedimiento y metodología		■	■	
Validación. Aplicación metodología casos de estudio			■	
Conclusiones y propuestas de investigación futuras			■	■
Redacción de la tesis		■	■	■
Presentación y defensa de la tesis				■

Tabla 6.1. Planificación para la elaboración de la tesis doctoral

7. Referencias

- Afgan, N. H., Carvalho, M. G., & Hovanov, N. V. (2000). Energy system assessment with sustainability indicators. *Energy Policy*, 28(9), 603–612. doi:10.1016/S0301-4215(00)00045-8
- Akubue, A. (2000). Appropriate technology for socioeconomic development in Third-World countries. *The Journal of Technology Studies: An E-Journal*, 26(1).
- Aliu, S., & Eburnilo, P. (2012). Development and Performance Evaluation of a Cocoa Pod Breaking Machine. *Advanced Materials Research*, Volume 367, 1–2. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.367.725
- Banco Mundial. (2014a). *Informe anual 2014*.
- Banco Mundial. (2014b). *Informe sobre el desarrollo mundial*.
- 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. doi:10.1115/DETC2013-12219
- Bauer, A. M., & Brown, A. (2014). Quantitative Assessment of Appropriate Technology. *Procedia Engineering*, 78, 345–358. doi:10.1016/j.proeng.2014.07.076
- Bowonder, B. (1979). Appropriate technology for developing countries: Some issues. *Technological Forecasting and Social Change*, 15(1), 55–67. doi: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.
- Campbell, R., Lewis, P. K., & Mattson, C. A. (2011). A method for identifying design principles for the developing world. In *ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference* (p. 8). Washington.
- Cherni, J. A., Dyer, I., Henao, F., Jaramillo, P., Smith, R., & Font, R. O. (2007). Energy supply for sustainable rural livelihoods. A multi-criteria decision-support system. *Energy Policy*, 35(3), 1493–1504. doi:10.1016/j.enpol.2006.03.026
- 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.

- Domenech Léga, B. (2013). *Metodología para el diseño de sistemas de electrificación autónomos para comunidades rurales*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Dunmade, I. (2002). Indicators of sustainability: assessing the suitability of a foreign technology for a developing economy. *Technology in Society*, 24(4), 461–471. doi:10.1016/S0160-791X(02)00036-2
- Dunn, P. (1978). *Appropriate technology: Technology with a human face*. New York: Schoken Books.
- Eppel, T. (1992). Description and procedure invariance in multiattribute utility measurement. *Chool of Management, Purdue University*. Purdue University School of Management: West Lafayette, IN.
- Farias, P., Aca, J., Molina, A., Maury, H., & Riba, C. (2006). Evolución de los modelos del proceso de diseño. In *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora* (pp. 21–36). Barcelona: Edicions UPC.
- 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.
- French, M. J. (1997). *Engineering Design, The Conceptual Stage*. London: Heinemann.
- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Bonoli, A., & Tondelli, S. (2011a). Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 665–75. doi:10.1016/j.jenvman.2010.10.007
- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Bonoli, A., & Tondelli, S. (2011b). Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 665–75. doi:10.1016/j.jenvman.2010.10.007
- Georgopoulou, E., Lalas, D., & Papagiannakis, L. (1997). A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 38–54. doi:10.1016/S0377-2217(96)00263-9
- Hollick, M. (1982). The appropriate technology movement and its literature: A retrospective. *Technology in Society*, 4(3), 213–229. doi:10.1016/0160-791X(82)90019-7
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *The Science of the Total Environment*, 409(19), 3578–94. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.06.022

- Hyman, E. L. (1987). the Identification of Appropriate Technologies for Rural Development. *Impact Assessment*, 5(3), 35–55. doi: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. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.367.739
- Jequier, N. (1976). *Appropriate technology. Problems and promises*. OECD.
- Jéquier, N., & Blanc, G. (1983). *The world of appropriate technology. A quantitative analysis*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Developmen.
- Kalbar, P. P., Karmakar, S., & Asolekar, S. R. (2012). Selection of an appropriate wastewater treatment technology: a scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, 113, 158–69. doi:10.1016/j.jenvman.2012.08.025
- Kaplinsky, R. (2011). Schumacher meets Schumpeter: Appropriate technology below the radar. *Research Policy*, 40(2), 193–203.
- Klamler, C. (2005). On the Closeness Aspect of Three Voting Rules: Borda – Copeland – Maximin. *Group Decision and Negotiation*, 14(3), 233–240. doi:10.1007/s10726-005-0958-3
- 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.
- León Duarte, J. A. (2006, October 6). *Metodología para la detección de requerimientos subjetivos en el diseño de producto*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Lewis, P. K., & Murray, V. R. (2010). An engineering design strategy for reconfigurable products.
- Manuwa, S. I., Ademosun, O. C., Agbetoye, L. A., & A., A. (2011). DEVELOPMENT OF OUTDOOR SOIL BIN FACILITY FOR SOIL TILLAGE DYNAMICS RESEARCH. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 19(1), 1–8.
- 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. doi:10.1115/1.4027984
- Mazzù, A. (2010). Design of a Press for Densification of Waste Biomass in Developing Countries. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2–3.
- 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.
- 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.

- Munda, G. (2005). "Measuring Sustainability": A Multi-Criterion Framework. *Environment, Development and Sustainability*, 7(1), 117–134. doi:10.1007/s10668-003-4713-0
- Naciones Unidas. (2001). *Guía general para la aplicación de la Declaración del Milenio*. New York.
- Naciones Unidas. (2014). *Objetivos de desarrollo del milenio. Informe 2014*. New York.
- Olaniyan, A., & Babatunde, O. (2012). Development of a Small Scale Sugarcane Juice Extractor Using a Screw Pressing System. *Advanced Materials Research*, 367, 699–709. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.367.699
- Otto, K., & Wood, K. (2001). *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. Prentice Hall.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (2007). *Engineering design: a systematic approach* (3rd ed.). Springer.
- 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. doi:10.1016/j.renene.2013.07.017
- PNUD. (2001). *Informe sobre desarrollo humano 2001. Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*.
- Practical Action. (n.d.). Retrieved from <http://www.practicalaction.org/>
- Pugh, S. (1991). *Total design. Integrates methods for successful product engineering*. Wokingham: Addison Wesley.
- 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. doi:10.1016/j.esd.2012.08.006
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid: Alianza Editorial.
- 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.

- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation*. New York: McGraw-Hill.
- Schumacher, E. (1978). *Lo pequeño es hermoso*. Madrid: H. Blume.
- Sianipar, C. P. M., Dowaki, K., Yudoko, G., & Adhiutama, A. (2013). 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. doi:10.3390/su5083382
- Soluciones prácticas. (n.d.). Retrieved from <http://www.solucionespracticas.org.pe/>
- 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. doi:10.1016/0040-1625(78)90018-5
- Thomas, H. (2009). De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. Conceptos/estrategias/diseños/acciones. In *en: 1a Jornada sobre Tecnologías Sociales* (pp. 1–37). Buenos Aires: Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales (PROCODAS), Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. D. (2000). *Product design and development*. Boston: McGraw-Hill.
- VDI. (1986). Guideline 2221 - Systematic approach to the design of technical systems and products. VDI-Verlag.
- Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., & Zhao, J.-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263–2278. doi:10.1016/j.rser.2009.06.021
- 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. doi:10.1016/S0160-791X(98)00022-0