

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

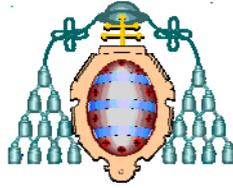
PROGRAMA DE DOCTORADO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y
FABRICACIÓN EN LA INGENIERÍA

TESIS DOCTORAL

ELABORACIÓN DE METODOLOGÍA BASADA EN LA
ERGONOMÍA DE PRODUCTO Y ECODISEÑO APLICADA AL
MOBILIARIO ESCOLAR. VALIDACIÓN METODOLÓGICA DEL
PRODUCTO

Gustavo Adolfo Rosal López

2011



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

PROGRAMA DE DOCTORADO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y
FABRICACIÓN EN LA INGENIERÍA

TESIS DOCTORAL

ELABORACIÓN DE METODOLOGÍA BASADA EN LA
ERGONOMÍA DE PRODUCTO Y ECODISEÑO APLICADA AL
MOBILIARIO ESCOLAR. VALIDACIÓN METODOLÓGICA DEL
PRODUCTO

Gustavo Adolfo Rosal López

Directores de la Tesis:

Prof. Dr. D. Francisco José Suárez Domínguez

Prof. Dr. D. Ángel Martín Rodríguez

2011

A mi familia

«El que da, no debe volver a acordarse; pero el que recibe nunca debe olvidar»

(Proverbio hebreo)

AGRADECIMIENTOS

Muchas son las personas que han hecho posible la realización de este trabajo, por lo que si me dejo a alguien, que me perdone.

Como supervisores, orientadores e incluso «animadores» quisiera agradecer primeramente la labor realizada por mis directores de tesis, D. Francisco José Suárez Domínguez y D. Ángel Martín Rodríguez.

A todos los integrantes del equipo humano de SINERCO (Jose, Laura, Noé, Placer, Raquel y Sara). En especial a Laura, que sin su insistencia y buen hacer, hubiera sido muy difícil el poder acabar este trabajo.

A la paciencia que ha tenido en todo este tiempo mi familia, en especial mi mujer Cristina, ya que sólo quitando tiempo de dedicación a ellos ha sido posible la realización de esta tesis.

Y para finalizar y de forma muy especial a mi hermana Andrea, mi padre Jose Antonio y mi madre Isabel. Sinceramente, sin ellos, esta tesis no se hubiera ni empezado: **GRACIAS**.

RESUMEN

En los últimos años, el interés por la ergonomía y el medioambiente ha crecido de una manera significativa en todos los órdenes de la vida. El diseño no iba a ser la excepción, apareciendo de este modo en esta época metodologías y herramientas específicas para cada una de estas disciplinas. Sin embargo, tras un exhaustivo estudio bibliográfico, se ha detectado la necesidad de una metodología de diseño de producto aglutinadora, capaz de considerar las necesidades ergonómicas y medioambientales de forma conjunta.

En la presente tesis doctoral se propone una metodología de diseño que sigue un esquema centrado en el usuario y que consigue integrar ergonomía y ecodiseño, dentro de su esquema general, mediante la utilización de herramientas y técnicas propias de estas dos disciplinas. Además se trata de una metodología de aplicación relativamente sencilla, de modo que se pueda utilizar en la práctica cotidiana del diseño y no sólo en grandes empresas o con productos de alta componente tecnológica. A esta metodología se le denomina la *Llave del Diseño*.

Por otro lado, y como caso de validación de la metodología, se ha optado por aplicarla de forma particular en el diseño de un mobiliario escolar, producto éste con evidentes deficiencias ergonómicas y medioambientales. Así las bondades y maldades de la *Llave del Diseño* han sido analizadas en un proyecto real de diseño de mobiliario escolar para niños de primaria, cuyo fruto final ha sido el pupitre *Tris-Tras*.

Para finalizar este trabajo, se extraen una serie de conclusiones relativas al empleo de esta nueva metodología, sugiriendo posibles líneas futuras de investigación en este campo.

ABSTRACT

In recent years, interest in ergonomics and the environment has grown in a significant way in all areas of life. Design was not going to be an exception, thus in recent years different methodologies and specific tools for each of these disciplines have appeared. However, after a thorough literature review, the need for an agglutinative product design methodology has been identified. This methodology must be able to consider ergonomic and environmental needs together.

In this thesis a design methodology that follows a user-centered scheme and is able to integrate ergonomics and eco-design, into its overall scheme, using tools and techniques of these two disciplines is proposed. Furthermore, it is a relatively simple implementation methodology, so that it can be used in daily design practice and not just by big companies or with products with high technological components. This methodology is called *The Key to Design*.

On the other hand, and in order to validate the methodology, the decision was taken to apply it in the design of school furniture, which is a product with obvious environmental and ergonomic deficiencies. So the benefits and drawbacks of *The Key to Design* have been tested in a real project design of school furniture for primary school children, whose final result was the school desk called *Tris-Tras*.

To complete this project, a series of conclusions are drawn regarding the use of this new methodology, suggesting possible future research in this area.

ÍNDICE

Agradecimientos	I
Resumen.....	III
Abstract.....	V
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Ergonomía	2
1.2.1. Ergonomía y diseño de productos	6
1.3. Ecodiseño	7
1.3.1. Ecodiseño y diseño de mobiliario	10
1.4. Desajuste niños-mobiliario escolar	14
1.5. El mobiliario escolar en el último siglo	17
1.6. Nuevas tendencias de mobiliario escolar	27
1.7. Objetivos	36
2. ESTADO DEL ARTE.....	39
2.1 Historia de la Metodología del Diseño.....	40
2.2 Metodología de Diseño Industrial.....	46
2.2.1 Definición Estratégica	47
2.2.2 Diseño de Concepto	49
2.2.3 Diseño de Detalle	50

2.2.4	Ensayo y Verificación.....	51
2.2.5	Producción	52
2.2.6	Lanzamiento y Comercialización.....	53
2.2.7	Fin de Ciclo de Vida	54
2.3	Herramientas ergonómicas para el diseño	55
2.3.1	Cuestionario	55
2.3.2	Entrevista	56
2.3.3	Fuentes de información.....	57
2.3.3.1	Catálogos comerciales	57
2.3.3.2	Catálogos técnicos	58
2.3.3.3	Manuales de instrucciones	58
2.3.3.4	Estudios de mercado, publicaciones científicas.....	58
2.3.3.5	Normativa legal o técnica	59
2.3.3.6	Patentes y Modelos de Utilidad	59
2.3.4	Proyección de expectativas	60
2.3.5	Software de simulación.....	60
2.3.6	Antropometría y Biomecánica	61
2.3.7	Registros electrofisiológicos.....	63
2.3.8	Mediciones de ambiente físico.....	64
2.3.9	Observación	65
2.3.10	Pruebas de usabilidad.....	66
2.4	Herramientas de análisis ambiental para el diseño	67
2.4.1	Listas de Comprobación (LC).....	68
2.4.2	La Rueda Estratégica del Ecodiseño.....	69

2.4.3	Evaluación del Cambio de Diseño (ECD).....	73
2.4.4	Intensidad Material por Unidad de Servicio (MIPS)	73
2.4.5	Demanda Acumulada de Energía (DAE).....	74
2.4.6	Matriz MET.....	74
2.4.7	Ecoindicadores	75
2.4.8	Análisis del Ciclo de Vida (ACV).....	76
2.4.9	Utilización de las técnicas de ecodiseño	77
3.	METODOLOGÍA DE DISEÑO. <i>LA LLAVE DEL DISEÑO</i>	81
3.1	Introducción	81
3.1.1	Usuario	81
3.1.2	Producto	82
3.1.3	Contexto	84
3.2	Metodología	84
3.2.1	Fase 1: Definición estratégica	86
3.2.2	Fase 2: Diseño del concepto.....	90
3.2.3	Fase 3: Diseño de detalle.....	92
3.2.4	Fase 4: Ensayo y verificación.....	94
3.2.5	Fase 5: Producción	95
3.2.6	Fase 6: Lanzamiento y Comercialización	96
3.2.7	Fase 7: Fin de ciclo de vida.....	100

4.	CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE MOBILIARIO <i>TRIS-TRAS</i>	103
4.1	Introducción	103
4.2	<i>La Llave del Diseño</i>	104
4.2.1	Definición estratégica	104
4.2.2	Diseño de concepto	108
4.2.3	Diseño de detalle	115
4.2.4	Ensayo y verificación	122
4.2.4.1	Antes del uso y conocimiento del nuevo mobiliario	123
4.2.4.1.1	Sesión fotográfica	123
4.2.4.1.2	«Una silla es una silla»	125
4.2.4.1.3	Realización de sus propias fotografías	126
4.2.4.2	Primera evaluación biomecánica	127
4.2.4.3	Cuestionario valorativo de los alumnos	131
4.2.4.4	Informe valorativo de los profesores y del personal de limpieza	132
4.2.4.5	Recomendaciones de mejora ergonómica	133
4.2.4.6	Segunda evaluación biomecánica	135
4.2.5	Producción	136
4.2.5.1	Justificación económica	137
4.2.6	Lanzamiento y comercialización	139
4.2.7	Fin de ciclo de vida	140
5.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	143
5.1	Conclusiones	143
5.2	Líneas futuras de trabajo	144
6.	BIBLIOGRAFÍA	147
	ANEXO I. DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LA POBLACIÓN INFANTIL	153

ANEXO II. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN BIOMECÁNICA	165
ANEXO III. CUESTIONARIO VALORATIVO DE LOS ALUMNOS	169
ANEXO IV. PARÁMETROS A MODIFICAR POR EL CAMBIO DE NORMA	175
ANEXO V. IMÁGENES DESCRIPTIVAS DEL TRIS-TRAS	179
LISTA DE TABLAS	193
LISTA DE FIGURAS	195

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes

El mobiliario escolar afecta a las posturas de los niños, a su comodidad, a su salud y a su capacidad de aprendizaje. Diferentes estudios muestran que los niños están sentados entre el 60% y el 80% del tiempo que pasan en la escuela^[1] y constituyen, junto con los trabajadores de oficina, el colectivo de personas que pasan más horas al día realizando tareas sedentarias. Si además se tienen en cuenta otras tareas que realizan fuera de los centros educativos, como estudiar en casa, manejar el ordenador o realizar diferentes actividades de ocio en el hogar (videojuegos, televisión...), resulta que muchos de los hábitos sedentarios de los adultos se inician a una edad temprana. Por otra parte, hay que tener en cuenta que un porcentaje elevado de lo que hoy es población escolar, una vez finalizados sus estudios, continuará realizando tareas sedentarias al incorporarse a puestos de trabajo en una oficina.

Sin embargo, mientras que el mobiliario de oficina destinado para adultos está diseñado con altas prestaciones ergonómicas, el escolar, dirigido a niños en fase de crecimiento y con dimensiones corporales heterogéneas incluso en el mismo grupo de edad, no está dotado de las prestaciones del primero (respaldos abatibles y regulables, regulación de altura, acolchados...).

Además, los supuestos comunes sobre lo que es «ergonómicamente» adecuado para adultos puede no ser apropiado para los niños, puesto que éstos están creciendo y desarrollándose, mientras que un adulto está en proceso degenerativo. Las diferencias entre niños y adultos se dan tanto a nivel físico, como cognoscitivo, emocional y de perspectiva^[2].

Las investigaciones indican que muchos escolares se sientan en unos pupitres que no se ajustan a ellos de forma adecuada. Existen evidencias de algunos efectos negativos asociados a la utilización de mobiliario que no se adapta a las dimensiones antropométricas básicas, como es el mayor riesgo de padecer dolores en distintas partes del cuerpo, de manera especial en espalda y cuello^[3]. Se han identificado tres aspectos del diseño del mobiliario como causantes fundamentales de los dolores y molestias en la espalda: la altura del asiento, la altura del respaldo y la posición del respaldo^[4].

Aunque existe una abundante información técnica sobre los mínimos dimensionales que debe cumplir este tipo de muebles, las normas existentes siguen un enfoque excesivamente antropométrico y no se contempla el mobiliario escolar como un elemento con el que el alumno interactúa, desarrollando diferentes actividades, sino como un soporte corporal para actividades estáticas y pasivas.

Así, la importancia de un correcto diseño del mobiliario escolar se justifica por dos razones^[5]:

- a) A corto plazo, el incremento de comodidad y bienestar obtenido por el diseño redundará en un mayor rendimiento en las tareas desarrolladas en el ámbito escolar.
- b) A largo plazo, resulta de gran importancia proporcionar confort y facilitar una postura fisiológica a sujetos en crecimiento, para evitar el desarrollo posterior de vicios posturales.

Ni que decir tiene, que el mobiliario escolar tampoco se caracteriza por cumplir los requerimientos medioambientales exigidos actualmente por la sociedad. Es decir, en la mayoría de los casos, los materiales utilizados no son respetuosos con el medio ambiente, los tratamientos superficiales aplicados son tóxicos, sus piezas son de difícil montaje, el empaquetado del mobiliario conlleva el uso de una gran cantidad de espacio... Por tanto, las empresas del sector del mueble, se encuentran actualmente ante un gran número de factores motivantes para la inclusión de los aspectos ambientales en sus actividades de fabricación de mobiliario escolar: sensibilidad social, mercado fuertemente competitivo, presiones legislativas...

1.2. Ergonomía

La primera aproximación al concepto de ergonomía suele ser la etimológica. El término se deriva de las palabras griegas «érgon», que significa trabajo, fuerza, y «nómos», ley, por lo que literalmente significa «ley del trabajo».

La Ergonomía o Ingeniería del Factor Humano, tal como se conoce en Norteamérica, es una ciencia aplicada que tiene por objeto conocer las capacidades y limitaciones humanas, para

poder aplicarlas en la mejor interacción de las personas con los productos, los sistemas o los entornos que nos rodean.

La Ergonomics Society¹ especifica que la Ergonomía es un enfoque que pone las necesidades y capacidades humanas como foco del diseño de sistemas tecnológicos. Su propósito es asegurar que los humanos y la tecnología trabajen en completa armonía, manteniendo los equipos y las tareas de acuerdo con las características humanas. Por tanto, se puede definir la Ergonomía como «la ciencia de carácter multidisciplinar, que estudia las características, necesidades, capacidades y habilidades de los seres humanos, analizando aquellos aspectos que afectan al entorno artificial construido por el hombre relacionado directamente con los actos y gestos involucrados en toda actividad de éste».

Por otra parte, la Asociación Internacional de Ergonomía (IEA) la define como «aquella disciplina científica que tiene como objetivo esclarecer las interacciones entre los seres humanos y demás elementos de un sistema, y la profesión que aplica principios teóricos, datos y métodos para diseñar optimizando el bienestar humano y el rendimiento global del sistema productivo».

Aunque las primeras investigaciones fueron llevadas a cabo muchos años antes, la ergonomía se originó aproximadamente en la Segunda Guerra Mundial, cuando los científicos diseñaban todavía por aquel entonces sistemas nuevos, avanzados y potencialmente mejorados sin considerar a las personas que los iban a utilizar. Poco a poco se hizo evidente que los sistemas y productos tenían que ser diseñados teniendo en cuenta los factores humanos y ambientales para poder así ser usados con seguridad y eficacia. Esta toma de conciencia de la necesidad de adecuar los sistemas, entornos o productos a las personas dio lugar a la disciplina de la Ergonomía.

Si el objeto principal de estudio de la Ergonomía es el ser humano, una de sus principales características es su naturaleza multidisciplinar. Muchas son las «ciencias fuente» de las que se nutre para poder fijar sus principios básicos: Medicina, Psicología, Sociología, Ingenierías...

¹ La Ergonomics Society es la Asociación profesional de ergonomía del Reino Unido, y ha sido la primera Asociación de Ergonomía, creada en 1949.

Esta característica hace también posible, por otra parte, que sus campos de aplicación sean complementarios y muy variados. Esos campos pueden ser agrupados desde diferentes criterios, según se muestra en la siguiente tabla.

CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ERGONOMÍA	
Prevención de Riesgos Laborales	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgos ergonómicos y psicosociales. - Accidentes y seguridad. Factor humano. - Seguridad en máquinas. - Cultura preventiva y gestión de la prevención.
Diseño: usos múltiples y discapacidad	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicaciones antropométricas y biomecánicas. - Diseños y accesos para discapacitados. - Adaptación de sistemas de trabajo.
Ergonomía cognitiva	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de interfaces. Elaboración de guías de diseño de interfaz. - Usabilidad. Intervenciones y evaluación. - Simulación. Desarrollo de simuladores y prototipos. - Diseño, selección y ubicación de los dispositivos de presentación de la información y controles. - Diseño de las salas de control y pupitres.
Ergonomía y Ofimática	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño y desarrollo del software. - Diseño de espacio de trabajo y mobiliario. - Diseño y disposición de las PDVs y de los periféricos. - Síndrome del edificio enfermo.
Ergonomía ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Ergoacústica. Ruido y señales acústicas, inteligibilidad. - Ambientes climáticos. - Visibilidad e iluminación. - Vibraciones en el espacio de trabajo y en el uso de herramientas electromecánicas.
Ergonomía judicial	<ul style="list-style-type: none"> - Investigaciones de peritos. Análisis de trabajo y discapacidad. - Ergonomía forense. Reconstrucción de accidentes. - Enfermedades profesionales originadas por factores de riesgo ergonómico. - Responsabilidad de productos no ergonómicos. Causalidad de las lesiones.

(Continúa en la página siguiente)

(Viene de la página anterior)

Fiabilidad humana	<ul style="list-style-type: none"> - Error y fiabilidad humana. Análisis del error. - Intervención sobre los factores humanos. - Integración de los factores humanos en la seguridad de los sistemas. Evaluación de la fiabilidad.
Diseño industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación de mercado y usuarios. - Diseño y especificaciones para mobiliario, accesorios e instrumental. - Manual de instrucciones del producto. - Exigencias y guías para el consumidor.
Gerencia y Ergonomía	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de recursos humanos. Gestión de competencias. - Cambios en la gestión; análisis de costes y beneficios. - Análisis de la carga de trabajo. - Política y práctica ergonómica.

Tabla 1.1. Campos de aplicación de la Ergonomía^[6]

Por otra parte, la Ergonomía es una herramienta que aporta importantes ventajas competitivas a las empresas que la aplican. Se pueden destacar las siguientes:

- En la mayoría de las ocasiones, en un mercado caracterizado por la gran competitividad existente entre las distintas empresas, un aumento innegable del valor añadido del diseño.
- Acceso a mercados o sectores más exigentes y concienciados de la importancia que tiene la Ergonomía para la mejora de la salud de las personas.
- Mejora de la capacidad innovadora y la imagen de sus productos.
- Ayuda al cumplimiento de las posibles legislaciones existente al respecto.
- Un acercamiento, e incluso superación, de las expectativas del cliente.
- Ahorro de costes, al evitar la puesta en el mercado de productos no adaptados a los usuarios y que deban ser rediseñados.

- Mejora de la funcionalidad de sus productos, lo que trae consigo un aumento de la población usuaria.
- Aumento del conocimiento del producto y mejora del proceso de desarrollo de nuevos productos.

1.2.1. Ergonomía y diseño de productos

Mobiliario, herramientas manuales, electrodomésticos...: lo ergonómico constituye una cualidad que está presente cada vez con más fuerza entre las que se exigen a los productos que se emplean en la vida cotidiana, pero los usuarios muchas veces no saben lo que significa este término o qué hay de cierto en las etiquetas que lo incluyen. Resulta fácil encontrar referencias a lo ergonómico en todo tipo de productos de uso y consumo masivo: sillas, camas, bolígrafos... Ya hemos dicho que la Ergonomía añade valor a todo tipo de productos: los de uso múltiple dirigido a amplios mercados con evidentes diferencias físicas y culturales; aquellos que combinan usabilidad (medida en que un producto puede ser usado por usuarios específicos para conseguir objetivos concretos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un determinado contexto) con multifuncionalidad y eficiencia u otros fabricados para colectivos específicos (zurdos, niños, ancianos, discapacitados...). El ergónomo también colabora con el diseñador en la concepción de útiles más adaptados al trabajo y al trabajador y menos peligrosos (cuchillos, pequeños electrodomésticos...)

La metodología del diseño de productos es un proceso constituido por las etapas que se muestran en la Tabla 1.2. Como se puede observar en la tabla anterior, en muchas metodologías de diseño de productos Ergonomía forma parte en exclusiva de la segunda etapa de la metodología de diseño; es decir, es una disciplina considerada en la propia fase de diseño del producto como una manera de poder adecuar lo más posible éste a las necesidades de los usuarios. No obstante, cabe destacar el hecho de que su aportación puede ser necesaria en el resto de etapas.

ETAPAS	
1. Planificación	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de mercado. - Definición del perfil del potencial usuario. - Análisis de los productos competidores. - Condiciones de uso. - Análisis de la normativa, legal y técnica. - Documentos con prescripciones del producto.
2. Diseño	<ul style="list-style-type: none"> - Asignación de tareas y funciones del producto. - Análisis de tareas realizadas por el usuario. - Análisis técnico. - Incorporación de especificaciones ergonómicas. - Diseño CAD. - Maquetas, simulaciones, modelos. - Prototipos.
3. Ensayo y verificación	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas con prototipos. - Modificaciones. - Verificación.
4. Fabricación	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinaria y herramientas. - Montaje. - Documentación.
5. Comercialización	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución y venta. - Análisis de usuarios. - Revisiones.

Tabla 1.2. Etapas del diseño ergonómico^[7]

1.3. Ecodiseño

Cada día existe, a todos los niveles, una mayor toma de conciencia con relación al medio ambiente. Esta preocupación también ha llegado al mundo del diseño de productos, con el desarrollo de diferentes normativas y legislaciones: sistemas de gestión, ecoetiquetas... Para dar respuesta a estos problemas surge el ecodiseño: una metodología para el proyecto de productos industriales que tienen en cuenta al medio ambiente. Se trata de incluir la variable medioambiental como un factor adicional a otro tipo de factores que, en mayor o menor medida,

se están ya teniendo en cuenta; como son la calidad, la estética, la funcionalidad, los costes, la seguridad o la ergonomía.

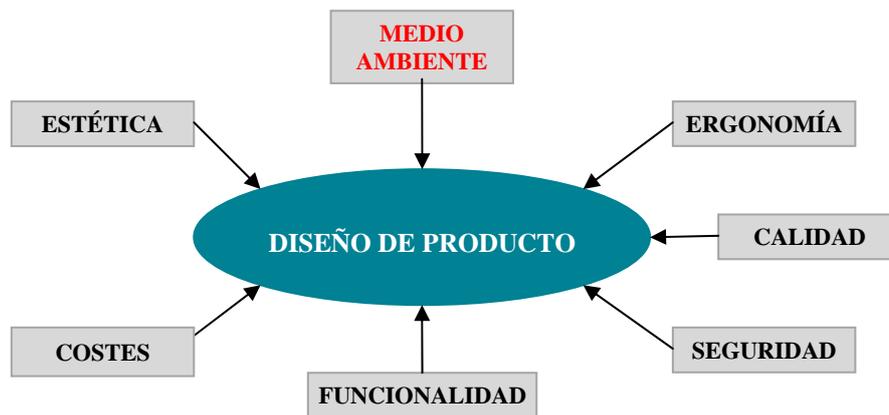


Figura 1.1. Factores a considerar en el diseño de un producto^[8]

De este modo, el ecodiseño es el proceso de proyectar productos y sistemas de productos para minimizar los impactos ambientales sobre el ciclo de vida total del artículo^[8]. La mayoría de los impactos ambientales están localizados en la etapa del diseño, que es cuando se toman las decisiones clave en relación con materiales a emplear, métodos de fabricación y normas de uso y manejo. Además, si se dirige el estudio de los impactos ambientales hacia la etapa del diseño, se pueden encontrar soluciones que no sólo sean positivas, medioambientalmente hablando, sino también efectivas en cuanto a su coste de producción.

El diseño de productos se relaciona directamente con el entorno, puesto que de él se extraen materias primas y energía; a la vez que en él se vierten los residuos y emisiones que se generan. Esto no sólo ocurre durante la etapa de obtención del producto, sino a lo largo de todo el ciclo vital del mismo; es decir, desde la extracción de los componentes y materias necesarios para su fabricación, hasta la eliminación del producto una vez desechado por el usuario y una vez que ha concluido su vida útil. Se pasa, por tanto, de una concepción basada en el producto a un

nuevo enfoque en el que se tiene en cuenta el «sistema del producto», considerando todo aquello que se relaciona con la manufactura a lo largo de todas sus etapas: materias primas, procesos, consumibles, consumos, embalajes... En la Figura 1.2. se esquematizan las fases que comprenden el ciclo de vida de un producto.

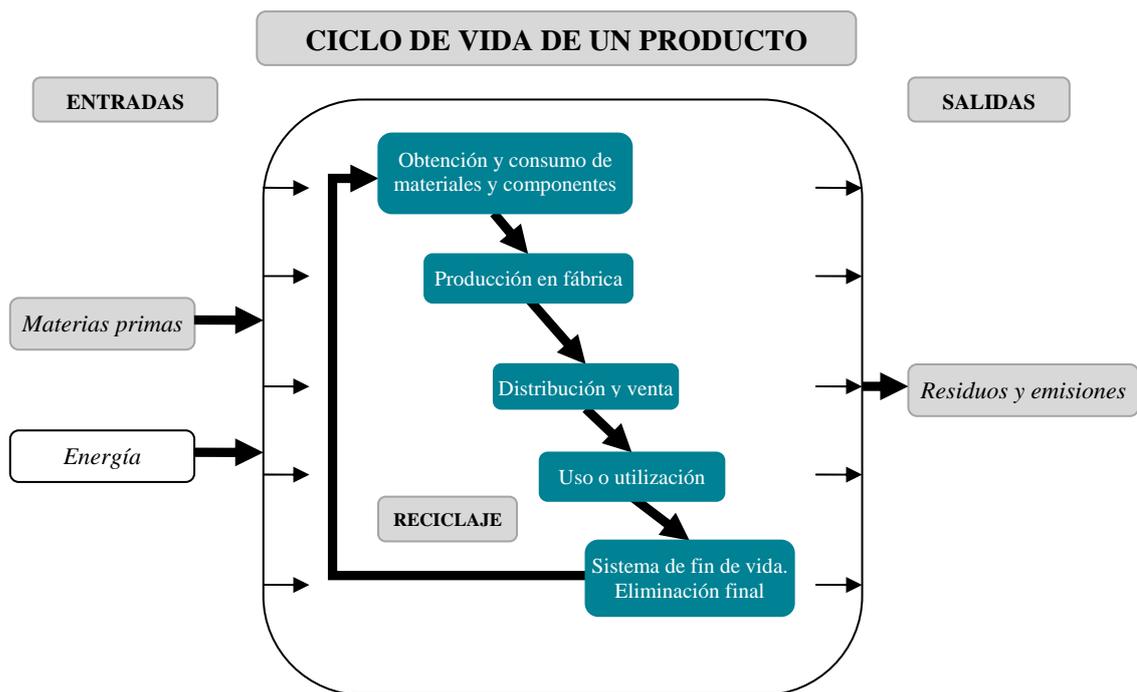


Figura 1.2. Ciclo de vida de un producto^[9]

El ecodiseño se plantea como una metodología capaz de identificar, de un modo claro, las entradas y salidas del proceso que suponen un impacto ambiental a lo largo de toda la vida del producto para poder posibilitar su minimización. El ecodiseño no persigue una ruptura con las fases del diseño tradicional, sino que, basándose en las mismas, incorpora estos nuevos aspectos. En la siguiente figura se muestra un esquema de cómo complementa las etapas del diseño tradicional.

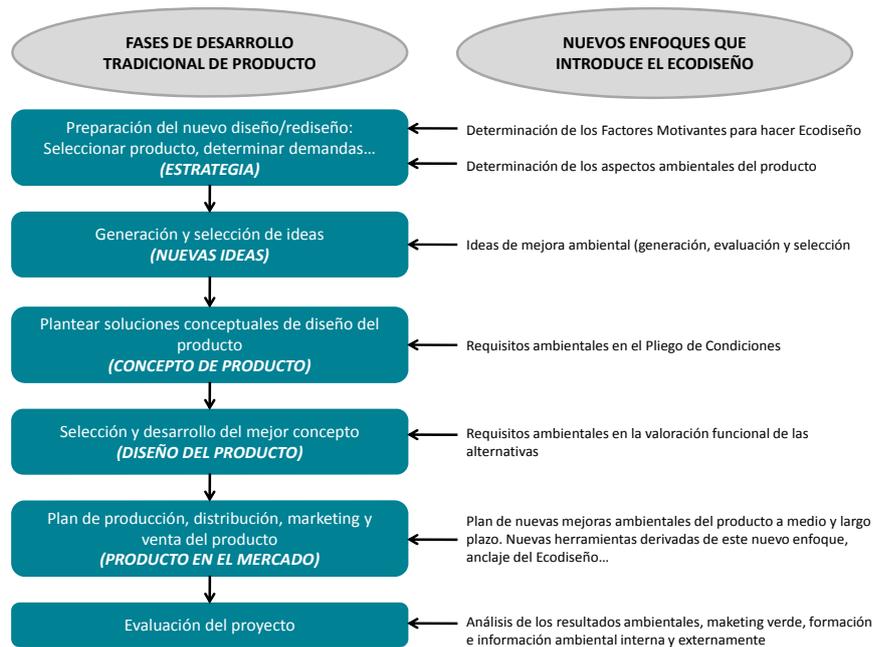


Figura 1.3. Relación del ecodiseño con las etapas del diseño tradicional^[8]

1.3.1. Ecodiseño y diseño de mobiliario

Para reducir el impacto ambiental en el diseño del mobiliario no sólo hay que tener en cuenta la especificación de materiales, sino también otras características como son la durabilidad o el tipo de diseño.

Al contrario que otros bienes de consumo, los muebles no consumen (generalmente) recursos en la etapa de uso dentro del ciclo de vida útil^[10]. La mayoría de los impactos ambientales del mobiliario se producen durante el proceso de fabricación. La selección del tipo de materiales, las cantidades de materiales utilizadas y los procesos de producción utilizados contribuyen, todos en gran medida, a la carga ambiental. Pero, aunque la fase de utilización del mobiliario tiene una carga ambiental comparativamente más baja, también hay cuestiones que deben ser consideradas, dependiendo fundamentalmente de los materiales y los recubrimientos

seleccionados, debido al «*off-gassing*²»^[11]. En la Figura 1.4. se muestra un esquema del impacto típico en el ciclo de vida del mobiliario, donde cada una de las fases está representada con un cuadrado, cuyo tamaño está relacionado con el efecto medioambiental que tiene cada una de las ellas.

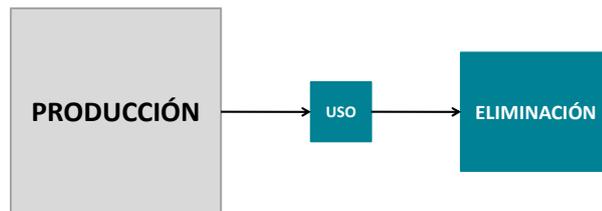


Figura 1.4. Impacto típico en el ciclo de vida del mobiliario^[11]

La eliminación innecesaria/inadecuada del mobiliario también genera cantidades significativas de residuos sólidos. El problema no es sólo la cantidad de desechos que van al vertedero, sino el riesgo potencial de las sustancias peligrosas que se utilizan en los recubrimientos y acabados, las cuales se descomponen y pueden contaminar el suelo y las aguas.

En la Tabla 1.3. se muestra un resumen de los impactos del mobiliario durante su ciclo de vida, enumerando las consecuencias medioambientales y para la salud que se pueden encontrar en cada etapa^[9].

² El *Off-gassing* es la evaporación de sustancias químicas volátiles en materiales no metálicos a presión atmosférica.

Etapa del ciclo de vida	Consecuencias medioambientales y para la salud
Producción	<ul style="list-style-type: none"> - Las emisiones de polvo y productos químicos al aire y al agua, durante la fabricación, contribuyen a la niebla tóxica (<i>smog</i>), la contaminación de los canales y a los problemas de salud de las personas. - La energía utilizada durante la fabricación produce gases de efecto invernadero (calentamiento global), particularmente en el caso de las grandes empresas fabricantes de acero, aluminio. - Sobreespecificar y sobrediseñar dan como resultado desperdicios y pérdidas. La utilización en un producto de un material que no tiene un propósito funcional añade pérdidas de recursos (por ejemplo, uso de más combustible debido al peso o masa adicional), y puede hacer el desensamblado y el reciclaje más complejos y caros. - Las fuentes no renovables, a menudo, se utilizan aunque los materiales alternativos (reciclados o reparados) estén disponibles o sean económicos.
Uso	<ul style="list-style-type: none"> - La salud de las personas puede ser afectada de manera adversa por la contaminación interior del aire causada por el «<i>off-gassing</i>» de algunos muebles.
Eliminación	<ul style="list-style-type: none"> - Se produce un mal uso de los recursos cuando los productos y los materiales son eliminados, en lugar de reutilizados o reciclados; ya que la energía empleada para transportar los muebles y materiales desechados al vertedero incrementa los gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. - El vertido de materiales sintéticos y productos químicos a menudo fomenta los residuos tóxicos y peligrosos (por ejemplo, los metales pesados que pueden filtrarse a través de los vertederos). - La utilización de espacio del vertedero con muebles voluminosos incrementa la necesidad de un nuevo vertedero, mucho antes de lo que se necesitaría, de otro modo, para el vertido de los residuos municipales.

Tabla 1.3. Impactos ambientales del mobiliario en el ciclo de vida^[9]

Todo diseñador deberá siempre tener en cuenta los impactos ambientales asociados a la *extracción y producción* en referencia a los materiales más comunes utilizados en la manufactura del mobiliario^[10], como son:

- a) El uso de materiales no renovables (polímeros o minerales).
- b) La naturaleza del cultivo de las fuentes renovables, tales como la madera.
- c) Los procesos de cosecha (pérdida de biodiversidad...) y la producción.
- d) La cantidad de energía consumida en la extracción/cultivo/sistema de procesado y cómo puede ser minimizada la energía (producción local-transporte reducido, energía renovable, producción manual frente a producción mecanizada...)
- e) Los tipos de acabado.

A diferencia de otros tipos de productos domésticos o industriales, el mobiliario utiliza relativamente pocos recursos durante su *uso*. Por tanto, teniendo en cuenta los recursos empleados y los residuos producidos, el mayor impacto del mobiliario en la fase de utilización está en cuánto tiempo un mueble es utilizado. La mayor preocupación ambiental para los diseñadores, al pensar en el esbozo del mobiliario, es cuestionar el propósito y determinar el periodo de vida útil adecuado para un mueble.

Tradicionalmente, la mayoría de los enfoques medioambientales han estado centrados solamente en la parte de producción. Pero todo tipo de sistemas de recuperación o reutilización que alarguen la vida de un mueble son igualmente importantes para reducir los efectos de la *eliminación*. Esto significa tratar de bosquejar muebles evitando los obstáculos de la obsolescencia del producto a través del cambio de los caprichos de la moda. Es decir, el propósito es alargar la vida del producto diseñando para la durabilidad, la reutilización y el reciclaje de los materiales; para mantener el mobiliario lejos de la corriente de deshechos, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones^[12]:

- a) Evitar colores y diseños que se pasen de moda rápidamente.
- b) Evitar pegamentos, abrazaderas metálicas y tornillos en favor de los ensamblajes de presionar y enganchar.

- c) El uso de etiquetas fabricadas con molde. Las de papel o plástico pueden quitarse con agua o borrarse con el paso del tiempo.

1.4. Desajuste niños-mobiliario escolar

Las investigaciones indican que los niños experimentan altos índices de molestias, particularmente en el cuello y en la espalda^[13]. Tales síntomas musculoesqueléticos perjudican a menudo la comodidad de los niños y su salud a largo plazo.

Si bien es cierto que el mobiliario escolar no es la única causa de dolor e incomodidad, distintos estudios muestran que las posturas forzadas y el mobiliario mal diseñado contribuyen de una manera muy importante a las molestias musculoesqueléticas de los pequeños^[14,15,4]. Los principales factores de riesgo para el dolor de espalda entre escolares se muestran en la Tabla 1.4.

CLASE	<ul style="list-style-type: none">- Mantener posturas estáticas durante periodos prolongados de tiempo.- Trabajar con ordenadores durante periodos prolongados de tiempo.- Encontrar la silla incómoda.
OTROS	<ul style="list-style-type: none">- Mochilas muy pesadas.- Actividades deportivas intensamente competitivas.

Tabla 1.4. Factores de riesgo de dolor de espalda entre escolares^[13]

Además, considerando aspectos concretos del diseño del mobiliario, también se pueden encontrar consecuencias de su inadecuación, tal como se muestra en la siguiente tabla:

CONSECUENCIAS	CAUSAS POSIBLES	PARÁMETRO DE DISEÑO
Molestias en piernas y pies	<ul style="list-style-type: none"> - Mal riego sanguíneo. - Falta de movilidad en las piernas. - Compresión de los nervios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura del asiento. - Profundidad del asiento. - Inclinación del asiento. - Espacio libre debajo del asiento y/o la mesa.
Molestias en muslos	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrepresiones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura del asiento. - Relieve del asiento. - Firmeza del asiento. - Inclinación del asiento.
Molestias en nalgas	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución de presiones inadecuadas. - Falta de movilidad. - Posturas desplomadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Firmeza del asiento. - Relieve del asiento. - Profundidad del asiento. - Inclinación del asiento.
Molestias lumbares	<ul style="list-style-type: none"> - Posturas flexionadas. - Falta de movilidad. - Posturas desplomadas. - Inestabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura mesa-asiento. - Respaldo inadecuado. - Inclinación del asiento. - Profundidad del asiento. - Firmeza del asiento.
Molestias dorsales	<ul style="list-style-type: none"> - Flexión dorsal. - Falta de movilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Respaldo. - Altura mesa-asiento. - Profundidad del asiento.
Molestias en hombros	<ul style="list-style-type: none"> - Elevación de hombros. - Falta de apoyo para los brazos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura mesa-silla. - Altura reposabrazos. - Separación reposabrazos.
Molestias en cuello	<ul style="list-style-type: none"> - Flexión del cuello. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura mesa-silla. - Inclinación de la mesa.

Tabla 1.5. Relación entre los parámetros de diseño y las consecuencias que originan^[5]

Diferentes estudios muestran que el dolor y la incomodidad entre los escolares^[16] presentan unas características generales que se enumeran a continuación:

- a) Los niños expresan altos índices de quejas de dolor e incomodidad, especialmente los adolescentes.

- b) Afecta negativamente a la capacidad del chico para trabajar. Las posturas estáticas pueden introducir nuevas fuentes de distracción.
- c) Las molestias a menudo progresan durante la niñez y la adolescencia. Al hacerse adolescentes, los síntomas normalmente se hacen más frecuentes y progresivamente más intensos y las molestias que antes afectaban a partes específicas del cuerpo pasan a ser generales.
- d) El dolor de espalda en edades tempranas incrementa el riesgo de dolor de espalda en la edad adulta.

Los desajustes más comunes que se dan entre los escolares y las dimensiones del mobiliario de la clase serían las siguientes:

- a) Las malas posturas al sentarse se asocian con la incomodidad y con un ajuste inapropiado del mobiliario^[17]:
 - Desajustes entre la profundidad del asiento y la longitud del muslo causan incomodidad al sentarse^[18].
 - Desajustes entre la altura de la mesa y la posición del codo en postura sedente contribuyen al dolor de cuello y hombro^[18].
 - El grado de desajuste entre las tallas de los adolescentes y su mobiliario escolar está asociado con el dolor lumbar en adolescentes^[19].
 - Los estudiantes más altos muestran índices más elevados de dolor lumbar^[19].
 - Los malos ajustes entre el mobiliario y el alumnado contribuyen a posturas sedentes de alto riesgo en los niños de la escuela primaria^[20].
- b) Permanecer sentado durante largos periodos de tiempo en mobiliario escolar está asociado con quejas de molestias musculoesqueléticas y dolor^[21].
- c) Algunas dimensiones corporales son mejores para predecir los requerimientos de diseño de una silla. La altura poplítea es más apropiada que la altura del niño para definir el tamaño de la silla^[22,23].

- d) Los chicos y las chicas tienen distintas necesidades con los ajustes del mobiliario^[24,25].
- Los chicos de más de 126 centímetros de altura requieren mesas y sillas más altas que las niñas de su misma estatura.
 - Las chicas más altas de 120 centímetros requieren asientos más profundos y más anchos que los niños de la misma estatura.

1.5. El mobiliario escolar en el último siglo

En España, el mobiliario escolar no gozó de un diseño centralizado hasta finales del siglo XIX y principios del XX. Por ello, en cada pueblo o escuela había bancos o mesas de distinto tipo, siendo los carpinteros de los pueblos los que diseñaban su propio modelo. No obstante en determinados lugares, y por parte de algunos inspectores, se dictaban normas de cómo debía ser el mobiliario escolar^[26].

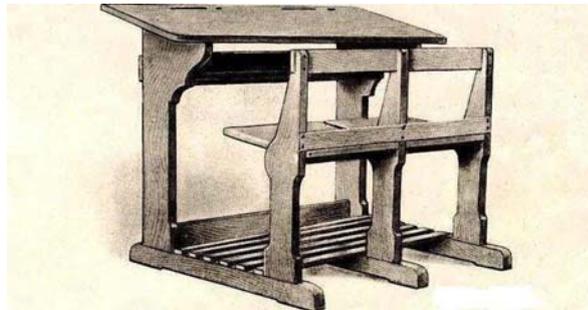


Figura 1.5. Pupitre «Museo Pedagógico Nacional»^[26]

Uno de los modelos de banco escolar que se extendió por toda España a finales del siglo XIX y primera mitad del siglo XX fue el llamado pupitre «Museo Pedagógico Nacional» (ver Figura 1.5.), que era bipersonal, con asientos abatibles, rejilla de madera para apoyar los pies y tablero inclinado, con estante para guardar los libros o carteras, y orificios para insertar los tinteros. Se trataba de un mobiliario de dimensiones fijas, no adaptable al alumno, pero con una

serie de características que colaboraban para ayudar al usuario a mantener una postura sana, con el cuello erguido y la espalda recta, como era la inclinación del plano de trabajo.

En la Figura 1.6 se puede observar otro modelo de banco escolar de la misma época, pero con un diseño mucho más sencillo. No tenía rejilla para apoyar los pies ni estante para los libros y su tablero estaba horizontal. Esta última característica no era habitual en una época en que casi la totalidad de los pupitres se fabricaban con el plano de trabajo inclinado^[27]. En la Figura 1.7 se muestra un modelo de pupitre de los años cuarenta. Se puede ver la escasa evolución que tuvo el mobiliario escolar en la primera mitad del siglo XX en España, si se compara éste con el de la Figura 1.6, que data de los años veinte.

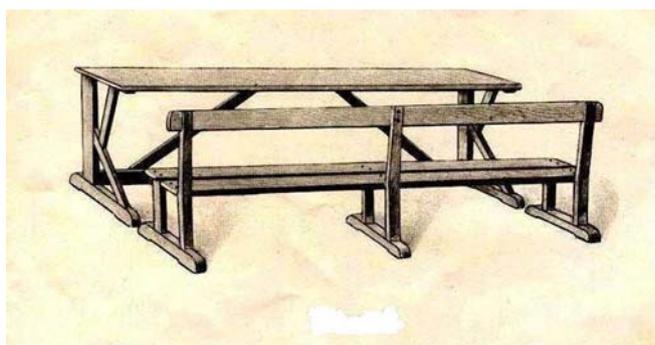


Figura 1.6. Pupitre de los años veinte^[26]

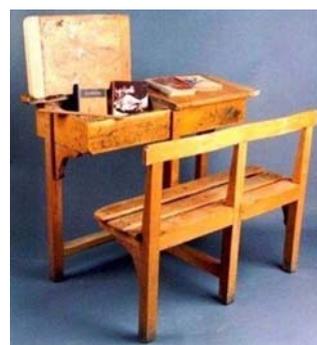


Figura 1.7. Pupitre de los años cuarenta^[26]

Si se analiza el mobiliario escolar en el resto Europa en esa misma época, a finales del siglo XIX hay constancia de los primeros proyectos de pupitres que permiten adaptarse a distintas posturas por parte del alumno, como es el caso del mostrado en la Figura 1.8, proyecto suizo de pupitre escolar de 1890, que permite al usuario adoptar tres posturas sanas, fomentando el cambio de postura por parte del estudiante.

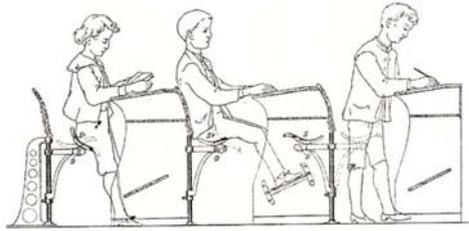


Figura 1.8. Proyecto suizo de pupitre escolar, de 1890^[28]

En la Figura 1.9 se muestra un pupitre alemán de 1910, adaptable a distintas tallas, que permite ajustar la altura del pupitre, del asiento e incluso del respaldo.



Figura 1.9. Pupitre adaptable de 1910^[27]

La llegada del «Movimiento Moderno» a principios del siglo XX trae consigo un cambio en el diseño de las sillas. Las nuevas tendencias dan prioridad a lo esencial y a la funcionalidad, eliminando cualquier tipo de ornamentación considerada superflua. Estas nuevas características iban encaminadas a hacer de la silla un producto totalmente industrial, facilitando su fabricación en serie y por ende un abaratamiento de los costes. Sin embargo, estos nuevos diseños aparentemente más sencillos eran producidos prácticamente de modo artesanal, debido a la falta de tecnología de la época^[29].



Figura 1.10. Mobiliario diseñado por Jean Prouvé en el año 1937^[30]



Figura 1.11. Mobiliario diseñado por Jean Prouvé en los años cuarenta^[30]



Figura 1.12. Mobiliario diseñado por Jean Prouvé en los años cincuenta^[30]

En las Figuras 1.10, 1.11 y 1.12 se muestran distintos modelos de pupitre diseñados por el arquitecto francés Jean Prouvé en los años treinta y cuarenta. En estos diseños puede observarse esa tendencia hacia la funcionalidad y, además, suponen una transición entre el pupitre clásico y lo que será el mobiliario escolar a partir de la Segunda Guerra Mundial. Aunque se mantienen el asiento y la mesa unidos, y el plano de trabajo sigue siendo inclinado, se trata de diseños mucho más sencillos. Cabe destacar la desaparición del banco en los pupitres bipersonales, evolucionando hacia asientos individuales.

La Segunda Guerra Mundial tuvo incalculables consecuencias sobre la industria del mueble, sobre todo en Estados Unidos. En tiempos de guerra, se hizo una enorme inversión en investigación y desarrollo en las industrias bélicas; y en la posguerra, se permitió a diseñadores y fabricantes de mobiliario aprovechar las nuevas tecnologías para la fabricación de sus productos con fines pacíficos. Por tanto, fue a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando las nuevas tendencias del diseño tuvieron repercusión en el mobiliario escolar. Se empiezan a fabricar muebles más simples, se separa la silla de la mesa y se elimina todo tipo de elementos considerados superfluos, como la inclinación del plano de trabajo. Eso permitió abandonar una producción prácticamente artesanal para comenzar a hacer una producción industrial ^[27].

El diseño de mobiliario realizado por el arquitecto Arne Jacobsen en los años cincuenta para la escuela Munkegards (Dinamarca) es un ejemplo de estas nuevas tendencias (ver Figura 1.13). Pese a no fabricarse desde finales de los años sesenta, el mobiliario de Jacobsen tuvo gran importancia. Por una parte, representó una ruptura con la idea de pupitre que venía fabricándose hasta entonces y por otra, fue el punto de partida para una nueva idea de diseño escolar con unas características que siguen vigentes en la actualidad, como es la separación de la silla y la mesa, la idea de plano de trabajo horizontal o el empleo de tubos de acero como material. Tanto la silla como la mesa estaban disponibles en tres tamaños y además había un modelo de silla con ruedas, mostrado en la Figura 1.14.



Figura 1.13. Mobiliario diseñado por Arne Jacobsen en los años cincuenta^[31]



Figura 1.14. Silla escolar con ruedas diseñada por Arne Jacobsen^[31]

Este tipo de mobiliario tiene unas dimensiones estáticas, medidas en una posición de referencia, que serían: tronco erguido, vista al frente y ángulos de noventa grados en codos, caderas, rodillas y tobillos. Dicha posición de referencia no contempla la variedad de posturas que se adoptan al leer, escribir o atender al profesor. Además, el plano de trabajo horizontal obliga al alumno a adoptar una postura más encorvada que en los antiguos pupitres de madera con plano inclinado.

Como ya se ha dicho, la Segunda Guerra Mundial también tuvo repercusión en el desarrollo de la Ergonomía. Después de 1945 los diseñadores se vieron por primera vez en situación de evaluar datos referidos a la relación persona/máquina, lo que permitió configurar asientos con mayor capacidad de adaptación al cuerpo^[29]. Con este interés creciente por la Ergonomía y la adaptación entre la silla y el usuario, empieza a ser motivo de discusión entre los expertos si la postura que se estaba tomando de referencia para realizar los diseños (tronco erguido, vista al frente, ángulos de noventa grados en codos, caderas, rodillas y tobillos) es realmente la más saludable.

En los años setenta, el médico danés A.C. Mandal publicó una serie de estudios que se recopilan en el libro «The Seated Man», publicado en 1987. En esta obra se analiza la postura del hombre sentado y se dan algunos criterios de evaluación de su salubridad. Según los estudios realizados por Mandal, la postura erguida (extremidades flexionadas a 90°) no es posible mantenerla durante periodos largos de tiempo, no hay base científica como para considerarla la más adecuada y además, da lugar a fatiga y malestar. La postura correcta sería en la que el usuario está semisentado, aquella en la que se forma un ángulo de 135° entre el tronco y las piernas. De esta forma se conserva la curva lumbar y se relajan los músculos, permitiendo que la espina dorsal lleve el peso del cuerpo de una manera más cómoda. Mandal partió para su estudio de las investigaciones del cirujano ortopédico Hanns Schoberth y del cirujano americano J.J. Keegan^[32,33]. Sobre estas bases, Mandal propuso un tipo de silla más alta, cuyo asiento se inclinaría hacia delante unos 15°. Además de la conservación de la curva lumbar y la mayor relajación muscular, esta postura proporcionaría mayor movilidad, al liberar parte de la presión en los pulmones y el estómago.

Para evaluar el efecto que un asiento inclinado hacia delante tenía en la flexión y en la curvatura de la espalda, Mandal llevó a cabo un experimento^[34]. Para realizarlo, los participantes

se colocaron en una estación de trabajo con un asiento y una superficie de trabajo de altura fija (Figura 1.15.). Sin embargo, los pies se colocaron en tres posiciones diferentes para simular diferentes alturas de trabajo y el asiento y la superficie de trabajo se inclinaron. En primer lugar, los participantes se colocaron en la posición tradicional de ángulo recto (Figura 1.15. A), con lo cual el asiento y la superficie de trabajo se inclinaron gradualmente, y la posición de los pies se bajó, para simular un incremento de la altura del asiento y de la superficie de trabajo (Figura 1.15. B, C).

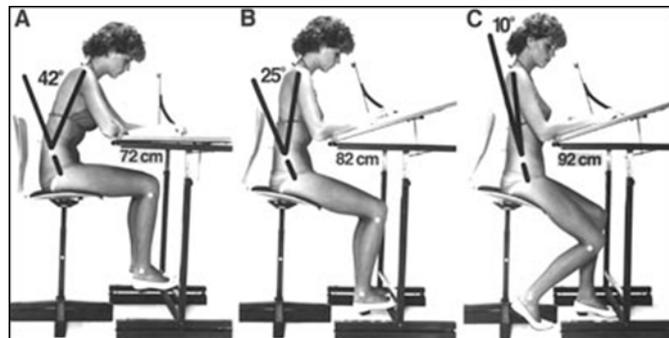


Figura 1.15. Posturas sedentes estudiadas por Mandal^[34]

Los resultados fueron significativos. En la posición final (C) la flexión y la curvatura hacia delante en la cadera y en la espalda se reducía enormemente, preservando la lordosis lumbar. Esta postura es una posición de descanso natural, donde los músculos están relajados, y el cuerpo está equilibrado y es la más adecuada para largos periodos de tiempo en posición sedente.

Otra razón para que Mandal (1987) proponga un plano de trabajo más alto está basada en la distancia visual. La distancia visual de un niño es más corta que la de un adulto. Si la altura de la mesa no está planteada considerando su campo de visión, el niño lo compensa inclinándose hacia los papeles y los libros.



Figura 1.16. Pupitre estilo «Mandal»^[27]

De modo orientativo, Mandal (1987) propuso la altura del usuario como altura de referencia para silla y plano de trabajo, siendo la altura de la silla un tercio de la altura de la persona y la del escritorio, la mitad de esa misma dimensión^[35]. Un mobiliario tipo Mandal se muestra en la Figura 1.16.

Este tipo de mobiliario es utilizado desde los años setenta en países del norte de Europa, como Dinamarca, Suecia o Noruega, y fue el punto de partida de una corriente alternativa a la postura sedente clásica. La discusión sobre cuál es realmente el mobiliario más saludable para el usuario se mantiene en la actualidad. Mientras que algunos expertos aseguran que la postura sedente clásica resulta patógena, otros mantienen que no hay base científica para sostenerlo y que no está demostrado que otros tipos de mobiliario den mejores resultados.

En España, las nuevas tendencias no llegaron hasta años más tarde y el uso de pupitres de madera se mantendría hasta finales de los años sesenta; e incluso hasta finales de los setenta en las escuelas rurales. Los pupitres son cambiados por un conjunto silla-mesa individual, con el plano de trabajo horizontal, muy parecidos a los que se pueden encontrar en la actualidad en nuestras escuelas. El principal motivo de este cambio fue la transformación de los métodos docentes tradicionales, desde una enseñanza de tipo formal a otra de carácter informal (los denominados «métodos activos»). El aula tradicional requería la existencia de un estrado para que el profesor quedase por encima de los alumnos, y un sistema de colocación de estos que asegurase un mínimo movimiento por su parte. En cambio, con los nuevos métodos se suponía que los alumnos tendrían que desplazarse por la clase con facilidad y frecuencia. Así fue como el

sistema banco-mesa fue sustituido por sillas y mesas individuales, que podían utilizarse por unos o dos estudiantes, o agruparse para conjuntos de cuatro alumnos, e incluso de seis^[36].



Figura 1.17. Mesa escolar de finales de los años setenta y principios de los ochenta



Figura 1.18. Silla escolar de los años ochenta



Figura 1.19. Puesto escolar de los años ochenta



Figura 1.20. Puesto escolar actual

La estructura de estos muebles era de tubos de acero, mientras que para la tapa de la mesa, el asiento y el respaldo de la silla se empleaban láminas de madera barnizada. La mesa tenía una cajonera lateral para guardar los libros, aunque en algunos modelos esta cajonera estaba situada debajo de la tapa; tapa que, además, disponía de una ranura para colocar los útiles de escritura.

A mediados de los años setenta, aparecen las mesas y sillas de láminas de madera con distintos tipos de acabado, formica y melamina, que facilitaban su limpieza; si bien la estructura

sigue siendo de acero y el diseño básico se conserva. Modelos silla-mesa de esta época se muestran en las Figuras 1.17, 1.18 y 1.19.

Desde los años setenta hasta hoy, el mobiliario escolar presenta pocas variaciones desde el punto de vista ergonómico. Los parámetros de diseño siguen siendo fundamentalmente los mismos; si bien, actualmente la superficie del asiento y del respaldo son mayores y presentan una curvatura que se adapta al cuerpo del usuario, lo que hace que el asiento sea más cómodo y se dé una mayor protección a la espalda^[27]. También se ha modificado la situación de la cajonera, que ha pasado de estar en un lateral a estar debajo de la tapa de la mesa.

Los materiales empleados sí han evolucionado. Ahora, aunque la estructura sigue siendo de acero, el asiento, el respaldo de la silla y la tapa de la mesa son de madera prensada con un recubrimiento plástico ligeramente rugoso, para evitar que se deslice el papel. Un modelo de puesto escolar actual se muestra en la Figura 1.20

En los últimos años han surgido distintos diseños de puesto escolar, muy diferentes entre sí, pero que podrían marcar cuál va a ser el futuro del mobiliario en el contexto educativo.



Figura 1.21. Puesto escolar diseñado por Antonio Bustamante en el año 2001^[27]



Figura 1.22. Diseño de pupitre de Philippe Starck en el año 2003^[37]



Figura 1.23. Diseño de silla escolar de Ronnie Lacham en el año 2002^[38]

En la Figura 1.21 se muestra un diseño del arquitecto y ergónomo Antonio Bustamante (2004), modelo en el que el alumno mantiene una postura semisentada y se tiene un plano de trabajo inclinado. En cambio, el diseñador Philippe Starck (2003)^[37] recupera el concepto de pupitre tradicional de madera, pero con plano de trabajo horizontal, como puede observarse en la Figura 1.22. Por último, el diseñador Ronnie Lacham (2002)^[38] propone una silla escolar que pueda balancearse como una mecedora (Figura 1.23).

1.6. Nuevas tendencias de mobiliario escolar

El modelo de puesto escolar más usado en los colegios es, en la actualidad, el formado por mesa y silla de alturas fijas. Este tipo de mobiliario está disponible en una serie de tallas, para adaptarse vagamente a las medidas antropométricas del usuario. También se puede encontrar con formato de pupitre bipersonal, lo que puede ahorrar espacio y facilitar la creación de equipos de niños para trabajar. En las siguientes figuras se pueden ver distintos ejemplos de diferentes marcas y que cumplen estos principios (ver Figuras 1.24.- 1.29.).



Figura 1.24. Asier mobiliario



Figura 1.25. Asier mobiliario



Figura 1.26. Muebles Grau



Figura 1.27. Muebles Grau



Figura 1.28. LODECAM



Figura 1.29. Asier mobiliario

Dentro de este tipo de puestos, una de las tendencias actuales es fabricar también mesas de dos apoyos, con la intención de permitir una mayor movilidad para las piernas (ver Figuras 1.30.- 1.37.).



Figura 1.30. Muebles Grau



Figura 1.31. Asier mobiliario



Figura 1.32. Ass



Figura 1.33. ISKU



Figura 1.34. Nautilus



Figura 1.35. Talleres Hereu



Figura 1.36. KI Europe



Figura 1.37. Federico Giner

Con el fin de evitar el sistema de tallas y hacer el mobiliario más adaptable, se están empezando a implantar, en muchos centros escolares, mesas con regulación de la altura del plano de trabajo, como las que se muestran en los siguientes ejemplos (ver Figuras 1.38.- 1.41.).



Figura 1.38. LODECAM



Figura 1.39. ALFAX



Figura 1.40. Federico Giner



Figura 1.41. Ass

Cabe destacar el hecho de que se está recuperando, después de muchos años de ausencia en las aulas, el diseño de mesas inclinadas. Factor éste muy importante desde el punto de vista de la ergonomía, puesto que favorecen la adopción de posturas más saludables (ver Figuras 1.42.-1.46.).



Figura 1.42. Muebles Grau



Figura 1.43. Ass



Figura 1.44. Federico Giner



Figura 1.45. Hephaïtos



Figura 1.46. Nautilus

En cuanto al almacenamiento de los libros y las libretas, lo más habitual es que la mesa disponga debajo del plano de trabajo de una cajonera, que puede ser de plástico, metal o madera

(ver Figura 1.47.). Aunque también existen modelos en los que se accede a la cajonera levantando el plano de trabajo (ver Figura 1.48.). Este último tipo de cajoneras reducen las malas posturas que se adoptan para acceder a los materiales desde la posición sedente, pero obligan a quitar todas las cosas que haya encima de la superficie de labor, lo que también puede contribuir a las malas posturas y a obstruir los pasillos de la clase.



Figura 1.47. Talleres Hereu



Figura 1.48. Nautilus

Otro tipo de modelo, propio del mobiliario escolar actual, es la silla pala, en la que el plano de trabajo está unido a la silla. Algunas tienen un soporte para libros debajo, y las hay tanto para diestros como para zurdos. Este diseño tiene los inconvenientes de tener las dimensiones fijas (altura de la pala, profundidad entre la pala y el respaldo), resultando muy difícil que se adapte a las medidas del usuario (ver Figuras 1.49.- 1.53.).



Figura 1.49. Adrada



Figura 1.50. Asier mobiliario



Figura 1.51. Asier mobiliario



Figura 1.52. KI Europe



Figura 1.53. ISMAD

Relacionadas con las aulas de informática, existen sillas similares a las de las oficinas (ver Figuras 1.54.- 1.55.) con altura del asiento regulable y base de ruedas. Las mesas que se utilizan en ese tipo de aulas generalmente llevan un soporte para la CPU (ver Figuras 1.56.- 1.58.) y, en ocasiones, dos alturas: una para la pantalla y otra para el teclado (ver Figura 1.59.).



Figura 1.54. Virco



Figura 1.55. Virco



Figura 1.56. TAGAR



Figura 1.57. Talleres Hereu



Figura 1.58. Asier Mobiliario



Figura 1.59. LODECAM

También nos encontramos en las aulas con otro tipo de pupitres denominados combinados y trineos. En ambos casos la silla y la mesa están unidas. En los pupitres combinados, (ver Figuras 1.60.- 1.63.) generalmente la unidad tiene dos patas en la silla y dos que salen del pupitre; aunque existen algunas variantes, como la de la que se puede ver en la Figura 1.63. Este modelo está disponible con diferentes tallas y la superficie de escritura suele ser más amplia que en los puestos tradicionales; así como el espacio «vital» del cuerpo. Presentan el inconveniente de que la profundidad entre la tabla y la parte posterior de la silla es fija, resultando a veces un espacio demasiado grande.

En los pupitres trineo la mesa está sujeta a la silla con una estructura tipo «trineo». Los hay con la altura de la silla fija (ver Figuras 1.64.- 1.67.) y otros con la altura de la silla ajustable (ver Figura 1.68.). A estos pupitres se puede entrar tanto por el lado derecho de la silla como por el izquierdo; mientras que en los mencionados en el párrafo anterior sólo se puede acceder por uno de ellos. La mayoría de los pupitres trineo tienen espacio para el almacenamiento debajo de la silla, con lo que se puede manipular el material allí guardado sin tener que despejar la superficie de trabajo; pero algunos modelos carecen de ese depósito (ver Figura 1.68.).



Figura 1.60. Asier mobiliario



Figura 1.61. Muebles Grau



Figura 1.62. Talleres Hereu



Figura 1.63. KI Europe



Figura 1.64. KI Europe



Figura 1.65. KI Europe



Figura 1.66. KI Europe



Figura 1.67. Virco



Figura 1.68. Virco

En los últimos años se está incorporando en algunos colegios el mobiliario «tipo Mandal», que se caracteriza por un puesto mucho más alto que el tradicional, y con el plano de trabajo inclinado (ver Figuras 1.69.- 1.72.). Aunque hay estudios que demuestran que este tipo de pupitres proporciona posturas más saludables para la espalda, así como una distancia visual más adecuada, presenta el inconveniente de provocar cansancio en piernas y rodillas, debido a la posición semisentada sostenida. Para solucionar este problema, algunos pupitres disponen de reposarrodillas (ver Figura 1.71.).



Figura 1.69. ISKU



Figura 1.70. Hephaitos



Figura 1.71. Hephaitos



Figura 1.72. Perch

En cuanto a los materiales, la estructura de estos muebles suele ser de tubo de acero, aunque se pueden encontrar mobiliarios totalmente hechos de madera (ver Figuras 1.73.- 1.74.). El plano de trabajo de la mesa y el asiento y respaldo de la silla pueden ser de madera (ver Figura 1.75.), o de láminas de madera con acabado de formica y melamina (ver Figuras 1.76.- 1.77.) y plástico (ver Figuras 1.78.- 1.80.).



Figura 1.73. Ass



Figura 1.74. Ass



Figura 1.75. Avet educativos



Figura 1.76. Talleres Hereu



Figura 1.77. Talleres Hereu

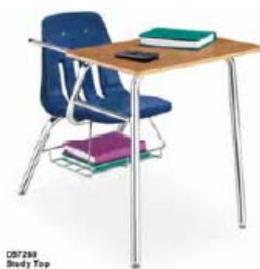


Figura 1.78. ALFAX



Figura 1.79. ALFAX



Figura 1.80. TAGAR

Para finalizar, una de las tendencias más novedosas y que en la actualidad se está planteando de manera experimental, es la sustitución de sillas por pelotas medicinales de goma

(ver Figura 1.81.). Estas pelotas permiten mantener la columna correctamente alineada y, al no ser fijas, hacen al cuerpo moverse continuamente, lo cual ayuda a ejercitar los músculos y a proporcionar un efecto benefactor en toda la espalda. Por otra parte, este movimiento continuo favorece la circulación sanguínea lo que reduciría por tanto el nivel de fatiga del niño.



Figura 1.81. Pelota de gimnasia

1.7. Objetivos

Teniendo en cuenta lo explicado en puntos anteriores de esta *Introducción*, parece evidente que, en la actualidad, se tiene un mobiliario escolar que incumple requisitos básicos desde los puntos de vista ergonómico y medioambiental.

Además, tal y como quedará reflejado en el capítulo siguiente del *Estado del Arte*, parece que una de las razones principales de que esté ocurriendo esto es que no se haya desarrollado una metodología de diseño de producto capaz de considerar estas necesidades ergonómicas y medioambientales.

Por todo ello, podemos afirmar que los objetivos fundamentales de esta tesis doctoral serían los siguientes:

- Desarrollo de una metodología de diseño de producto que tenga en cuenta, de forma simultánea y durante todo el ciclo de vida del producto (*Life Cycle Assessment, LCA*), el impacto medioambiental que podrá ocasionar y las necesidades ergonómicas que habrá que satisfacer en los usuarios finales del mismo.

- Validación de dicha metodología para el caso concreto de mobiliario escolar, silla y mesa del alumno, en aulas de primaria.

No obstante, de forma complementaria, también se podrían señalar otra serie de objetivos adicionales, pero no por ello menos importantes, que pudiera tener esta tesis:

- Llevar a cabo un profundo estudio bibliográfico sobre la interacción de temáticas científicas como la Ergonomía, la Ecología y el Diseño y la aplicación práctica que desarrollan los ergónomos, los ecologistas y los diseñadores, respectivamente.
- La validación metodológica a través de un caso práctico real permite poder concienciar a todos los integrantes del equipo de trabajo (alumnos, profesores, diseñador...) sobre la importancia que tienen la Ergonomía y la Ecología a la hora de diseñar un producto.
- La obtención de un producto real de mercado (mesa y silla) con una serie de características que lo diferencian claramente del resto de productos hasta ahora en circulación, lo que permitirá, gracias al desarrollo de esta tesis, la obtención de un producto con un claro beneficio comercial.

2. ESTADO DEL ARTE

La definición del término diseño industrial oficialmente reconocida por el International Council of Societies of Industrial Design (ICSID), se dio a conocer en Italia durante la conferencia *Educational for Design* y surge del siguiente pensamiento: «El diseño industrial es una actividad proyectual que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos producidos industrialmente. Por propiedades formales no hay que entender tan solo las características exteriores, sino, sobre todo, las relaciones funcionales y estructurales que hacen que un objeto tenga una unidad coherente desde el punto de vista tanto del productor como del usuario, puesto que, mientras que la preocupación exclusiva por los rasgos exteriores de un objeto determinado conlleva el deseo de hacerlo aparecer más atractivo o también disimular sus debilidades constitutivas, las propiedades formales de un objeto por lo menos tal como yo entiendo aquí son siempre el resultado de la integración de factores diversos, tanto si son de tipo funcional, cultural, tecnológico o económico. Dicho de otra manera, así como los caracteres exteriores hacen referencia a cualquier cosa como una realidad extraña, es decir, no ligada al objeto y que no se ha desarrollado con él, de manera contraria las propiedades formales constituyen una realidad que corresponde a su organización interna, vinculada a ella y desarrollada a partir de ella»^[39].

Se puede definir por tanto como la representación en un medio tangible de una idea, que tiene por objetivo satisfacer una necesidad del ser humano en algunos de sus aspectos tanto espirituales como físicos. El diseño industrial es una disciplina que busca resolver los problemas que se plantean al ser humano con los objetivos susceptibles de ser producidos industrialmente.

El término metodología está compuesto por «método» y el sustantivo griego «logos», que significa explicación, juicio, tratado, estudio... Por tanto, literalmente significaría «estudio o tratado del método». La metodología representa la manera de organizar el proceso de investigación, de controlar sus resultados y de presentar posibles soluciones a un problema que conlleva la toma de decisiones.

Como síntesis, la metodología de diseño sería la manera específica con la que los diseñadores contribuyen a encontrar soluciones y a desarrollar productos. El conjunto de todos los procesos, normas, herramientas... es lo que se conoce como metodología del diseño.

2.1 Historia de la Metodología del Diseño

La «Conferencia de Métodos de Diseño» celebrada en Londres, en septiembre de 1962, generalmente es considerada como el evento que marcó el lanzamiento de la metodología de diseño como un tema o campo de investigación propio^[40]. Este campo estaba basado en algún trabajo anterior (la primera referencia en literatura de metodología de diseño es probablemente el «método morfológico» de Zwicky, publicado en 1948^[41]), pero es en esta conferencia donde por primera vez los «Métodos de Diseño» reciben un reconocimiento académico sustancial.

A través de una serie de conferencias en los años 60 y 70, se fue desarrollando el nuevo «Movimiento de los Métodos de Diseño»: Birmingham, 1965; Portsmouth, 1965; Cambridge, 1969; Londres, 1973; Nueva York, 1974; Berkeley, 1975; Portsmouth, en 1976. Además también surgieron estos años los primeros libros metodológicos, los de Hall (1962)^[42], Asimow (1962)^[43], Alexander (1964)^[44], Archer (1965)^[45], Jones (1970)^[46]; y los primeros libros creativos, los de Gordon (1961)^[47] o Osborn (1963)^[48].

No obstante, la década de los 70' también supuso un notable rechazo a la metodología del diseño por parte de los propios pioneros de la misma (Alexander (1971)^[49], Jones (1977)^[50], con declaraciones muy críticas y sorprendentes teniendo su escasa vida. El contexto socio-cultural de finales de los años 60' (la revolución juvenil, el nuevo humanismo liberal o el rechazo de los valores anteriores), junto con la falta de éxito en la aplicación de los «métodos científicos» de diseño, contribuyeron en gran medida a este rechazo.

No obstante, la metodología de diseño fue solo temporalmente guardada, gracias a la propuesta de Rittel^[51] que sugirió que los desarrollos de los años 60 habían sido solo la «primera generación» de métodos y que la segunda generación estaba empezando a emerger sin tener un compromiso obligado con la inadecuada primera generación. Este hecho posibilitó, sin duda alguna, la apertura hacia un futuro de generaciones de nuevos métodos mucho más consistentes.

Entre los años 70 y 80 las metodologías de diseño en arquitectura e ingeniería empezaron a divergir una de otra. Estos dos campos de actuación comenzaron entonces a divergir especialmente en cuanto a sus modelos de diseño de procesos^[52].

Centrándose en la metodología de diseño para ingeniería, ésta se desarrolló de una manera muy importante en los años 80 a través de, por ejemplo, el ICED (International Conferences on Engineering Design) y el VDI (Verein Deutscher Ingenieure). Estos desarrollos fueron especialmente fuertes en Europa y Japón^[53], pero no tanto en Estados Unidos. Empezaron a aparecer libros específicos sobre métodos de diseño en ingeniería como los de Hubka^[54], Pahl y Beitz (1984)^[55], French (1985)^[56], Cross (1989)^[57] o Pugh (1991)^[58]. Particularmente significativo en los años 80 fue también la emergencia de nuevas publicaciones sobre investigación, teoría y metodología del diseño: Design Studies (1979), Design Issues (1984), Research in Engineering Design (1989)...

Por esta época también hubo nuevos trabajos significativos respecto a la automatización del diseño, utilizando sistemas expertos y otras técnicas de inteligencia artificial. Además, en los albores de los 90, también fueron apareciendo la emergencia de modelos «concurrentes» de planificación de producto y desarrollo: Andreasen (1991)^[59], Pugh (1991)^[58]...

En los últimos años el diseño se ha visto abordado por un importante número de enfoques que intentan hacer su proceso de desarrollo más eficiente y eficaz. Entre muchas de estas posturas se pueden nombrar la Usabilidad, el Diseño Universal, la Ergonomía, el Diseño Centrado en el Usuario, el Ecodiseño, el Diseño Emocional... Cada uno de estos enfoques aborda bajo sus propios objetivos y metodologías, el desarrollo, análisis o evaluación de un proyecto de diseño. Por la importancia que alguno de ellos tiene en la Metodología presentada en esta tesis, resulta vital explicarlos con un cierto detenimiento.

Así, el Diseño Centrado en el Usuario y dentro de este enfoque el Diseño Universal, tuvo un gran impulso en la década de los 90. El Diseño universal es el desarrollo de productos, entornos y comunicación que puedan ser utilizados por todas las personas, en la mayor medida posible, sin adaptación o diseño especializado^[60]. También es conocido como «Diseño para Todos» y sin lugar a dudas, el diseño industrial es la disciplina más entusiasta con este concepto. El mensaje es el mismo: si algo funciona bien para las personas con limitaciones, seguro que funciona mejor para todos.

No obstante la gestación del Diseño Universal surge mucho antes, al inicio de la década de los cincuenta, con atención principal a la discapacidad. En Europa, Japón y los Estados Unidos, el diseño sin barreras se desarrolló para eliminar los obstáculos en los entornos contruidos para

las personas con discapacidades físicas, pero tendía a considerarse aislado y especial, correspondientes a las personas con graves limitaciones físicas (principalmente con problemas de movilidad). En la década de 1970, se introdujo ya la idea de que la capacidad funcional de todos mejora cuando se eliminan las barreras ambientales. Se necesitaba un nuevo concepto, más allá de la accesibilidad, que fuera más amplio y más universal.

En la década de los años 80 convergieron una serie de tendencias. Por un lado la comunidad de discapacitados sugieren que las leyes que rigen el diseño accesible se habían reducido «de forma penosa» a un conjunto de exigencias o requisitos mínimos. Pero por otro parte, en 1987, un grupo de diseñadores irlandeses lograron una resolución de gran calado, aprobada en el Congreso Mundial de Diseño, en la que todos los diseñadores deberían tener en cuenta la discapacidad y el envejecimiento en sus trabajos.

En EE.UU., el diseñador Ron Mace comenzó a usar el término Diseño Universal y encontró la manera de definirlo en relación con el diseño accesible. Así explicó que el Diseño Universal «no es una ciencia nueva, un estilo o único en ninguna forma. Se requiere solamente una toma de conciencia de la necesidad y del mercado y un enfoque común para hacer que todo lo que se diseña y produce puedan ser utilizados por todos en la mayor medida posible». El término universal no era el ideal, pues puede interpretarse como una promesa de un estándar imposible, teniendo en cuenta que siempre habrá un pequeño número de personas para quienes un diseño no funcionaría. Más exactamente, el Diseño Universal es una orientación para el diseño en el que los profesionales se esfuerzan por incorporar características que hacen de cada diseño más usable universalmente.

El «Diseño para Todos» es un concepto estrechamente relacionado con el Diseño Universal. Estos términos se mencionan en ocasiones como equivalentes, pero presentan diferentes matices. El primero es una filosofía de diseño que tiene como objetivo conseguir que los entornos, productos, servicios y sistemas puedan ser utilizados por el mayor número posible de personas. Es un modelo de diseño basado en la diversidad humana, la inclusión social y la igualdad, teniendo en cuenta dos principios fundamentales:

- Facilitar el uso de los productos y servicios.

- Asegurar que las necesidades, deseos y expectativas de los usuarios se tengan en cuenta en el proceso de diseño y en la evaluación del producto o servicio.

Una metodología para la implementación del «Diseño para Todos» es el método H.U.M.B.L.E.S.^[61]. El método H.U.M.B.L.E.S. consiste en la implementación de siete fases cuya letra inicial coincide con las de la palabra «Humbles»:

1. **H**ighlight Design for All opportunities (Detectar las oportunidades del diseño para todos).
2. **U**ses identification (Identificar a los usuarios)
3. **M**onitor identification (Monotorizar la interacción)
4. **B**reak through options (Opciones de avance)
5. **L**ayout Solutions (Diseñar soluciones)
6. **E**fficient implementation and **C**ommunication (Implementación eficiente y Comunicación)
7. **S**uccess evaluation (Evaluación del éxito)

Si nos centramos en otro de los enfoques anteriormente citados, el Ecodiseño o Diseño Ecológico, nos estamos refiriendo a una metodología que ha recibido a lo largo de la historia pero que puede definirse como la integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto, con el fin de mejorar su comportamiento medioambiental a lo largo de todo su ciclo de vida.

El «diseño verde» tiene, aunque no lo parezca, una larga historia. Prueba de ello lo atestigua el interés que ya tenía en él el Movimiento Británico de Artes y Oficios, que ya pudieron darse cuenta, a principios del siglo XX, que el auge de las nuevas industrias ocasionaba una degradación medioambiental muy importante. Su preocupación sobre la pésima calidad de muchas de las mercancías fabricadas y sobre el nocivo impacto ambiental que ello acarrea llevó a considerar nuevos métodos de producción que permitieran reducir el impacto ambiental.

Marcel Breuer, estudiante en la Bahaus entre 1920 y 1924, puede considerarse como uno de los pioneros del ecodiseño^[62], al estandarizar componentes para la producción de sillas distribuidas en paquetes planos que podían montarse varias veces (con el consiguiente ahorro en el transporte) y que además eran duraderas y baratas (con el consiguiente mejoría en el ciclo de vida del producto). Por esas fechas el arquitecto y diseñador finlandes Alvar Aalto también logró

sinergias entre su mobiliario de madera y el medio contruido, logrando así un diseño que evocaba ritmos naturales^[63].

Entre 1946 y 1955 en Europa se produjo un periodo de escasez de materiales y energía lo que conllevó a un aumento de la racionalización del diseño, resumido en el axioma «menos es más». Incluso en la década de los cincuenta, algunos fabricantes de coches europeos como Fiat o Citroën, potenciaron las virtudes de los coches pequeños: su fabricación era económica, su consumo de combustible era escaso para aquellas épocas...

Con el movimiento «hippie» en la década de los sesenta, se cuestionó el consumismo y se evocó la vuelta a la naturaleza lo que hizo que apreciaran libros de diseño para ser autosuficientes. Muchos diseñadores utilizaron materiales reciclados e incluso buscaron alternativas de producción y venta.

En los setenta, cuando el precio del barril de petróleo alcanzó cotas máximas históricas, se empezó a analizar cómo se podría reducir las necesidades energéticas que se conllevaba la fabricación de un producto. Sin duda alguna fue un punto de inflexión no sólo para ver la energía y los materiales precisos en la fabricación, sino también el impacto ambiental asociado a cada producto. Uno de los mayores defensores de llevar a cabo un diseño responsable con la sociedad fue el diseñador austriaco Victor Papanek que cería firmemente en la idea de que «los diseñadores deben ofrecer sistemas destinados al uso de la comunidad y la sociedad»^[64].

Con la aparición de los «consumidores verdes», en los años ochenta, se logró una mayor concienciación de la opinión pública, una mejora en las legislaciones sobre el medio ambiente y una mayor competitividad en las empresas. Es la década donde los diseñadores y fabricantes trataron de conseguir productos respetuosos con el medio ambiente aunque si es verdad que en muchas de esas ocasiones fueron «más intenciones que obtenciones» ya que no existía el adecuado control sobre lo que realmente decían las etiquetas de los productos, sobre las emisiones que se producían en las fábricas...

No obstante, esta situación de descontrol fue mejorando hasta que en el año 1987 la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, publicó *Our Common Future*. En este informe se definió por primera vez el término «desarrollo sostenible» y contribuyó en gran medida lograr la colaboración y acuerdos entre gobiernos, industria e instituciones educativas

sobre aspectos fundamentales del diseño verde. En estos últimos veinte años el debate sobre el desarrollo sostenible ha llegado también al diseño de los productos, hablando así de «producto sostenible». Los diseñadores buscan actualmente no sólo que sus diseños logren un impacto ambiental mínimo a lo largo del tiempo, sino que también se logre un impacto social y ético de los mismos.

Otra tendencia actual en el diseño de productos es la «Ergonomía Participativa». En la ergonomía participativa se reconoce la importancia que el usuario tiene en el proceso de diseño, no únicamente como aquel individuo para quien se va a diseñar, sino como un participante más (incluso el más importante) en el proceso de diseño. Para ello se suma a los equipos de trabajo a usuarios reales, en cuyas interacciones con los productos o sistemas, se puedan observar los problemas o beneficios que se obtienen^[65].

En el mercado actual, el consumidor no valora únicamente la funcionalidad, usabilidad, seguridad y adecuado precio de los productos, sino también las emociones y los sentimientos que le proporcionan. Ante dos productos equivalentes en precio y funcionalidad, la decisión final de compra del consumidor va hacia aquel que le proporciona un mayor «feeling» o que mejor refleja un determinado estilo de vida. Efectivamente, el diseño actual de productos se mueve hacia la integración de los valores emocionales en los mismos^[66] y dentro del Diseño Centrado en el Usuario, surge la tendencia denominada Diseño Emocional. El Diseño Emocional puede mejorar la universalidad del producto, puesto que no solo mejora su estética si no que ayuda a hacer un producto más intuitivo, creando una fuerte motivación para usarlo.

En la literatura actual se pueden encontrar diferentes nombres para referirse a este tipo de técnicas orientadas a incorporar las emociones en el diseño de productos como pueden ser Emotional Design, Emotional Engineering, Affective Design, Design of Pleasurable Products, Product Semantics...^[67,68,69,70]. De todas ellas, podría destacarse por ser una de las metodologías más completas y pioneras en este campo, la «Ingeniería Kansei», creada en 1995 por el profesor japonés Mitsuo Nagamachi^[71].

La «Ingeniería Kansei» nació como una tecnología ergonómica para el desarrollo de productos orientados a las necesidades y sentimientos del consumidor. «Kansei», en japonés significa el sentimiento psicológico, «feeling», de un consumidor y la imagen que tiene con respecto a un producto. Además no se limita simplemente a medir las emociones que provocan

los productos diseñados, como lo hacen muchas otras técnicas, sino que se trata de una herramienta potente de ingeniería aplicada al diseño emocional. Lo que realmente la distingue de otros métodos es su capacidad para predecir los sentimientos a partir de las propiedades de los productos^[72]. La «Ingeniería Kansei» permite producir nuevos productos basados en los deseos y demandas del consumidor, como lo demuestran algunos productos en los que se ha aplicado con gran aceptación en el mercado.

2.2 Metodología de Diseño Industrial

En este capítulo se pretende describir la metodología de diseño «base» de la propuesta en esta tesis doctoral. Por tanto debe esquematizar el recorrido a seguir a la hora de diseñar un producto y debe estar organizada mediante etapas o fases de trabajo, cada una de las cuales ha de perseguir unos objetivos específicos. Esta forma de estructurar el trabajo busca, a partir del cumplimiento de dichos objetivos, evitar la improvisación y disminuir el margen de error.

Las fases de trabajo deben abarcan todo el ciclo de vida del producto, desde su definición estratégica hasta su proceso de eliminación. Si bien es cierto que este proceso no tiene por qué ser estrictamente secuencial (ya que algunas fases pueden darse de manera simultánea e integrada) una adecuada representación de dicha metodología podrá ser la que se presenta en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Fases de la Metodología del Diseño

Dado que cada proyecto de diseño industrial es singular y no existen dos iguales, es imprescindible recordar que no todas las actividades, ni todas las herramientas que a

continuación se van a ir exponiendo, deben ser utilizadas de forma estricta en cada una de las etapas; sino que tendrán que elegirse aquellas que sean más adecuadas en función del producto o situación concreta que se dé en el proyecto, llevándonos por tanto siempre a buscar la solución óptima particular.

2.2.1 Definición Estratégica

A partir de ella se inicia el proceso de diseño. En el contexto de la organización, y a partir de una necesidad o un problema detectado de mercado, se comienza a analizar y procesar la información disponible que llevará adelante el proyecto y su orientación estratégica.

Se trata de definir «qué» se va a hacer y no «cómo» hacerlo. La definición estratégica es una de las fases críticas a la hora de desarrollar un nuevo producto y puede llegar a ser totalmente determinante en la creación o no de valor, tanto para la empresa diseñadora como para los consumidores finales del producto. «El desarrollo de un nuevo producto siempre debe llevarse a cabo dentro de un plan estratégico del mismo (que forme parte además parte del plan estratégico de la empresa) a partir del cual se establecen objetivos a medio y largo plazo. Dichos objetivos han de revisarse periódicamente teniendo siempre presente la búsqueda activa de oportunidades de mercado existente o potencial, revisando tendencias y evolución de aspectos sociales, económicos y tecnológicos»^[73].

«De su fiabilidad depende que las soluciones que se adopten en la fase de diseño sean las adecuadas, no sólo en cuanto a la adaptación al usuario, sino también desde el punto de vista técnico y de mercado, ya que en numerosas ocasiones, se da lugar a soluciones inadecuadas para los usuarios, o a soluciones técnicamente buenas pero generadas de espaldas al mercado»^[74].

El objetivo de esta fase sería definir el «briefing», las Especificaciones de Diseño del Producto (EDP) que se va a desarrollar, desde el punto de vista de las necesidades que se van a cubrir, las características de los usuarios y compradores a los que se dirige y las ventajas que presenta respecto a los productos existentes en el mercado. Se trata por tanto de marcar las directrices que van a guiar todo el proceso de diseño del producto.

Alguna de las actividades recomendadas en la definición estratégica del producto serían:

- Estudios de mercado.
- Análisis de la competencia.
- Estudios de patentes
- Identificar e investigar funciones producto/usuario.
- Análisis de fallos o análisis de reclamaciones.
- Identificación y selección de objetivos.
- Identificación de restricciones.
- Análisis de normativa y legislación.

Para ello se utilizan, entre otras, las siguientes herramientas de trabajo:

- «Focus group».
- Sugerencias de clientes.
- Observación en uso.
- Análisis comparativo de productos.
- Estudios de viabilidad.
- Estudios de mercado.
- Análisis de tendencias, costos y competencia.

El resultado de esta primera fase, elaborado por un equipo multidisciplinar de diseño que continúe también posteriormente en el resto de etapas del proyecto, sería un «Plan Estratégico» para el diseño del nuevo producto, que contenga las Especificaciones de Diseño del Producto (EDP), el plan de trabajo con un cronograma aproximativo, las personas responsables y una estimación presupuestaria inicial.

2.2.2 Diseño de Concepto

Partiendo de la información obtenida en la fase anterior, en esta fase se establece la «dirección del diseño». Se generan diferentes conceptos del producto a partir de toda la información disponible y de la creatividad del equipo de diseño^[74]. Esta fase de diseño conceptual terminaría con el filtrado de las ideas presentadas y la selección de la propuesta más acorde a las limitaciones y objetivos marcados. Para ello debe emplearse un procedimiento bien definido en el que el equipo multidisciplinar, creado en la etapa anterior, se encargue de contrastar, de acuerdo a unos baremos fijados con anterioridad, cuál de los conceptos o ideas desarrolladas cumple en mayor medida las especificaciones de diseño. En el diseño de concepto se debe generar la descripción del concepto desarrollado (incluyendo las características y parámetros generales), la tecnología de fabricación que se utilizará, el funcionamiento y morfología del producto, los materiales seleccionados... Además, hay que fijar criterios para la revisión y evaluación del concepto seleccionado a lo largo de la vida del proyecto.

Esta fase, analítica y altamente creativa a un mismo tiempo, es de vital importancia en todo el proceso, ya que una mala definición conceptual nos llevará a variar continuamente nuestro desarrollo de producto y probablemente a un producto final inadecuado.

Las actividades que engloba el diseño de concepto serían de forma no exhaustiva:

- Análisis funcional, utilitario y comercial del producto.
- Estructura del mercado potencial.
- Análisis económicos y financieros: de rentabilidad, de mercado...
- Valoración de alternativas y selección.
- Matriz de priorización.

Alguna de las herramientas que se pueden utilizar en esta fase son:

- Técnicas de creatividad.
- Técnicas de representación.

- Maquetas.
- Relación entorno-uso.
- Herramientas para la valoración de ideas de mejora.

El resultado de esta etapa es el «Pliego de Condiciones» del concepto elegido, donde se debe fijar la tecnología, el funcionamiento y la forma del producto, los responsables de cada actividad y la forma en la que se van a satisfacer las necesidades del cliente.

2.2.3 Diseño de Detalle

Una vez que se ha seleccionado el concepto que mejor se ajusta a las especificaciones de diseño, en esta fase deben definirse todos y cada uno de los elementos que componen el producto, la validación de su funcionamiento y la generación de la documentación necesaria para que dicho producto sea fabricable.

Es el momento en el que se determinan las especificaciones técnicas necesarias para construir el producto. Se tendrán por tanto que definir los materiales precisos, el proceso de fabricación y de ensamblado y montaje para cada una de los subsistemas del sistema, definir la cadena de distribución y los canales comerciales...

En esta fase de detalle, las actividades principales que se deben realizar serían:

- Redacción del proyecto
- Análisis del proyecto
- Propuesta de modificaciones

En cuanto a las herramientas que se pueden emplear, señalar por su importancia:

- Software parametrizado de diseño asistido por computador (CAD) de piezas tridimensionales (3D).
- Maquetas

- Software para administración de proyectos.

Al final de esta fase se debería obtener la «Documentación Técnica» detallada del producto: memoria técnica, planos de conjunto y de despiece...

2.2.4 Ensayo y Verificación

Una vez que se ha completado el diseño de detalle del producto, debe evaluarse el grado de cumplimiento, por parte del mismo, de las especificaciones de diseño establecidas en las primeras fases. Para ello es necesario desarrollar prototipos funcionales y sobre ellos valorar, mediante ensayos en laboratorio y pruebas de uso, el cumplimiento de los requisitos y necesidades exigidas contemplando aspectos de comodidad, usabilidad y seguridad entre otros^[73]. Esta fase finalizaría una vez que se verificara que el diseño fuera correcto, pasando entonces a la de producción.

Por tanto en esta fase se pretende: corroborar si las estrategias y definiciones planteadas al principio han sido trasladadas de forma correcta al producto; facilitar el paso de la fase de diseño a la fase industrial y de producción (ir convirtiendo progresivamente la solución técnica en una solución práctica) y validar la propuesta en condiciones de uso realistas.

Las actividades principales que conllevaría esta fase podrían ser:

- Análisis técnico y económico de la propuesta de diseño.
- Ejecución de pruebas materiales (prototipos).
- Análisis de riesgos.
- Ensayos basados en norma.
- Selección de proveedores.
- Presupuesto de moldes y utillaje.
- Asesoramiento sobre montaje, acabados y embalaje.

En lo que respecta a las herramientas de trabajo más utilizadas podrían identificarse las siguientes:

- Testeo con clientes seleccionados.
- «Focus group».
- Software de cálculo.
- Software de simulación.
- Prototipos de diversos tipos: rápido, virtual, formal, funcional...
- Pre-serie.

Los resultados de esta fase son una «Verificación del Diseño», en condiciones de uso lo más realista posible y con una solución técnica ajustada y contrastada.

2.2.5 Producción

Consistiría en la puesta en marcha del sistema productivo mediante el acopio de maquinaria y utillajes y el diseño de la cadena de producción y montaje. En esta fase se pretende organizar, montar y documentar cuáles son las necesidades técnicas específicas para una correcta producción y distribución del producto y definir cómo y con qué medios se va a fabricar^[74]. Es muy importante que en esta etapa del diseño de un producto se describa perfectamente la sucesión de actividades necesarias adecuando y optimizando los medios productivos, definiendo los tiempos de cada uno de los procesos, los responsables involucrados en la producción del producto...

Las actividades que engloba la fase de producción son las habituales para la fabricación de cualquier producto:

- Validación de los utillajes, la maquinaria...
- Verificación del embalaje y la logística del producto.

- Análisis de la capacidad de fabricación.
- Aseguramiento de la trazabilidad del producto.
- Verificación de los objetivos de calidad del producto.
- Definir las actuaciones de control.

En lo que respecta a las herramientas más comunes se podrían citar:

- Diagramas de proceso.
- Método operativo y análisis de tiempos.
- Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) del proceso.
- Análisis de trazabilidad.
- Auditoria de procesos de fabricación.

El resultado más visible de esta fase sería, como era de esperar, la primera pre-serie de Fabricación del producto, que además se convertiría lógicamente en el punto de partida para la producción en serie. Todo ello a expensas de posibles modificaciones o mejoras que se fueran realizando sobre la marcha.

2.2.6 Lanzamiento y Comercialización

Desde el punto de vista del desarrollo de productos, es necesario que se acompañe al producto también es las etapas finales: en el lanzamiento al mercado y en la comercialización a través de su ciclo de vida económico. Se podría además, en la subetapa de lanzamiento del producto, distinguir entre un «prelanzamiento» (por ejemplo, la participación de la empresa en eventos feriales puede ser muy importante, con el fin de velar porque la comunicación sea coherente con los valores del producto) y el «lanzamiento» propiamente dicho (por ejemplo, descubrir cuáles son los requisitos clave que exige el distribuidor para acoger al producto en su

punto de venta o poder reutilizar la información de los consumidores para el desarrollo de otros nuevos).

En esta fase, se pretende fundamentalmente que el producto destaque sobre los similares de la competencia, para lo que se debería: tener agentes, distribuidores, etc., debidamente entrenados en el momento adecuado; lograr una correcta sincronización de las acciones de promoción y publicidad; garantizar un correcto entrenamiento del Servicio Técnico y de las áreas de devoluciones y reparaciones de la empresa...

Actividades asociadas a esta etapa serían:

- Desarrollo de campaña publicitaria en internet, prensa, medios audiovisuales, etc.
- Asistencia a ferias, congresos, foros sectoriales y otros.
- Estrategia de formación sobre el producto para distribuidores, servicio post venta...

Por otra parte, como herramientas que aplicar se tendrían:

- Catálogos, stands, avisos publicitarios, páginas web, etc.
- Sondeos y encuestas de opinión.
- Estudios de mercado.
- Servicio de atención al cliente.

El principal resultado de esta fase es lanzar el producto al mercado, de acuerdo con la estrategia adoptada. Además, esta etapa está pensada, entre otras cosas, para captar la atención del consumidor mediante los soportes diseñados para tal fin, crear procedimientos de distribución y conocer la percepción del mercado.

2.2.7 Fin de Ciclo de Vida

Si el fabricante piensa seguir desarrollando productos similares, siempre debe tener en mente qué pasa cuando el producto «muere». Así, por ejemplo, ya que una de las mayores

amenazas para el medio ambiente es la contaminación, tanto a través del escombrado como de la incineración, adoptar para la elaboración del producto los materiales ecológicamente más adecuados debería ser un aspecto clave para diseñadores, fabricantes o consumidores; con ello se minimizará el impacto medioambiental que se ocasione.

El objetivo de esta fase es, por tanto, verificar que el producto impacte lo menos posible el medio ambiente en el momento de su disposición final y conocer las opiniones de los consumidores sobre ciertos aspectos funcionales para mejorar futuros diseños.

2.3 Herramientas ergonómicas para el diseño

Como se ha explicado, la Ergonomía busca que las personas y los sistemas trabajen en completa armonía, diseñando productos, puestos de trabajo, entornos...de acuerdo con las características, necesidades, gustos y limitaciones humanas. Para ello, trata de adaptar estos sistemas de manera que se mejoren simultáneamente la eficiencia, seguridad y bienestar de los consumidores, usuarios o trabajadores.

Para lograr estos objetivos, como disciplina independiente del diseño que es, la Ergonomía emplea diferentes técnicas que también pueden llegar a ser utilizadas en la mejora del proceso metodológico de diseño de un producto descrito en el anterior capítulo de esta tesis. Así, pueden describirse de forma sucinta las siguientes herramientas:

2.3.1 Cuestionario

Es una de las técnicas más usadas cuando se trata de valorar la opinión subjetiva sentida por los usuarios, tras interactuar con el producto, respecto a: aspectos a mejorar, cualidades de confort, diferencias con respecto a la competencia... El cuestionario permite recabar información escrita a partir de las respuestas de las personas encuestadas ante una lista concreta de preguntas. Es de gran utilidad cuando la población objetivo es muy numerosa.

Debe destacarse el hecho de que, en función del objetivo perseguido en la evaluación ergonómica, se pueden formular distintos tipos de preguntas:

- *Preguntas abiertas*: son aquellas que se presentan sin ningún tipo de restricción en la respuesta y que, por tanto, están sin estructurar. Los datos obtenidos muestran muchas más dificultades en su tratamiento estadístico, aunque como contrapartida, ofrecen una información mucho más rica en cuanto a contenido.
- *Preguntas cerradas*: como su nombre indica, introducen una limitación de las posibilidades de respuesta, debiendo contestarse seleccionando alguna de las alternativas que presentan. Tienen la ventaja de permitir un tratamiento y análisis estadístico más adecuado de los datos, pero ofrecen una información más escueta.

Para diseñar un cuestionario acerca de los aspectos ergonómicos de un producto, que resulte realmente útil, se debe intentar que sea: breve, simple, elaborado a partir del conocimiento del producto, mostrado a una muestra representativa de usuarios...

2.3.2 Entrevista

Es la comunicación verbal con alguno de los usuarios que tienen experiencia en el uso del producto que se quiere diseñar o rediseñar, lo que permite recabar información acerca de diversos temas concernientes al mismo.

Como en el caso de los cuestionarios, pueden distinguirse varios tipos de entrevistas cuya utilización o no vendrá dada en función de los objetivos fijados por los ergónomos:

- *Entrevista estructurada*: en la que a todos y cada uno de los entrevistados se les pregunta lo mismo, en los mismos términos y en el mismo orden; es decir, sin que haya ninguna desviación entre un entrevistado y los demás. Mediante este tipo de entrevista se gana objetividad pero se pierde, en la mayoría de las ocasiones, información y detalles sobre los productos.
- *Entrevista semiestructurada*: en el mundo de la ergonomía quizás sea la más empleada, debido a su menor rigidez, pero sin caer en un grado de desestructuración total. En esta modalidad, el ergónomo sigue una guía que le orienta, expresando las preguntas de modo adaptado a cada usuario, para que cada uno gane en comprensión.

- *Entrevista libre o no estructurada*: consiste básicamente en una conversación con el usuario o usuarios sin ningún tipo de limitación ni esquema previo. Se trata de la modalidad que aporta mayor cantidad y variedad de información, aunque lógicamente sin tener asegurada una alta eficiencia en cuanto a los resultados obtenidos.

Para que una entrevista sea eficaz deberá cumplir las siguientes características básicas: los tiempos del uso de la palabra que se establezcan deben ser asimétricos (más para el entrevistado y menos para el entrevistador); no caer en sesgos y errores (condicionamientos verbales, sugestión...); las preguntas deben responder a necesidades específicas...

2.3.3 Fuentes de información

No todas las referencias ergonómicas necesarias para el desarrollo de un producto nuevo, o para la mejora de uno existente, deben generarse de forma expresa. Existen fuentes de información de diversa naturaleza, de diferente nivel de elaboración y de más o menos aplicabilidad directa, cuyo conocimiento y uso puede ahorrar mucho tiempo y esfuerzo, y hacer disminuir las posibilidades de error en el desarrollo de un producto. Además el concepto tradicional de «fuentes de información» ha sufrido un importante cambio desde la extensión del uso de internet, herramienta que facilita el acceso a una gran cantidad de datos a nivel mundial y en muy poco tiempo.

Algunos tipos de información que contienen datos ergonómicos ya elaborados y que pueden ser muy útiles para el desarrollo de productos pueden ser:

2.3.3.1 Catálogos comerciales

Este tipo de catálogos son muy útiles en distintos aspectos. Por un lado, como una primera aproximación al producto. En ellos, los artículos aparecen descritos según la imagen que se quiera transmitir y son muchas veces una de las variables más importantes en la toma de decisión de compra de un bien de consumo.

Además, los catálogos comerciales sirven de referencia sobre las tendencias de diseño existentes en el mercado, sobre las nuevas soluciones técnicas y, a veces, sobre el nivel de precio de una determinada gama de producto. Incluso, pueden descubrir nichos de mercado o segmentos escasamente cubiertos por otros fabricantes.

2.3.3.2 Catálogos técnicos

Son documentos en los que se ofrece, de forma ordenada y comparable, información técnica sobre varios productos análogos de diferentes fabricantes. Suelen estar desarrollados por distribuidores o por organismos independientes (asociaciones de consumidores, revistas especializadas...) y pueden considerarse información de mercado, ya que muestran las variantes existentes en relación con parámetros técnicos.

2.3.3.3 Manuales de instrucciones

Todo producto de mercado debe contar con un manual de instrucciones, más o menos extenso, que describa las condiciones de uso, las medidas de seguridad, el mantenimiento exigido... Entre toda esta información, siempre hay datos que se deben considerar desde el punto de vista de la Ergonomía, tanto para mejorar los diseños actuales de los productos de la competencia como para darse cuenta de la falta de ciertas características ergonómicas destacables.

2.3.3.4 Estudios de mercado, publicaciones científicas...

En este bloque de fuentes de información, siempre puede haber datos ergonómicos muy interesantes a la hora de desarrollar un nuevo producto. Análisis de las tendencias de gustos de los consumidores, publicaciones sobre trastornos musculoesqueléticos que afectan a usuarios de ciertos productos, artículos sobre la aparición de nuevas tecnologías que mejoren la adaptación del producto a un usuario, páginas de internet que recojan las opiniones de grupos de consumidores...

2.3.3.5 Normativa legal o técnica

Pese a que las referencias a la ergonomía en las distintas normativas de diseño y fabricación de productos son casi siempre mínimas, aunque también es verdad que en los últimos años están en un claro aumento, existen una serie de normas generales de aplicación de principios ergonómicos básicos a la hora de diseñar cualquier producto. Así pueden citarse, por ejemplo, normas ergonómicas vigentes como la UNE-EN ISO 6385:2004^[75], sobre los principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo, o la UNE-EN ISO 15537:2005^[76], sobre los principios para la selección y empleo de personas en el ensayo de aspectos antropométricos de productos y diseños industriales.

También es posible echar una mirada a normativas ergonómicas establecidas en otros países, como Suecia, Japón, Canadá, Finlandia, Estados Unidos, Holanda..., en los cuales el desarrollo de esta disciplina es superior al existente en nuestro país. No obstante, no se debe olvidar que el hablar de un producto ergonómico es imposible si no existe una adecuación del mismo a las personas concretas que componen el mercado objetivo. Y este grupo poblacional objetivo puede ser muy diferente en función del país, como consecuencia de diferencias culturales, medidas del cuerpo, estado actual de la tecnología, etc.; por lo que siempre se debe analizar, con mucho cuidado, este tipo de normativa.

En resumen, la información que puede obtenerse de los documentos normativos es fundamental en el desarrollo de un nuevo producto. Aunque ciertas normas no siempre sean de obligado cumplimiento, a menudo cumplirlas es un requisito del mercado.

2.3.3.6 Patentes y Modelos de Utilidad

Las patentes son frecuentemente la primera fuente publicada de las nuevas invenciones y, por tanto, la primera fuente de conocimiento de un nuevo producto. Su importancia en el desarrollo de otros artículos radica en dos aspectos: por un lado, es el modo de publicación más temprano para productos y tecnologías y, por otro, permite encaminar el desarrollo hacia nuevas soluciones que no entren en conflicto con otras previas.

El modelo de utilidad protege invenciones de menor rango que las protegidas por las patentes. Por ejemplo, aquellas que consistan en dar a un objeto una configuración o estructura de la que se derive alguna utilidad o ventaja práctica.

Tanto de unas como de otras existen bases de datos a través de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), en las que puede obtenerse información más concreta relativa a los aspectos ergonómicos incluidos en los nuevos productos.

2.3.4 Proyección de expectativas

Esta herramienta es utilizada frecuentemente por los ergónomos. Se trataría de definir mentalmente el contexto de uso de un producto, a partir del conocimiento de la tarea y de las características de los usuarios. Es decir, es una técnica basada en la experiencia que tiene el ergónomo sobre la verdadera realidad de uso de un producto y por lo tanto su eficacia dependerá de la valía profesional del ergónomo o ergónomos integrados en el equipo de trabajo.

2.3.5 Software de simulación

Actualmente, y gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías, es posible, antes de tener ni siquiera el prototipo de un producto, poder simular en el ordenador la relación existente entre producto-usuario-contexto. Para ello se debe contar con un software parametrizado de diseño asistido por ordenador de objetos tridimensionales (CAD 3D), que además puede complementarse si dispone a su vez de una aplicación con plantillas humanas.

A día de hoy, muchas son las alternativas de este tipo de software existentes en el mercado: Ergonomics DELMIA, AnyBody Modeling System, HumanCAD...



Figura 2.2. Ejemplo de software de simulación en coche-conductor-cambio de marcha (*Ergonomics DELMIA*)

2.3.6 Antropometría y Biomecánica

La Antropometría y la Biomecánica son dos áreas de la Ergonomía. La primera describe el cuerpo humano por sus medidas mientras que la segunda estudia ese mismo cuerpo desde el punto de vista de la mecánica clásica. Lógicamente ambas áreas son compatibles entre sí e indispensables para poder diseñar un producto ergonómico.

Sería muy difícil poder realizar un correcto diseño de un producto, desde el punto de vista ergonómico, si no se trabaja con datos antropométricos que permitan conocer las características de los usuarios. Y además, hay que tener siempre en cuenta que los usuarios no permanecen inmóviles a lo largo del tiempo e interactúan con su entorno, por lo que habrá que considerar aspectos biomecánicos como: fuerzas, alcances, etc. Así, en términos generales, las mediciones de las dimensiones del cuerpo han de ser de dos clases, las dimensiones estructurales estáticas y las dimensiones funcionales o dinámicas. La antropometría estática concierne a las medidas efectuadas sobre dimensiones del cuerpo humano en una determinada postura en ausencia de movimiento. La antropometría dinámica o biomecánica tiene presente que las personas se mueven, considera los rangos de movimiento de las partes del cuerpo, alcances, medidas de trayectorias...^[77].

En la Figura 2.3. se muestran algunas dimensiones estáticas del cuerpo humano, entre las que se encuentran aquellas de mayor influencia en el diseño de un puesto escolar, como por

ejemplo la altura poplítea (11), la altura de los ojos sentado (8), la longitud codo-puño (16)... En la Tabla 2.1. se describen alguna de estas últimas medidas.

Existe una abundante información de datos antropométricos de numerosas poblaciones, fundamentalmente en los países desarrollados. Por ejemplo, las obras de Pheasant (1986 y 1990)^[78,79] incluyen una abundante información de diferentes países, así como una descripción de los procedimientos para aplicar la antropometría a problemas de diseño concreto.

En cuanto a datos biomecánicos, los datos disponibles son más escasos ya fundamentalmente han sido obtenidos para solucionar problemas concretos.

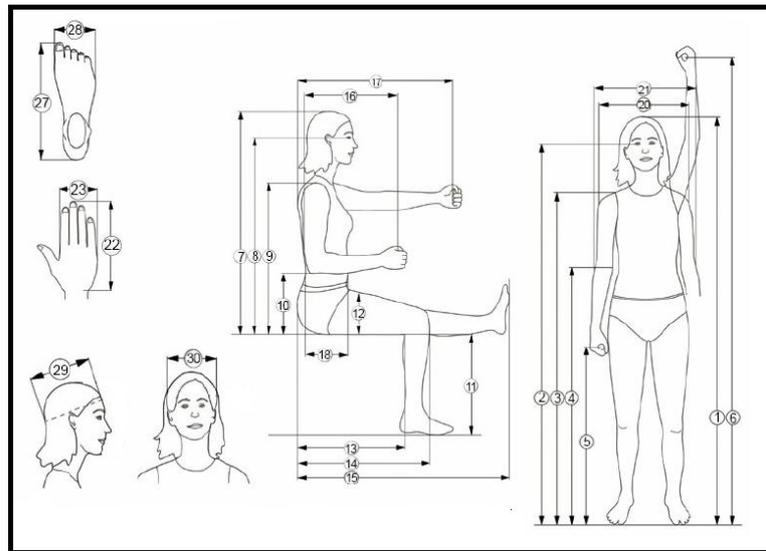


Figura 2.3. Principales medidas antropométricas^[80]

Medidas		Descripción
8	Altura de los ojos, sentado	Es la distancia vertical desde el eje horizontal que pasa por el centro de la pupila del ojo hasta la superficie del asiento, cuando la persona está en PPA ³ .
11	Altura poplítea	Es la distancia vertical medida desde el suelo hasta el punto más alto de la depresión poplítea, estando el individuo sentado con los pies apoyados de forma plana sobre el suelo y el borde anterior del asiento no ejerciendo presión en la cara posterior del muslo.
12	Espesor del muslo	Es la distancia vertical desde la superficie de asiento al punto más alto del muslo derecho.
13	Longitud nalga-poplítea	Es la distancia entre el plano más posterior a la nalga al plano más posterior del hueco poplíteo, estando el muslo en ángulo recto, con relación al tronco.
14	Longitud nalga-rodilla	Es la distancia entre el plano más posterior a la nalga al plano más posterior de la rodilla, estando el muslo en ángulo recto, con relación al tronco. La distancia puede no ser paralela al plano horizontal.
16	Longitud codo-puño	Es la distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta el eje del puño, el codo flexionado en ángulo recto.
17	Alcance máximo horizontal (puño cerrado)	Es la distancia horizontal desde una superficie vertical hasta el eje del puño de la mano mientras el sujeto apoya ambos omóplatos contra la superficie vertical.
18	Profundidad abdominal	Es la distancia horizontal medida desde el plano vertical que pasa por el occipital, las escápulas y los glúteos hasta el punto más alejado del abdomen.

Tabla 2.1. Descripción de las medidas antropométricas^[80]

2.3.7 Registros electrofisiológicos

Este grupo de técnicas consigue cuantificar los aspectos físicos, e incluso en ciertas ocasiones los mentales y emocionales, que están produciéndose en el usuario como consecuencia de la interacción con el producto que se valora.

Además, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, el grado de interferencia o invasión que este tipo de registros provocaba en el sujeto (objeto del análisis) y con la tarea (que éste estuviera realizando con el producto diseñado), ha quedado muy reducido. Incluso con la utilización de telemetría de última generación se pueden registrar las señales a distancia y en tiempo real.

³ La posición de atención antropométrica (PPA) exige los siguientes requisitos: de pies, con los talones unidos y el cuerpo perpendicular al suelo, recostados los glúteos y la espalda a un plano imaginario perpendicular al suelo, los brazos descansando verticalmente a ambos lados del cuerpo con las manos extendidas, los hombros relajados, sin hundir el pecho, y con la cabeza en la posición del plano de Frankfort (que consiste en la adoptada de manera que un plano horizontal imaginario pase tangencialmente por el borde superior del conducto auditivo y por el pliegue del párpado inferior del ojo).

De las numerosas técnicas disponibles, se pueden destacar las siguientes:

- *Electrogoniometría*: permite registrar y medir los ángulos de movimiento de las diferentes articulaciones en los elementos anatómicos objeto de estudio.
- *Electromiografía*: permite evaluar, por mediciones de la actividad eléctrica muscular, la actividad desarrollada por una persona con un determinado grupo muscular, durante la realización de una tarea.
- *Registro facial de emociones*: a través del registro visual de los movimientos de los músculos de la cara, pueden llegar a categorizarse las emociones básicas de una persona cuando interacciona con un sistema o producto.
- *Frecuencia cardíaca*: mediante el uso de un pulsómetro o de un Holter se puede medir el esfuerzo físico que conlleva la tarea para el usuario concreto que la realiza. Esta técnica tiene un gran potencial, ya que bajo ciertas condiciones, a partir de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, se podría incluso conocer de manera aproximada la carga mental del usuario que porta el pulsómetro.

2.3.8 Mediciones de ambiente físico

En el mercado hay una serie de equipos como luxómetros, sonómetros, termómetros, vibrómetros... que permiten cuantificar el ambiente físico que rodea al usuario. Y estas medidas, comparadas con unos valores estándar, que pueden incluso llegar a estar normalizados o legislados, dan idea de la situación de mayor o menor confort ambiental del usuario.

Sin embargo, estos valores del ambiente físico son relativos: dependen también de la valoración que les dé el propio usuario. Son precisamente el análisis de cómo se desarrolla la interacción con el objeto y la opinión del propio usuario, los que permiten abordar su significado. Es decir, la medición de los valores del ambiente físico, el análisis del uso real del producto y la valoración subjetiva a través de entrevistas, escalas o técnicas similares constituyen realmente el grupo de técnicas empleadas para medir los efectos del ambiente físico.

2.3.9 Observación

Buena parte de los conocimientos que poseemos en la vida cotidiana se derivan de la observación. Sin embargo, se debe diferenciar la observación, como técnica de investigación ergonómica, del simple hecho de ver o mirar.

Se trata de conocer lo más a fondo posible cuál es el contexto ambiental, temporal, organizativo, cultural, etc. en los que se va a dar uso al producto. Y toda esta información servirá para poder conocer los puntos fuertes y/o débiles del mismo; en situaciones que, incluso la mayoría de las veces, no han podido ser previstas por el propio diseñador.

Se trata, por tanto, de introducir al usuario en situaciones habituales (no artificiales) y teniendo siempre presente que la propia situación de la observación puede inhibir la naturalidad o espontaneidad del usuario, lo que conllevaría un importante sesgo derivado de lo artificial de las conductas observadas. Está más que desmostrado que la presencia del observador influye en mayor o menor medida, sobre las conductas de los usuarios.

Se pueden distinguir dos tipos de observaciones, según el modelo de intervención del observador:

- *Observación no participante.* El observador se limita a registrar aquello que observa, sin intervenir. En este caso, no es posible saber si el usuario se hubiera comportado del mismo modo de no estar presente el ergónomo observador. Debido a esto, a veces se recurre a una «observación encubierta», que si bien presenta ventajas metodológicas, puede presentar problemas éticos.
- *Observación participante.* Presenta mayores posibilidades, aunque al mismo tiempo implica mayores riesgos metodológicos. El observador mantiene una relación cara a cara con el usuario. De modo que pasa a formar parte del contexto, por lo que lógicamente estará modificándolo.

Para que una observación sea válida deberá ser planificada de forma sistemática. Las observaciones serán anotadas sobre el terreno o, en su defecto, lo más rápidamente posible; las opiniones y deducciones realizadas por el observador deben ser anotadas de forma separada y estar sujetas a comprobaciones y controles de validez y fiabilidad.

2.3.10 Pruebas de usabilidad

Se entiende por *usabilidad*^[81] «la medida en la que un producto se puede usar por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con *efectividad*, *eficiencia* y *satisfacción* en un contexto de uso especificado».

La «*efectividad*» es la precisión y la plenitud con la que los usuarios alcanzan los objetivos especificados. Por «*eficiencia*» se entenderán los recursos empleados en la relación con la precisión y la plenitud con la que los usuarios alcanzan los objetivos marcados. Por último, la «*satisfacción*» es la ausencia de incomodidad y la actitud positiva en el uso del producto. Éste último factor es subjetivo ya que depende de un gran número de variables; por ejemplo, del nivel de expectativa del usuario.

Se denominan pruebas de usabilidad a aquellos ensayos que pretenden encontrar las carencias de usabilidad del producto, sus causas y el modo de resolverlas, a través de la colaboración de un grupo de participantes representativos. Estas pruebas cubren un amplio rango de metodologías de ensayo, que van desde complejos estudios con muestras de gran tamaño hasta estudios cualitativos menos formales con un único participante. Aun cuando algunos problemas son rápidamente identificables, la complejidad de algunos productos y, sobre todo, la necesidad de un correcto aprendizaje y de una familiarización razonable con ellos por parte del usuario reclaman este tipo de estudios. Los inconvenientes principales de los estudios de campo son, lógicamente, su duración y su coste.

La aplicación de la usabilidad en las primeras fases de desarrollo del producto permite explorar el grado de intuición asociado al uso del mismo, a partir de un esqueleto del producto (prototipo con implementación de las funciones más básicas). La información obtenida encauzará el diseño de detalle del artículo, aportará información para la redefinición de alguna de las funciones básicas.

La aplicación de pruebas de usabilidad sobre un prototipo del producto con mayor nivel de definición permite evaluar con qué eficacia se han implementado los parámetros de diseño que se establecieron como objetivo.

Asimismo, otra aplicación relevante es la evaluación comparativa de diferentes alternativas de diseño, así como la comparación con un estándar de usabilidad, que bien puede ser el de la competencia, uno definido internamente por la empresa, etc.

2.4 Herramientas de análisis ambiental para el diseño

En el proceso del diseño se requiere una evaluación ambiental del ciclo de vida del producto, ya sea para establecer los principales aspectos ambientales a reducir, como para evaluar la mejora lograda por las diversas alternativas de Ecodiseño. Por tanto, el análisis ambiental debe ser realizado considerando el ciclo completo del bien producido e incluyendo todos los elementos que forman parte de su sistema.

Existen diversas técnicas o herramientas de análisis ambiental que podrían ayudar a integrar este tipo de evaluación en el proceso de diseño, pudiendo clasificarse en:

- *Cualitativas*: Listas de comprobación (LC), Rueda Estratégica del Ecodiseño.
- *Semicuantitativas*:
 - o *Monovectoriales*: Evaluación del Cambio de Diseño (ECD), Método MIPS, Demanda Acumulada de Energía (DAE).
 - o *Multivectoriales*: Matriz MET.
- *Cuantitativas*:
 - o *Multivectoriales*: Ecoindicadores, Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

La selección de una u otra técnica depende de los recursos humanos y económicos disponibles, de la información ambiental que se posea y del margen de actuación que se permita sobre el diseño; así también como del objetivo con el que se aplique el análisis.

2.4.1 Listas de Comprobación (LC)

Es una técnica que consiste en cuestionar el producto analizado, desde la óptica ambiental. Las listas de comprobación apoyan el análisis ambiental cualitativo, enunciando todas las preguntas relevantes que deben responderse para determinar las fases más problemáticas en el ciclo de vida de un producto. Por medio de este proceso interrogativo, se evidencian las debilidades ambientales asociadas a la manufactura y afloran posibilidades de mejora ambiental^[82].

ETAPA DE DISEÑO	PREGUNTAS
Análisis de necesidades	¿Cómo responde su producto a las necesidades sociales?
	¿Cuáles son las funciones principales y auxiliares del producto?
	¿Cumple el producto estas funciones eficaz y eficientemente?
Producción y obtención de materiales y componentes	¿Qué problema puede surgir durante la producción y obtención de materiales y componentes?
	¿Cuántos y qué tipos de plástico son utilizados?
	¿Cuántos y qué tipos de aditivos son utilizados?
	¿Cuántos y qué tipos de metales son utilizados?
Producción	¿Qué problemas pueden surgir durante el proceso de producción dentro de la empresa?
	¿Cuántos y qué tipos de procesos de producción se utilizan (incluyendo conexiones, tratamientos superficiales, impresiones y etiquetado)?
Distribución	¿Qué problemas pueden surgir durante la distribución del producto hacia el consumidor?
	¿Qué tipo de envases y embalajes se utilizan (volumen, peso, materiales, reutilización)?
	¿Qué tipo de sistemas de transporte son utilizados?
	¿Está el transporte organizado eficientemente?
Utilización	¿Qué problemas pueden surgir durante el uso, mantenimiento o reparación del producto?
	¿Cuánta y qué tipo de energía se necesita, directa o indirectamente?
	¿Cuántos y qué tipos de consumibles se necesitan?

Tabla 2.2. Lista de comprobación de Hans Brezet y Caroline Van Hemel^[82]

Al tratarse de una herramienta subjetiva y cualitativa, se puede aplicar de manera sencilla, de forma rápida y a modo individual o a través de talleres con todo el equipo de proyecto

involucrado. De esta manera surgen las fortalezas y debilidades desde el aspecto ambiental, así como las posibles opciones de mejora existentes.

Generalmente para responder a las preguntas de la LC no se cuantifican los impactos ambientales asociados al producto, aunque puede existir de forma complementaria información cuantitativa. El amplio rango de profundidad en las preguntas permite usar la lista de comprobación en distintos momentos del proceso del Ecodiseño, desde el análisis ambiental del producto de referencia hasta la generación de ideas de mejora. Algunas de las preguntas que se pueden hacer se muestran en la Tabla 2.2 (extracto de la lista de comprobación de Hans Brezet y Caroline Van Hemel).

2.4.2 La Rueda Estratégica del Ecodiseño

Esta «Rueda» es una herramienta para seleccionar y comunicar las estrategias de Ecodiseño. Se trata de un modelo conceptual que muestra todos los campos de interés del Ecodiseño, intentando evitar siempre que sea posible el solapamiento. Estos campos de interés están agrupados en ocho estrategias, las cuales están vinculadas a los ocho ejes de la rueda y que serían:

0. Desarrollo de nuevos conceptos.
1. Selección de materiales de bajo impacto.
2. Reducción del uso de materiales.
3. Optimización de las técnicas de producción.
4. Optimización del sistema de distribución.
5. Reducción del impacto durante el uso.
6. Optimización del tiempo de vida inicial.
7. Optimización del sistema de fin de vida.

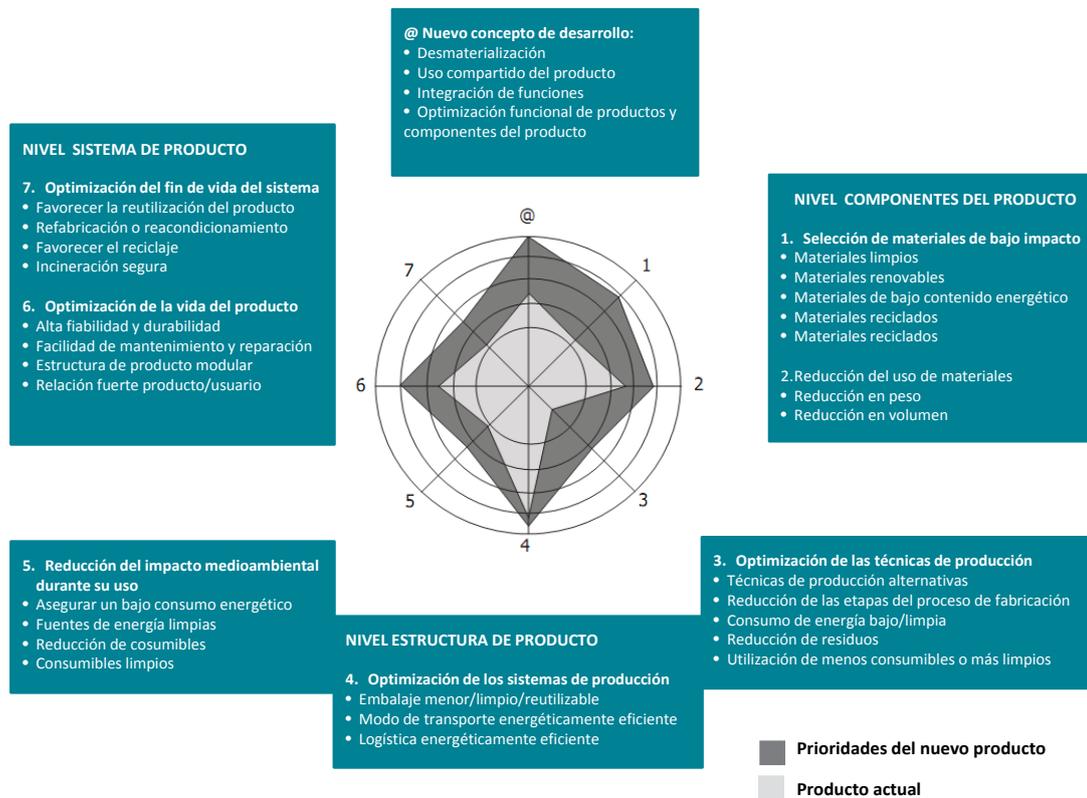


Figura 2.4. Rueda Estratégica de Ecodiseño^[82]

La mayor parte de las estrategias de Ecodiseño están relacionadas con el ciclo de vida del artículo. La primera estrategia es diferente, puesto que no se basa en el concepto actual de un producto, sino que cuestiona en qué medida el sistema-producto actual cumple las necesidades de los usuarios. El resto de las estrategias se refieren al nivel «componentes del producto», al nivel «estructura del producto» y al nivel «sistema del producto».

Durante el análisis del perfil medioambiental de los productos, muchas opciones de mejora habrán surgido de forma espontánea y otras surgirán a partir del uso complementario de otras herramientas. Estas opciones de mejora pueden ser agrupadas en función del tipo de estrategia y su prioridad a la hora de diseñar el artículo, vendrá dado en función de su posición relativa en la «Rueda».

Los resultados de establecer la estrategia de Ecodiseño más prometedora en el proyecto se puede visualizar con la Rueda Estratégica. Las prioridades de diseño se pueden implantar a corto

y a largo plazo. Las estrategias de la 1 a la 7 serían las «opciones de mejora» que conducen a mejoras ambientales que pueden ser ejecutadas en términos de tiempo entre cortos y medios. Las opciones de mejora a largo plazo se encuentran en la estrategia @ «desarrollo de un nuevo concepto».

Los requisitos ambientales deben ser descritos cuantitativamente en la medida de lo posible, puesto que esto facilita la comparación de conceptos de productos diferentes o soluciones detalladas en fases posteriores.

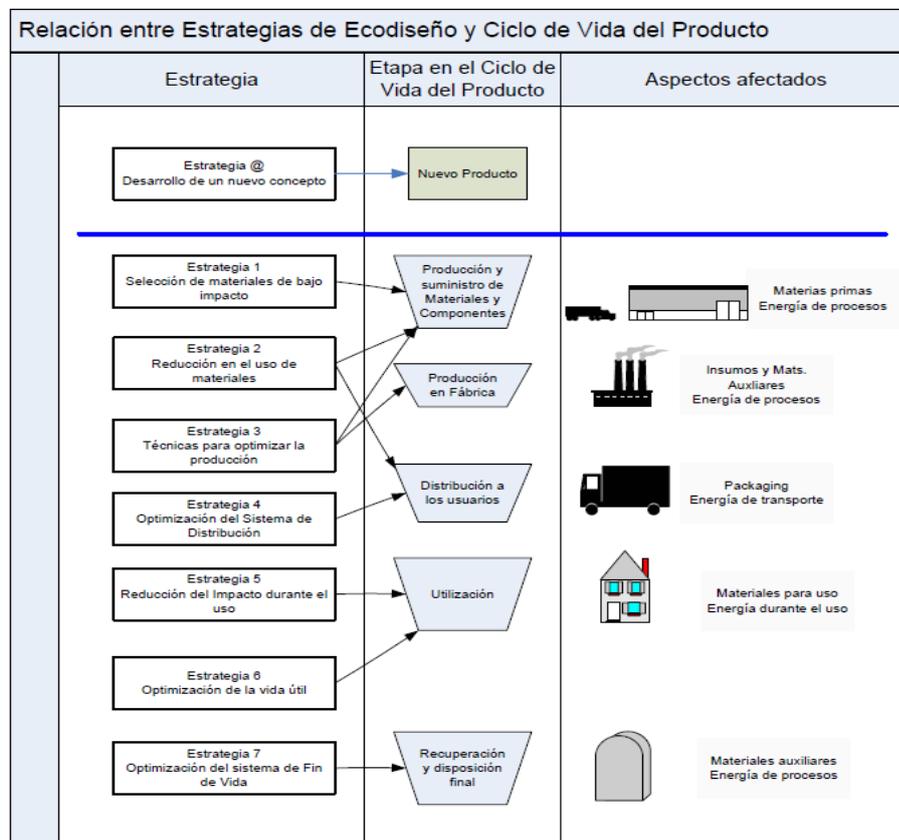


Figura 2.5. Relación entre las estrategias de ecodiseño y el ciclo de vida del producto^[82]

Existe una relación entre las estrategias de Ecodiseño y las cinco principales etapas del ciclo de vida del producto. En la Figura 2.5. se ilustra esta relación. La estrategia @ no forma parte de ninguna de las etapas del ciclo de vida, puesto que lleva directamente a un nuevo

concepto de producto. En la Figura 2.5 solo se muestran los principales efectos de cada estrategia, pero eso no implica que no puedan influir en más etapas. Por ejemplo, la etapa de recuperación y disposición final es influenciada sólo por la estrategia 7, sino que también se podría mejorar mediante las estrategias 1, 2 y 4.

Por otra parte, dos estrategias de Ecodiseño pueden influenciarse mutuamente de manera favorable, no interactuar en absoluto o hacerlo de una manera desfavorable. Un efecto favorable es aquel que actúa sinérgicamente hacia un mismo resultado, ya que las dos estrategias se complementan mutuamente. En cambio, si la interacción es negativa, los dos principios se contradicen entre sí, la solución de un problema ambiental puede crear o aumentar otro problema ambiental. En este caso debe hacerse una elección de uno de los principios basándose en el beneficio ambiental predecible, la factibilidad técnica y económica y las oportunidades de mercado. Ejemplos de compromisos entre diferentes principios de Ecodiseño se muestran en la Tabla 2.3.

Principios de Ecodiseño	Estrategia	Otros principios de Ecodiseño con los que entra en conflicto
Materiales limpios	1	Larga vida útil estética y técnica (por ejemplo recubrimiento superficial)
Materiales reciclados	1	Productos livianos Larga vida útil estética
Materiales reciclables	1	Productos livianos (por ejemplo reforzados con fibra de vidrio)
Reducción de peso	2	Construcción confiable desde el punto de vista operativo
Menos embalaje	4	Protección del producto
Optimización de la vida útil	6	Aplicación de innovaciones deseables ambientalmente
Reutilización del producto	7	Poco transporte
Refabricación/Reacondicionamiento	7	Poco transporte
Reciclado de materiales	7	Poco transporte Menos energía de proceso y más limpia
Uso compartido del producto	@	Relación entre el consumidor y el producto (el usuario puede sentirse menos responsable por el producto)

Tabla 2.3. Ejemplos de compromisos entre diferentes principios de ecodiseño

2.4.3 Evaluación del Cambio de Diseño (ECD)

Se trata de una técnica semicuantitativa y monovectorial y de sencilla aplicación en la gran mayoría de los productos. Con esta herramienta se analizan exclusivamente los residuos generados por el producto a lo largo de su ciclo de vida. Los datos que se extraen del análisis son:

- El volumen y el peso de los residuos generados a lo largo del ciclo de vida del producto.
- Las previsiones futuras del incremento en la generación de residuos.
- El grado de toxicidad y reutilización de los residuos asociados al producto.

A continuación, se plantean y seleccionan las ideas de mejora y se termina con la elección e implantación de la mejor opción de Ecodiseño.

2.4.4 Intensidad Material por Unidad de Servicio (MIPS)

El análisis MIPS es una técnica semicuantitativa y monovectorial, mediante la cual se cuantifican los recursos materiales utilizados por un producto para el desempeño de su función a lo largo de todo el ciclo de vida. Esta herramienta fue desarrollada por el Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy a partir de los postulados de Robert Ayres y periódicamente publica la Intensidad Material (IM) de varios tipos de materiales, fuentes de energía y sistemas de transporte.

Con el análisis MIPS se estima la IM, que indica la cantidad de materias primas, suelo, agua y aire que han sido utilizados directamente o indirectamente por el producto. Una vez conocido el IM, si se divide entre el número de servicios que proporciona el producto a lo largo de su ciclo de vida, se tiene el llamado índice MIPS. Este índice permite identificar y valorar los componentes y las etapas del ciclo de vida con mayores impactos ambientales asociados, lo que permitirá posteriormente el poder tomar las mejores decisiones sobre las opciones de mejora definidas.

2.4.5 Demanda Acumulada de Energía (DAE)

El análisis de la Demanda Acumulada de Energía (DAE) es una técnica semicuantitativa mediante la cual se cuantifica la energía consumida por el producto a lo largo de todo su ciclo de vida. Con el análisis DAE se ha de ser capaz de identificar las fases del ciclo de vida del producto más problemáticas y con mayores impactos ambientales generados y comparar las distintas alternativas de diseño planeadas para evitar el traslado de impactos ambientales entre fases.

Los distintos tipos de energía que se pueden cuantificar dentro de cada una de las fases de ciclo de vida son el consumo de energía directo, tanto del producto como de los diferentes tipos de materiales utilizados en su fabricación, y los consumos indirectos (uso, infraestructuras, consumibles...) asociados al propio producto.

2.4.6 Matriz MET

Es una técnica semicuantitativa y multivectorial en la que se valoran en forma de matriz, tanto cualitativamente (utilización de materiales tóxicos, sustancias a evitar...) como cuantitativamente (las cantidades de materiales asociadas al producto, kg. de residuos generados...), el consumo y generación de residuos Materiales, el consumo de Energía y la emisión de sustancias Tóxicas (MET) asociados a cada una de las fases del ciclo de vida del producto.

Con todos estos datos recogidos, se pueden determinar las fases más problemáticas, dentro del contexto ambiental, de todo el ciclo de vida del producto; identificando así, de una manera rápida y clara, todas las acciones necesarias para poder tratar de reducir los impactos ambientales del mismo.

La estructura básica de la matriz MET se muestra en la Tabla 2.4.

	Materiales	Energía	Emisiones tóxicas
Producción de materiales y componentes			
Distribución			
Uso/Utilización			
Mantenimiento/Vida útil			
Fin de vida			

Tabla 2.4. Estructura de la Matriz MET^[83]

2.4.7 Ecoindicadores

Es una técnica cuantitativa y multivectorial que expresa el impacto ambiental de un proceso o producto, a lo largo de todo su ciclo de vida, a través de un valor numérico. Cuanto mayor es el valor, mayor es el impacto ambiental.

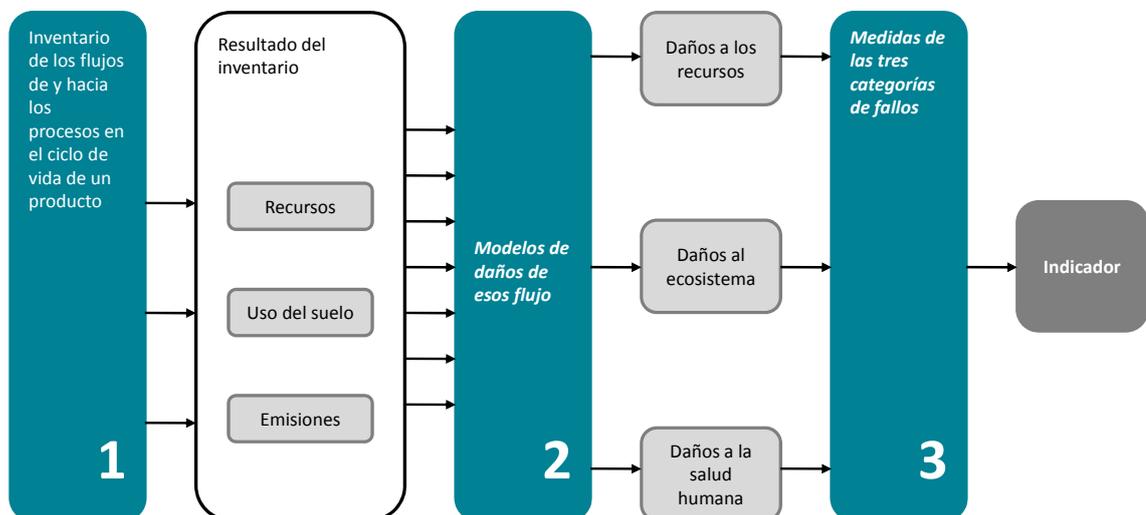


Figura 2.6. Esquema para el desarrollo de ecoindicadores^[8]

El uso de los ecoindicadores se realiza tras la definición de los aspectos e impactos ambientales en el análisis del ciclo de vida. Es, por lo tanto, una herramienta que completa el análisis del mencionado ciclo y ayuda a su comprensión. Los valores de los ecoindicadores, aunque no existen para todos los productos o actividades, se han obtenido experimentalmente en función de modelos de daños y ciertos condicionantes, tales como: el factor suerte, ajustes, etc. Los resultados de los modelos de daños se analizan y se ponderan para obtener el valor del indicador en función del daño causado sobre la salud humana, a la diversidad de especies, a los recursos y al entorno, entre otros. En la Figura 2.6 se muestra un esquema para el desarrollo de ecoindicadores.

Como resultado de esta etapa, se dispone de información sobre cuáles van a ser los principales aspectos ambientales del producto y, por tanto, hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos ecológicos de los diseñadores.

2.4.8 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Es uno de los sistemas más empleados y además el único estandarizado (por la serie de Normas ISO 14040)^[84], lo que le da mayor aceptación y rigurosidad. Se trata de la herramienta más completa y significativa que se utiliza actualmente para llevar a cabo los proyectos de Ecodiseño. Su objetivo principal es proporcionar información sobre el comportamiento ambiental de un producto, desde la obtención de las materias primas hasta el fin de su vida útil.

Según la Society of Environmental Toxicity and Chemistry^[85], el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un proceso para:

- Evaluar los aspectos medioambientales asociados a un producto, proceso o actividad, mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados y los residuos emitidos al medioambiente.
- Analizar el impacto de esa energía y materiales empleados y de las emisiones al medio ambiente de contaminantes.
- Identificar y evaluar oportunidades para la mejora ambiental.

La evaluación incluye el ciclo de vida completo del producto, proceso o actividad: aprovisionamiento de materias primas, fabricación, transporte y distribución, uso, reciclado, mantenimiento y gestión final. Debemos destacar que dicho análisis ya puede realizarse mediante softwares especializados, como pueden ser el «Sima Pro» o el «Gabi». Las estrategias de mejora ambiental se proponen una vez definidos y cuantificados el uso de materiales y energía y las emisiones al medio ambiente. De forma muy sucinta, la metodología que sigue el ACV es la siguiente:

- *Definición del objetivo y el alcance*: en esta fase, previa a la realización del análisis, es preciso definir claramente al menos los siguientes aspectos:

- Objetivo del estudio
- Unidad de análisis del estudio
- Ámbito temporal analizado
- Cargas ambientales a medir
- Elementos del producto del que analizar su impacto ambiental

- *Análisis de inventario*: obtención de datos y procedimientos para cuantificar las entradas y salidas.

- *Evaluación de impacto*: evaluar los potenciales impactos, utilizando resultados previos.

- *Interpretación de resultados*: comparaciones, conclusiones y recomendaciones.

2.4.9 Utilización de las técnicas de ecodiseño

El Análisis de Ciclo de Vida es la técnica más usada si bien a veces, resulta demasiado compleja; por lo que en ocasiones parece más práctico aplicar alguna de las otras herramientas más simples. Cada una de las técnicas de análisis ambiental de productos se adecúa a aplicaciones y circunstancias concretas. En la Figura 2.7. se representa una secuencia lógica de utilización de las técnicas de análisis ambiental en el proceso de implantación del Ecodiseño en una empresa.

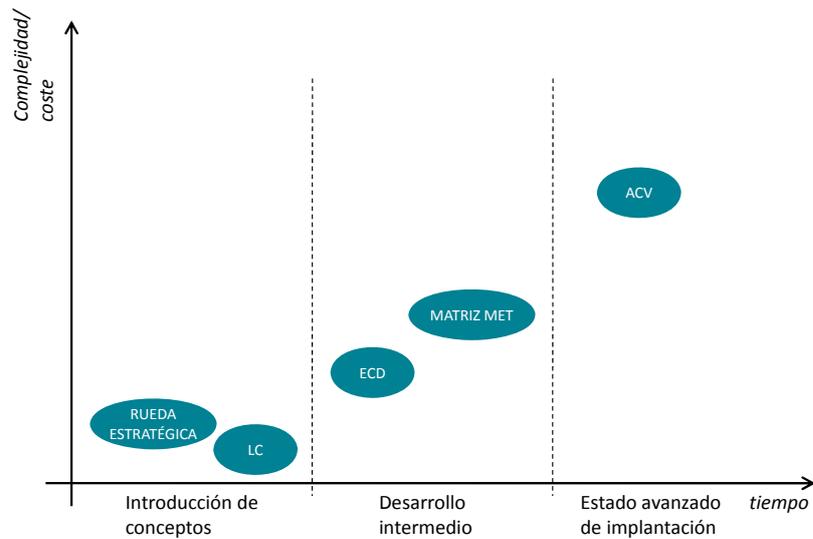


Figura 2.7. Relación entre la complejidad de uso de la herramienta y estado de implantación del ecodiseño^[86]

Es muy importante destacar la importancia del atributo de la simplicidad a la hora de introducir el Ecodiseño en una empresa: que las herramientas utilizadas no requieran el uso de especialistas y que, además, fomenten el uso de conceptos ambientales básicos y el trabajo interdisciplinar. En este sentido, por su sencillez y practicidad, las técnicas más adecuadas para iniciar el proceso de Ecodiseño son las Listas de Comprobación y la Rueda Estratégica.

En la generación de ideas de producto se pueden emplear las Listas de Comprobación si bien, para un análisis ambiental más profundo, las técnicas más adecuadas serían la Matriz MET y la Evaluación del Cambio de Diseño; el uso de una u otra dependería, fundamentalmente, del tipo de producto. Estas técnicas, como son relativamente simples de utilizar para poder comparar distintas alternativas, se emplean cuando es necesario determinar, de modo orientativo, los efectos ambientales que un determinado cambio en el diseño del producto tiene sobre el impacto ambiental global del mismo.

Una vez desarrollado el diseño del producto, y con los datos detallados sobre su composición y uso, se puede realizar un análisis ambiental más detallado, que permita determinar los beneficios ambientales de las mejoras introducidas. Sólo cuando se tiene cierta

experiencia en Ecodiseño resulta interesante plantearse el uso de métodos más complejos, como el Análisis del Ciclo de Vida. De lo contrario podría llegarse a un estado de frustración y de desinterés por estos temas, debido al tiempo y al coste requeridos para su análisis. En general, el uso del ACV en etapas tempranas de implantación de una metodología de Ecodiseño en la empresa es posible a partir de la colaboración de expertos externos a la empresa; por ejemplo, empresas consultoras o universidades.

En caso de que no se disponga de la cuantificación detallada de las diversas entradas y salidas de materiales y energía a lo largo de diversas etapas del ciclo de vida de un producto, se puede evaluar la mejora obtenida de forma orientativa, mediante la matriz MET o con la Rueda Estratégica del Ecodiseño.

Los resultados del análisis ambiental (mejoras ambientales conseguidas en el proceso de Ecodiseño) se suelen utilizar como instrumento de información al consumidor. Para esta función el medio más empleado es el ecoetiquetado. Hay muchos tipos de etiquetas y declaraciones y, en un esfuerzo por estandarizarlas, ISO ha editado normas referidas a los principales tipos existentes:

- *Tipo I: Etiquetas ecológicas propiamente dichas (ISO 14024:1999)*^[87]. Son aquellos programas desarrollados por una tercera parte, independiente, que utilizan un sello o logotipo para comunicar que el producto es ambientalmente preferible en el ámbito del sector propio del mismo. Para cada categoría de productos hay unos criterios ecológicos que permiten la evaluación y la concesión de la ecoetiqueta, que es válida durante un periodo máximo de tres años. El producto está siempre bajo control del organismo que otorga la ecoetiqueta.
- *Tipo II: Autodeclaraciones (ISO 14021:1999)*^[88]. Son declaraciones o mensajes medioambientales de los propios fabricantes o titulares en los productos y servicios. Normalmente, hacen referencia a un único aspecto ambiental; por ejemplo: «biodegradable», «contiene material reciclado»...
- *Tipo III: Declaraciones medioambientales (ISO 14025:2006)*^[89]. Son perfiles ecológicos certificados; es decir, un conjunto de datos cuantificados como resultado de un Inventario del Ciclo de Vida (ICV), incluyendo o no la fase de Evaluación de Ciclo de Vida (ECV).

Los tipos de ecoetiquetas que gozan de mayor credibilidad son las de Tipo I y III, ya que en ambos casos se precisa de la intervención de una tercera parte u organismo que dé conformidad. Dentro de estos dos tipos de ecoetiquetas, las de Tipo I son de mayor utilidad de cara al público en general; ya que simplemente reconociendo el logo se sabe que un producto cumple una serie de requisitos medioambientales y de calidad establecidos por el organismo certificador. Sin embargo, en las etiquetas de Tipo III la empresa da información cuantitativa sobre diversos aspectos medioambientales o impactos en el formato que solicita el certificador. Estas ecoetiquetas no son siempre fáciles de interpretar por los consumidores, pero pueden ser muy útiles para la selección de proveedores industriales. En el caso de las autodeclaraciones ambientales, Tipo II, pueden resultar útiles cuando la empresa desea destacar la mejora lograda en un determinado aspecto ambiental. Por tanto, la información aportada por una herramienta de análisis ambiental cuantitativa de tipo monovectorial puede resultar valiosa, especialmente cuando la estrategia ambiental prioritaria para la empresa es la reducción del consumo energético en uso, el empleo de material reciclado, etc.

En la Tabla 2.5, se muestran las principales funciones de cada una de las herramientas reseñadas dentro del proceso de diseño:

Herramienta	Tipo de análisis ambiental			
	Análisis preliminar	Análisis orientativo	Evaluación en detalle	Comunicación
Listas de Comprobación (LC)				
Rueda Estratégica de Ecodiseño				
Evaluación del Cambio de Diseño (ECD)				
Matriz MET				
Cuantitativas monovectoriales (MIPS...)	Solo un aspecto ambiental			
Análisis del Ciclo de Vida				

Tabla 2.5. Aplicación de las principales herramientas de análisis ambiental de productos ^[86]

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO. LA LLAVE DEL DISEÑO

3.1 Introducción

En los últimos años, el interés por la Ergonomía y la Ecología ha crecido de una manera significativa, lo que ha llevado al desarrollo de metodologías y herramientas de diseño en ambos campos de conocimiento. Sin embargo, tras el estudio bibliográfico llevado a cabo, se ha detectado la necesidad de una metodología de diseño que conjugue estos dos aspectos y garantice la obtención de un producto que sea, a un mismo tiempo, ergonómico y respetuoso con el medio ambiente. Todo «buen diseño» siempre debería responder a las «3Es»: Ergonomía, Economía y Ecología. La metodología que se propone en esta tesis doctoral sigue, por tanto, un esquema de diseño orientado al usuario intentando integrar los aspectos ergonómicos y medioambientales dentro de su proceso general. Además, se pretende que tenga una aplicación relativamente sencilla, económica, de modo que se pueda utilizar en la práctica cotidiana del diseño y en el desarrollo de productos de muy diversa índole.

Antes de comenzar la explicación de la metodología es interesante conocer un elemento común a todas las metodologías centradas en el usuario: el sistema «usuario-producto-contexto». Cada componente de la terna contribuye de una manera diferente, pero igual en importancia, al proceso de diseño.

3.1.1 Usuario

La Ergonomía reconoce a través del elemento «usuario» la importancia que éste tiene en el proceso de diseño; no únicamente como aquel individuo para quien se va a diseñar, sino como participante en el propio proceso de diseño. Integrando usuarios reales en los equipos de trabajo se aprovechan sus conocimientos y experiencias para obtener correcciones o mejoras de los actuales productos (Ergonomía participativa).

El desarrollo de la tecnología permite la obtención de productos y servicios cada vez más sofisticados y con mayores prestaciones. Pero eso no es suficiente. Se necesita que además

respeten y se adecúen a los límites de respuesta de la capacidad humana. De este modo se facilita la adaptación de los requerimientos funcionales al usuario y se incrementa la eficiencia del sistema.

Además, la Ergonomía se debe concebir como un proceso itinerante que no se detiene en la entrega de un informe o de un producto; y que debería esforzarse por entender, y atender para aplicar, las distintas relaciones que esos productos van a provocar en los usuarios y en su medio de acción. Por ello, no basta con pensar que se ha resuelto el problema con una valoración del producto en sus factores físicos (antropométricos, biomecánicos, etc.), sino que es necesario valorar sus elementos racionales y emotivos: considerar tanto las valoraciones cualitativas como las cuantitativas.

En cuanto al Ecodiseño, éste también busca el beneficio del «usuario». No obstante este concepto recoge mucho más que al «usuario final». Serían todos los actores involucrados en el ciclo de vida del producto, desde la obtención de materias primas hasta la disposición final del producto. De hecho, en la actualidad, siempre se debe exigir el cumplimiento de principios de Sostenibilidad Social: los proyectos deben proponer desarrollos que mejoren la salud y el bienestar de la comunidad, dando oportunidades de trabajo y promoviendo la creación de negocios, el crecimiento de las personas, la salud de los seres humanos, etc.

3.1.2 Producto

Los pasos para llevar a cabo un estudio ergonómico de un producto varían mucho en función del mismo. En algunos casos serán aplicables normas ya establecidas, mientras que en otros será necesario desarrollar un estudio específico para el producto en cuestión. No obstante, hay que recordar la importancia que tiene el intentar cumplir las disposiciones de las normativas existentes. Este empeño por cumplirlas es siempre un aspecto diferenciador, y en muchos casos necesario, a la hora de desarrollar cualquier diseño ergonómico de un artículo.

No obstante, hay que recordar que, sin la adecuación «real» a las personas, el hablar de un producto ergonómico es imposible. Puede ser que el grupo poblacional objetivo diste en parte de

los grupos poblacionales objeto de dichas guías o normas, sea por diferencias culturales, antropométricas, sociales...

Desde el punto de vista del Ecodiseño, no es suficiente considerar el «producto físico», sino que se requiere el conocimiento del «sistema del producto»; es decir, se deben tener en cuenta todos los elementos externos al mismo que de alguna manera tengan una influencia directa en su funcionamiento o diseño.

Recordar, ya para finalizar, que todo producto debe cumplir tres funciones básicas y generales para las que es concebido:

- *Uso*: Los productos deben cumplir con los objetivos para los cuales fueron creados en los términos funcional-operativo. Es decir, la razón de ser de cualquier objeto es que puedan ser usados.
- *Percepción*: Se refiere al proceso de información que llevamos a cabo gracias a nuestros mecanismos receptores. Es la comunicación que establecemos con el mundo que nos rodea a través de los canales sensoriales y procesos perceptivos, que nos transmiten características y procesan significados de formas, espacio, tiempo... Así, los productos deben establecer un sistema permanente de información con el usuario: cómo funcionan, qué procedimientos son necesarios para su puesta en marcha, qué variaciones son posibles durante su uso, qué correspondencia tienen con la cultura en la que se comercializan...
- *Protección*: Otra función de cualquier objeto es proteger al usuario de condiciones específicas a las que puede ser vulnerable: las características mismas de los objetos, la manera de ser usados, las condiciones del ambiente, etc., pueden constituir en un determinado momento factores de riesgo a los cuales estaremos expuestos como usuarios de esos objetos o como usuarios del entorno que nos rodea. De esta forma, el proceso de diseño debe considerar todos los factores que incidan en la seguridad del usuario y en aquellos que se refieran a la protección del medio ambiente.

3.1.3 Contexto

Uno de los aspectos fundamentales en el análisis ergonómico de un producto es el contexto de uso del mismo. Se trata del ambiente de desempeño del usuario y en el cual utiliza el producto. En muchas ocasiones, lo que puede ser catalogado como un producto ergonómico, en función de un contexto de uso diferente se puede convertir no sólo en un producto inconfortable, sino incluso en un producto peligroso e inseguro. Por ejemplo, una silla que puede ser considerada como ergonómica para estar sentada en ella durante un par de horas, puede perder fácilmente esa catalogación al aumentar el número de horas de uso.

Pero no sólo es contexto el ambiente en el cual se utiliza el producto. Deben considerarse también como contexto los puntos de vista culturales, organizativos, etc., puesto que las personas somos seres que nos relacionamos unos con otros y realizamos un gran número de actividades distintas (labores domésticas, ocio, trabajo...).

Desde el punto de vista ecológico, se habla de un «contexto medioambiental»; contexto que se verá afectado directamente por el sistema del producto, no sólo por el uso que se haga del mismo, sino por todas las etapas previas y posteriores de su ciclo de vida. Se podría decir que la principal diferencia entre el análisis desde la óptica medioambiental y desde el punto de vista ergonómico es la siguiente. Es la de que para la Ergonomía el pilar fundamental lo constituye el «usuario», cuyo comportamiento se ve influenciado por el «contexto» en el que se encuentra. De otra manera, en el Ecodiseño se le da prioridad al «contexto», más en concreto al contexto medioambiental, cuyo grado de deterioro vendrá dado fundamentalmente por las necesidades y comportamientos del «usuario».

3.2 Metodología

La «Llave del Diseño» es la metodología de diseño propuesta en esta tesis doctoral. Para la elaboración de la «Llave del Diseño» se tomó como base la metodología explicada en el apartado anterior del Estado del Arte y se integraron herramientas propias de la Ergonomía y del Ecodiseño en cada una de las fases. Tener en cuenta la Ergonomía desde el inicio del proceso de diseño garantiza que los productos resultantes tengan una mejor interacción con el usuario tanto

a nivel físico, como psíquico o incluso social. Por otra parte, una metodología que tiene en cuenta el medioambiente da lugar a productos acordes con la actual conciencia «verde», el usuario demanda cada vez más productos saludables, «naturales» y que sean totalmente respetuosos con el medioambiente.

La «Llave del Diseño» está organizada en etapas o fases de trabajo que persiguen unos objetivos específicos, y que abarcan todo el ciclo de vida del producto. Las etapas de la metodología propuesta serían las siguientes:

1. Definición estratégica
2. Diseño del concepto
3. Diseño de detalle
4. Ensayo y verificación
5. Producción
6. Lanzamiento y verificación
7. Fin de Ciclo de Vida

Se puede decir que esta metodología se retroalimenta. La última etapa, de Fin de Ciclo de Vida, se puede enlazar con la primera, de Definición Estratégica, en casos como el del rediseño de productos, el diseño de productos de una misma familia e, incluso, para poder aprovechar algún aspecto concreto del proceso de diseño de un producto (por ejemplo, emplear los estudios y resultados de un material utilizado en un producto para el diseño de otro, aunque no tenga nada que ver con el primero). En la Figura 3.1. se muestra como se representaría esta «Llave».

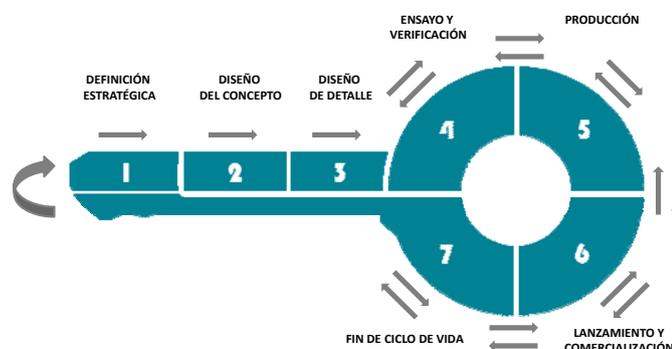


Figura 3.1. Llave del diseño

3.2.1 Fase 1: Definición estratégica

En esta fase se va a definir el producto que se quiere desarrollar desde el punto de vista de las necesidades que van a cubrir, las características de los usuarios, compradores a los que se dirige y las ventajas que presenta respecto a los productos similares en el mercado.

En primer lugar, habrá que formar un equipo de trabajo que será el responsable del correcto funcionamiento del proyecto. Las características básicas que debe presentar este equipo son:

- *Pequeño y organizado.* Un grupo muy grande hace que se pierda operatividad. La coordinación del mismo debería ser llevada a cabo por uno de sus integrantes.
- *Con capacidad de decisión.* Este equipo de trabajo tiene que poder realmente tomar cualquier tipo de decisión relacionada con el proceso de diseño de producto.
- *Multidisciplinar.* En esta clase de proyectos se van a considerar aspectos muy distintos y que exigen conocimientos muy heterogéneos: requisitos medioambientales, ergonómicos, económicos...Es por ello por lo que se debe contar con personas de diferentes orígenes académicos y/o departamentales.

Es muy importante conocer las motivaciones que llevan a realizar el diseño del producto elegido. Por tanto, el siguiente paso será investigar estas razones, que pueden ser internas o externas a la empresa. En la metodología aquí propuesta es lo que se denomina investigación de los «Factores Motivantes Endógenos y Exógenos».

Los «Factores Motivantes Exógenos» o externos a la empresa serían:

- *Legislación.* Considerar la Ergonomía y el medio ambiente en el diseño de productos ayuda al cumplimiento de las posibles legislaciones existentes al respecto.
- *Mercado.* Los clientes cada vez son más conocedores de la Ergonomía y de los beneficios que puede aportar a las personas; además de estar también muy sensibilizados con la calidad medioambiental de los productos. Por lo tanto, ambos factores son cada vez más exigidos a las empresas por los consumidores.

- *Competidores.* Actualmente, en un mercado tan caracterizado por la gran competitividad existente entre las distintas organizaciones empresariales, la inclusión de aspectos medioambientales y ergonómicos en un producto supone un aumento innegable del valor añadido del diseño y resulta una ventaja competitiva para la empresa.
- *Entorno social.* Una forma de mejorar la imagen de la empresa dentro del entorno social es incluir aspectos medioambientales y ergonómicos a los productos que desarrolla.
- *Organizaciones Sectoriales.* Muchas organizaciones sectoriales motivan, o incluso exigen, que las empresas tengan en cuenta el medioambiente en sus procesos y productos. Además, cada vez hay sectores más exigentes y concienciados de la importancia que tiene la ergonomía en la mejora de la salud de las personas. Un ejemplo de ellos sería el sector del mueble.
- *Desarrollo.* Cada día aparecen nuevas tecnologías y materiales que posibilitan la mejora de los productos y de los procesos desde un punto de vista ergonómico y medioambiental.

En cuanto a los «Factores Motivantes Endógenos», debe tener que considerarse:

- *Calidad.* Para toda organización, el cumplimiento de los estándares de calidad es una tarea prioritaria. Haciendo productos ergonómicos y considerando el factor medioambiental en los mismos estamos aumentando la calidad en aspectos como la funcionalidad, la fiabilidad de su funcionamiento, la durabilidad, la posibilidad de reparación, etc.
- *Mejora de la imagen del producto y de la empresa.* Todo el esfuerzo realizado en conseguir mejoras en un producto, debe ser comunicado al usuario de una manera eficaz. Las ecoetiquetas o los certificados ergonómicos pueden resultar, por ejemplo, de gran ayuda para lograr este objetivo.
- *Costes.* La aplicación de herramientas medioambientales ayuda a reducir costes en un doble sentido. De manera inmediata, con mejoras directas en el producto (reducción de peso, cambio de materiales, reducciones de consumo de materiales auxiliares...); a largo plazo, mediante la implantación de criterios medioambientales en el funcionamiento de la

empresa (producción más eficaz que minimice el volumen de residuos y optimice el consumo de energía...). La Ergonomía, por su parte, también contribuye a disminuir estos costes; fundamentalmente, por la puesta en el mercado de productos no adaptados a los usuarios y que tienen que ser rediseñados. Además, la vinculación de la esta disciplina científica con el proceso productivo y con el estudio de los puestos de trabajo, también dará lugar a un abaratamiento de los costes en forma de mejoras en los índices de productividad, disminución de los costes por enfermedades o reducción del absentismo, entre otras.

-*Innovación*. La Ergonomía y el diseño respetuoso con el medio ambiente ayudan a introducir productos innovadores en el mercado. «La innovación por la innovación no sirve para nada. Innovar es crear productos que hagan la vida más fácil»^[90].

-*Responsabilidad Social Empresarial (RSE)*. La conciencia por parte de la gerencia de la empresa de la importancia del desarrollo sostenible y de contribuir a la mejora de la salud de las personas (trabajadores, usuarios, etc.) es un acicate para impulsar a seguir metodologías de diseño como las aquí presentadas.

-*Aspectos motivacionales*. La consideración de parámetros medioambientales y ergonómicos ayuda a mejorar la salud laboral y ambiental, aspectos que afectan directamente a los empleados de la empresa.

Una vez establecidos estos Factores Motivantes habrá que realizar una investigación exhaustiva sobre el producto a desarrollar. Para ello deberían llevarse a cabo las siguientes acciones:

- Conocer las opiniones de los usuarios sobre las necesidades reales del producto y los puntos débiles de los diseños existentes.
- Realizar una revisión bibliográfica sobre temas vinculados con la Ergonomía, la seguridad, el medio ambiente, normativa vinculada con el proyecto, patentes asociadas...
- Acotar los límites del sistema producto. Se trata de incluir todos los elementos externos relacionados con el producto y que se verían modificados si se modificara el diseño.

- Analizar los aspectos ambientales y ergonómicos del producto y establecer las prioridades de acción.
- Valorar las distintas ideas de mejora en función de la viabilidad técnica, la viabilidad financiera, los beneficios esperados y la respuesta positiva o negativa a los factores motivantes. Se priorizarán las ideas en función de su valoración.

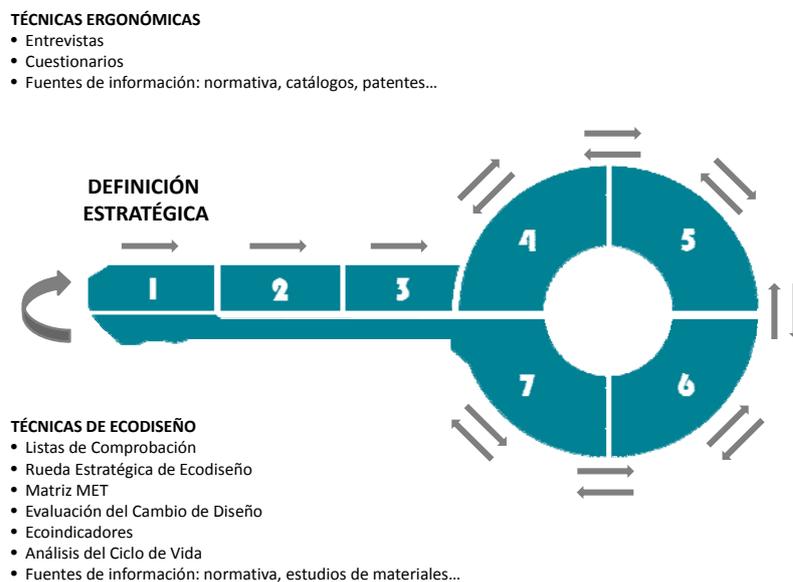


Figura 3.2. Herramientas de la fase de definición estratégica

Para el desarrollo de esta primera fase disponemos de distintas técnicas. Unas que nos ayudarán en la consideración de los parámetros medioambientales y otras que serán el apoyo en los aspectos ergonómicos. En la Figura 3.2. se pueden ver las técnicas utilizadas en esta fase del diseño desde ambos puntos de vista.

Así, desde el punto de vista medioambiental podrían emplearse:

- Listas de comprobación (LC).
- Rueda Estratégica de Ecodiseño.
- Matriz MET.

- Evaluación del Cambio de Diseño (ECD).
- Ecoindicadores.
- Análisis del Ciclo de Vida (ACV).
- Fuentes de información: normativa ambiental, estudios de materiales...

Respecto a las herramientas ergonómicas a utilizar se puede señalar las siguientes:

- Entrevistas.
- Cuestionarios.
- Fuentes de información: normativa ergonómica, catálogos, patentes...

3.2.2 Fase 2: Diseño del concepto

Partiendo de la información obtenida de la fase anterior, en esta se establecerá la «dirección del diseño». Se seleccionará el concepto del diseño a desarrollar en función de los requisitos marcados en las Especificaciones de Diseño del Producto (EDP), elaborado al final de la fase anterior, y siguiendo tanto criterios convencionales como criterios medioambientales y ergonómicos.

Se trata, por tanto, de hacer un diseño preliminar donde estén definidos de manera provisional la composición, la forma y el material del producto. En esta etapa desempeñan un papel muy importante otros departamentos de la empresa, informando al equipo de diseño. Por ejemplo, para el caso concreto de los materiales, los estudios llevados a cabo por el departamento de marketing sobre los competidores puede dar información sobre posibles alternativas a los mismos; el departamento de compras será conocedor de la disponibilidad real de ellos en el mercado, a través de su conocimiento de suministradores, etc.

Como es lógico, esta es una de las etapas del diseño donde la Ergonomía debe colaborar de manera muy importante. Con el fin de conseguir un producto ergonómico, hay que analizar los aspectos utilitarios y funcionales del producto, su contexto de uso y la proyección de expectativas de las tareas a realizar. Además, se debe estudiar la relación producto-usuario en la ejecución de las acciones realizadas por el usuario, estableciendo las limitaciones de éste. Por otra parte hay que considerar la introducción de criterios sostenibles de orientación al usuario y

de inclusividad. Para llevar a cabo todas estas actividades, la experiencia y conocimientos ergonomicos del equipo de diseño jugarán un papel determinante.

Basándose en toda la información recopilada, se llevarán a cabo de manera paralela varios desarrollos de soluciones conceptuales, siempre con el objetivo final de encontrar aquella que cumpla, de manera más estricta, los requisitos exigidos en las EDP. Para ello, después de la generación de conceptos, debe realizarse una evaluación de los mismos, en función de la cual se escogerá el concepto final. El criterio de valoración serán los requisitos recogidos en las Especificaciones de Diseño del Producto. Dado que todos los diseños se han realizado considerando este documento, todos han de cumplir los requisitos exigidos en el mismo.

CRITERIOS DE VALORACIÓN: REQUISITOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES	CONCEPTOS								
	CONCEPTO A			CONCEPTO B			CONCEPTO C		
	VALOR	PESO	TOTAL	VALOR	PESO	TOTAL	VALOR	PESO	TOTAL
CRITERIOS ERGONÓMICOS									
Criterio 1									
Criterio ...									
CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES									
Criterio 1									
Criterio ...									
CRITERIOS CONVENCIONALES									
Criterio 1									
Criterio ...									
VALORACIÓN TOTAL									

Tabla 3.1. Valoración de conceptos

Se pueden establecer distintos modos de valoración. Una de las posibilidades sería agrupar los distintos requisitos del EDP en criterios ergonómicos, medioambientales y convencionales. Una vez agrupados, valorar cada uno de estos requisitos con una puntuación del 1 al 10. Si alguno de ellos se considera más importante que el resto, se le puede asignar un peso mayor. A continuación, se sumarían todas las valoraciones teniendo en cuenta las ponderaciones de los pesos (si las hubiera) y se seleccionará el modelo con la puntuación más alta. En caso de empate,

se tendrán en cuenta las puntuaciones en los criterios que se consideren más importantes. También se ha de tener en cuenta la posibilidad de combinar las mejores características de cada concepto en uno solo. En la Tabla 3.1. se muestra un esquema de este sistema de valoración.

En la siguiente figura se pueden ver las técnicas ergonómicas y medioambientales recomendadas en esta fase de diseño conceptual.

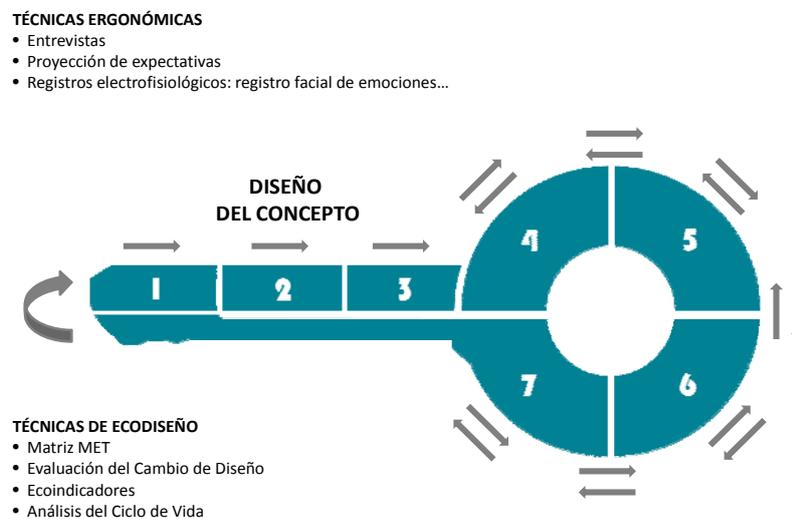


Figura 3.3. Herramientas de la fase de definición del concepto

3.2.3 Fase 3: Diseño de detalle

Después de la generación de conceptos de la fase anterior, en esta etapa se desarrolla la alternativa elegida. Es cuando se determinan las especificaciones técnicas concretas sobre las que construir el producto: materiales, dimensiones, técnicas de producción, aspectos perceptivos, etc.

Esta etapa, como en el caso anterior, el proceso será iterativo y la definición del producto evolucionará desde una etapa de definición simple hasta llegar a un nivel de detalle importante. El primer paso será definir más a fondo las características del concepto seleccionado en la etapa anterior, tomando las principales decisiones acerca de la forma y de la construcción del producto.

A continuación, se pueden determinar los aspectos medioambientales, ergonómicos, la funcionalidad, la fiabilidad, la posibilidad de fabricación, los costes...

Es el momento de transformar los criterios ergonómicos en especificaciones técnicas. El análisis de tareas de la fase anterior da como resultado unos criterios que quedan definidos en forma de restricciones de diseño cuantitativas: sería «poner medidas a las características ergonómicas». Para ello hay diferentes herramientas, como la antropometría-biomecánica, los software de simulación o de CAD 3D paramétrico. Estas herramientas pueden dar una idea más visual de la interacción «usuario-producto-contexto» sin que sea necesario disponer del producto físicamente.

Para la ayuda en la selección de materiales y procesos desde el punto de vista ambiental nos podemos ayudar de herramientas como los ecoindicadores o software de Análisis de Ciclo de Vida.

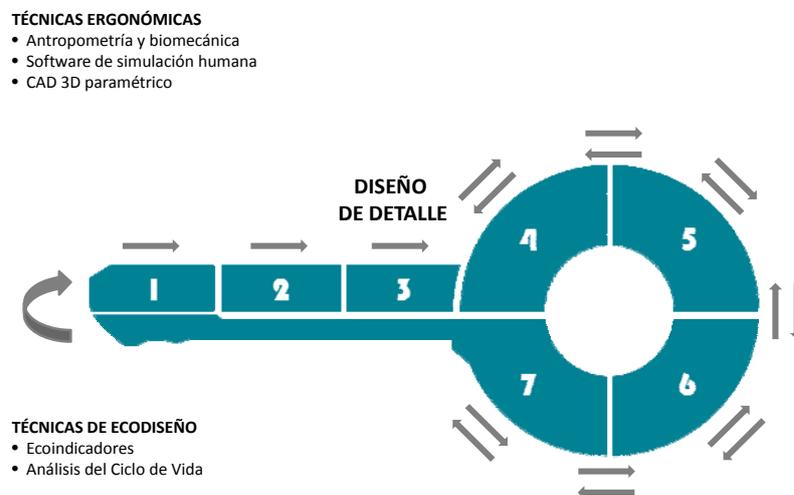


Figura 3.4. Herramientas de la fase de diseño de detalle

Una vez obtenida toda esta información de detalle, debe ser transmitida a los ingenieros del producto para que ellos puedan completar la redacción de su memoria técnica, la elaboración de los planos de despiece y de conjunto. En la etapa de diseño de detalle también se pueden generar

varias soluciones para un determinado aspecto del producto. En ese caso, se deben analizar y valorar, siguiendo un esquema similar al seguido en la etapa anterior, antes de decantarse por una de ellas.

3.2.4 Fase 4: Ensayo y verificación

En la fase de ensayo y verificación hay que comprobar si las estrategias y definiciones planteadas de forma inicial se han trasladado de forma correcta al producto. Además, comprende los trabajos que posibilitan el paso de la fase de diseño a la fase industrial. Se trata también de un proceso iterativo en el que la solución técnica se convierte progresivamente en una solución fabricable.

Es la etapa en la que se construyen los prototipos; por lo tanto, es el periodo en el que la ergonomía participativa toma las riendas a través de las experiencias con los usuarios finales. Las pruebas con prototipos buscan los errores o limitaciones del diseño en unas condiciones de uso lo más realistas posibles, con el único fin de perfeccionar el ajuste «*usuario-producto-contexto*». Para evaluar estas pruebas se dispone de una gran batería de técnicas ergonómicas como son: los registros electrofisiológicos, las mediciones de parámetros físicos, la observación, las pruebas de usabilidad, los ensayos basados en normas, los cuestionarios y las entrevistas. Esta es la fase de la metodología de diseño más amplia desde el punto de vista de la ergonomía y en la que se pueden utilizar un mayor número de herramientas. Con la información obtenida en las pruebas con los prototipos, se darán las oportunas recomendaciones ergonómicas a los departamentos de diseño y fabricación.

Para comprobar el cumplimiento de los parámetros medioambientales del diseño se pueden realizar también ensayos, en este caso según normativas medioambientales.

Es de destacar que, durante la etapa de ensayo y verificación, podemos detectar la necesidad de hacer algún tipo de modificación en el diseño. En ese caso, sería posible retroceder a la fase anterior de diseño de detalle y realizar los cambios oportunos.

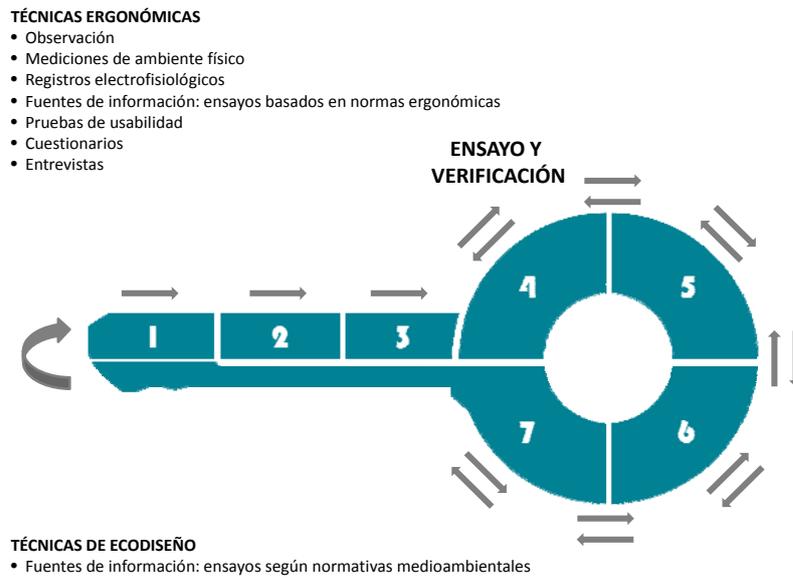


Figura 3.5. Herramientas de la fase de ensayo y verificación

3.2.5 Fase 5: Producción

Implica la puesta en marcha del sistema productivo definiendo dónde, cómo y con qué medios se va a fabricar el producto, describiendo toda la sucesión de actividades necesarias para la fabricación y adecuando y optimizando los medios de producción con el desarrollo del producto.

Podría parecer que, en lo que es el proceso productivo en sí del producto, la intervención de la Ergonomía ya ha finalizado. Sin embargo, la calidad del producto va a depender en gran medida del diseño del puesto o puestos de trabajo implicados en su proceso de fabricación y ahí es donde vuelve a aparecer la Ergonomía; en este caso, la presente en el ámbito laboral. Un puesto de trabajo ergonómico aumenta la productividad, aumentando a su vez la salud de los trabajadores. Además en este punto, no debemos olvidar que todos los manuales de gestión de la calidad empresarial hablan de satisfacer al «cliente interno», al que está integrado en la propia organización productiva. ¿Puede hablarse de calidad de un producto cuando en su fabricación dañamos la salud precisamente de los que lo fabrican?

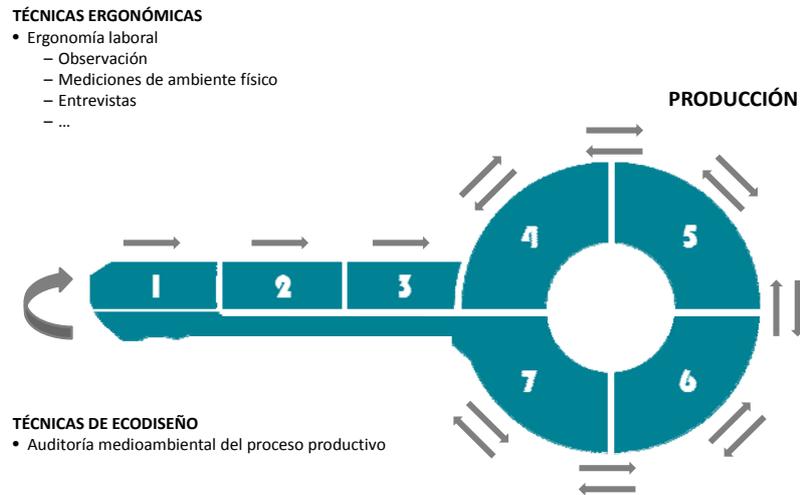


Figura 3.6. Herramientas de la fase de producción

Desde el punto de vista ambiental, es interesante auditar el propio proceso productivo para comprobar que éste cumple los requisitos medioambientales previstos.

Al igual que en la etapa anterior, si en la fase de producción se detecta la necesidad de hacer modificaciones en el diseño se puede retroceder hasta la fase anterior y rectificar los fallos detectados. Lo que no se podría hacer es retroceder a fases anteriores al diseño de detalle, puesto que eso significaría que el concepto de diseño planteado sería erróneo; es decir, habría fallado la misma base del proyecto.

3.2.6 Fase 6: Lanzamiento y Comercialización

En esta fase hay que intentar que nuestro producto destaque sobre los productos similares de la competencia. Por lo tanto, será necesario llevar a cabo una distribución del mismo lo más atractiva posible teniendo especialmente en cuenta las previsibles campañas que se hagan de marketing del producto.

Si un producto ha sido diseñado siguiendo parámetros ergonómicos y medioambientales, se debe demostrar y enfatizar su valor añadido, puesto que esto supone un elemento diferenciador respecto a la competencia y un reclamo para los clientes.

Una manera de destacar que se han considerado aspectos medioambientales son las *ecoetiquetas*. Como ya apuntamos en párrafos anteriores, las ecoetiquetas son sistemas voluntarios de calificación ambiental que identifican y certifican de forma oficial que ciertos productos o servicios tienen una menor afección sobre el medio ambiente. Las ecoetiquetas son otorgadas por una tercera parte imparcial, que ejerce como entidad certificadora. Los orígenes de las ecoetiquetas se pueden encontrar en la creciente conciencia global de proteger el medio ambiente por parte de gobiernos, empresas y consumidores. En la Tabla 3.2 se muestran las ecoetiquetas más importantes.

Muchos son los productos que dicen ser ergonómicos, pero muy pocos los que cuentan con alguna metodología de este tipo en su diseño o que hayan aplicado alguna de técnicas aquí planteadas.

Existen distintos institutos y asociaciones que certifican las características ergonómicas de un producto. Así, por ejemplo, TÜV Rheinland es una organización independiente reconocida a nivel mundial por sus fiables homologaciones de producto y por realizar precisas pruebas de seguridad con ellos. Actualmente ya extiende sus servicios a una certificación, «ergonomic approved», para asientos ergonómicos. El Instituto de Ergonomía de Munich también certifica productos en el ámbito de esta materia, siguiendo un sistema propio de evaluación, el «Ergo-test». La American Chiropractic Association (ACA), la American Optometric Association (AOA) y la American Physical Therapy Association (APTA) realizan evaluaciones voluntarias cuya función es garantizar a usuarios y consumidores de productos ergonómicos que sus prestaciones, así como las declaraciones en relación a los mismos, han sido objeto de un riguroso análisis.

Blue Angel-Angel Azul		ALEMANIA
Austrian Eco-Label		AUSTRIA
Environmental Choice		CANADÁ
Energy Star		E.E.U.U.
Green Seal		
AENOR Medio Ambiente		ESPAÑA
EU Ecolabel		EU
NF-Environmental		FRANCIA
Stichting-Milieukeur		HOLANDA
Nordic Swan		PAÍSES NÓRDICOS

Tabla 3.2. Ecoetiquetas más importantes

En España, la Asociación Española de Ergonomía (AEE) ha impulsado y fomentado en los últimos años la acreditación ergonómica de diversos artículos. Su sello certificador garantiza que se han aplicado herramientas ergonómicas a la hora de diseñar el producto y que éstas han sido consideradas en el mismo. En la Tabla 3.3. se muestran distintas certificaciones ergonómicas a nivel mundial.

TÜV Rheinland y LGA		ALEMANIA
Ergonomics Institute of Munich		ALEMANIA
American Chiropractic Association (ACA)		E.E.U.U.
American Optometric Association (AOA)		E.E.U.U.
American Physical Therapy Association (APTA)		E.E.U.U.
Asociación Española de Ergonomía		ESPAÑA

Tabla 3.3. Certificación ergonómica

Una caso muy especial y conocido de certificación ergonómica-ambiental, es la certificación TCO, relacionada con los equipos de oficina (pantallas, proyectores, auriculares, etc.) y que la otorga TCO Development, que forma parte de la Confederación Sueca de Empleados Profesionales (Figura 3.7.).



Figura 3.7. Certificado TCO

Destacar también que en esta fase es posible retroceder a etapas anteriores en caso de que sea necesario hacer alguna rectificación.

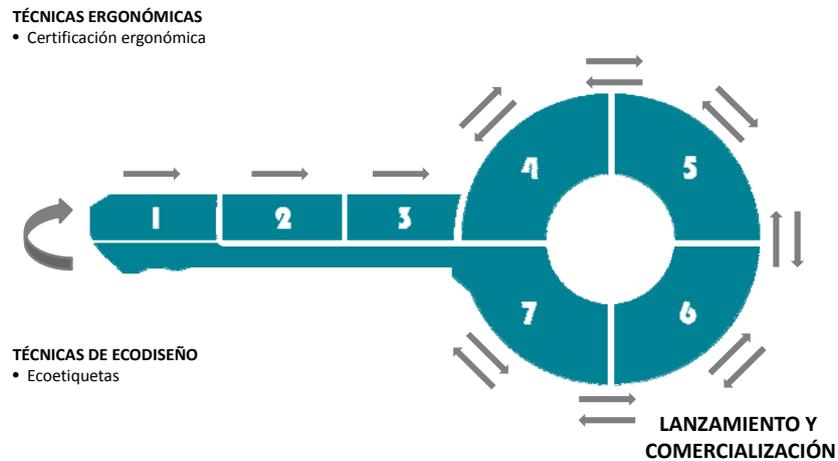


Figura 3.8. Herramientas de la fase de lanzamiento y comercialización

3.2.7 Fase 7: Fin de ciclo de vida

Será la última fase del proceso de diseño y en ella se llevarán a cabo tres tipos de acciones: *verificación, planificación y evaluación.*

Es el momento de verificar que el producto final impacta de forma mínima en el medio ambiente y cumple las expectativas generadas en cuanto a la adaptación al ser humano. En el ámbito de la Ecología, deberíamos comprobar los niveles de cumplimiento de factores como la biodegradabilidad del producto, el grado de reutilización del mismo, su impacto social y ambiental... En lo que respecta a la Ergonomía, podría también comprobarse, ya con el producto en el mercado, la opinión que tienen los consumidores de los aspectos ergonómicos, la satisfacción que les transmite el producto...

Por otra parte, se debe hacer un plan de acción a nivel de producto. Cuando al comienzo del proyecto se valoraron y priorizaron las ideas de mejora, algunas se pudieron establecer a corto plazo, por lo que a estas alturas del desarrollo del proyecto ya estarían implantadas; y otras a medio y largo plazo, que no podían ser establecidas de manera inmediata. En esta fase habría que planificar la implantación de estas últimas mejoras, las de a medio y largo plazo.

Para finalizar el proceso, sería muy interesante evaluar los resultados del proyecto, analizando hasta qué punto se han cumplido los «Factores Motivantes» del mismo, tanto desde el punto de vista de la Ergonomía, como del de la Ecología. Habría que valorar las mejoras de los principales aspectos medioambientales y ergonómicos con los del producto de partida, chequeando el cumplimiento de los requisitos iniciales y analizando cómo afectan las mejoras implantadas al cumplimiento de los Factores Motivantes. Así la organización dispondría de una documentación tipo guía, que serviría en el futuro para otros proyectos. Esto sería especialmente interesante para todas aquellas empresas que quieran hacer un rediseño de un producto o la ampliación de cierta gama de productos.

Recordar que esta etapa enlazaría de nuevo con la de definición estratégica, llegando incluso a veces a solaparse.

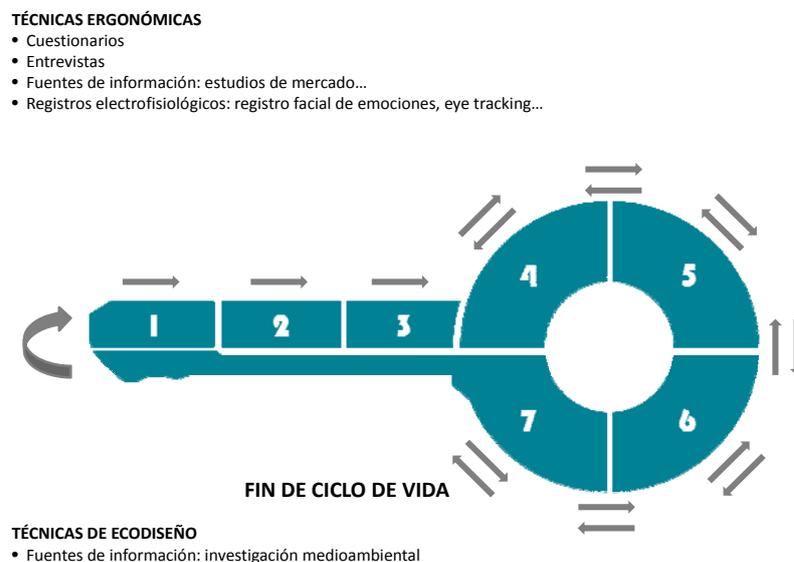


Figura 3.9. Herramientas de la fase de fin de ciclo de vida

4. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE MOBILIARIO TRIS-TRAS

4.1 Introducción

Como se ha explicado en los puntos anteriores de esta tesis doctoral, en el mercado español actual el mobiliario escolar incumple requisitos básicos desde los puntos de vista ergonómico y medioambiental. Ese ha sido el motivo principal para usar, como caso de validación de la *Llave del Diseño*, el desarrollo de un proyecto de diseño de mobiliario escolar para niños de primaria.

El punto de partida es la creación de un equipo multidisciplinar que pueda llevar a cabo este proyecto. Para ello se ha contado con un *Fabricante*, un *Estudio de Diseño*, una *Consultoría de Ergonomía* y un *Grupo de Usuarios*:

- Fabricante: Biplax*. Una de las empresas líderes en la fabricación de sillería de oficina que tiene su sede en Sondika (Vizcaya). Biplax fue la primera empresa española de sillería de oficina que logró la certificación ISO-9001, concedida por AENOR; consiguiendo más tarde el certificado ISO 14100 de gestión medioambiental. Desde hace ya varios años, ha potenciado su apuesta por la Ergonomía y la Ecología. Incluso en este último campo, en el año 2001, se le concedió el diploma EKOSCAN de Ihobe, Sociedad Pública del Gobierno vasco para la protección del Medio Ambiente, por su activa labor en este campo y su esfuerzo por minimizar el impacto ambiental en todos sus procesos productivos.
- Estudio de Diseño: Ideilan*. Empresa vasca dedicada a crear soluciones en el ámbito del diseño industrial. Está especializada en el diseño y fabricación de productos para el hogar y la oficina. Ideilán fue premiada en 2008 con los prestigiosos galardones otorgados por la Asociación International Design Awards y el diseñador escogido para participar en este proyecto, Jon Santacoloma, ha sido reconocido entre otros por la Asociación Española de Profesionales del Diseño con el premio al diseño industrial en 2006.
- Consultoría de Ergonomía: Sinerco*. Consultora ubicada en Asturias y especializada en la Ingeniería del Factor Humano. En el plano del diseño, apuesta por el de productos o

sistemas que tengan como referencia al usuario. Así, realiza diseño y asesoría de productos ergonómicos, estando también especializada en aspectos tan novedosos como el Diseño Emocional o el Design For All, entre otros.

- *Grupo de Usuarios: Colegios de Primaria.* Se seleccionaron profesores, alumnos y personal de limpieza de dos Colegios de Gijón. Uno de ellos el Colegio Público «Antonio Machado» y otro el Colegio Concertado de la Inmaculada Concepción. La función en el proyecto de este grupo de usuarios pontenciales del mobiliario estribaba en que pudieran validarlo y señalar los aspectos negativos y positivos del nuevo diseño, con el fin de tener en cuenta sus ideas respecto al mismo.

4.2 La Llave del Diseño

En el desarrollo del proyecto se siguieron todas las etapas de la metodología propuesta en esta tesis doctoral, tratando de alcanzar los objetivos específicos de cada una de ellas. A continuación se describen los pasos que se siguieron y cómo se llevó a cabo cada una de las fases de la *Llave del Diseño*.

4.2.1 Definición estratégica

Como se acaba de señalar, al comienzo del proyecto se organizó un equipo de trabajo multidisciplinar integrado por un diseñador industrial de Ideilán, un ergónomo y un sociólogo de Sinerco, el responsable de desarrollo de productos de Biplax y dos maestros (uno por cada colegio). No obstante, a lo largo de las distintas fases del desarrollo colaboraron otras personas: escolares, personal de limpieza, responsable de marketing de Biplax, etc.

En primer lugar, se definieron los principales Factores Motivantes para la realización de un nuevo diseño de mobiliario escolar, que serían:

- *Factores motivantes exógenos:*

- *Mercado.* En ese momento no era un factor importante, puesto que el mercado no demandaba un mobiliario escolar ergonómico ni tampoco se detectaban demandas medioambientales específicas. Sin embargo, sí era evidente el aumento de la conciencia medioambiental y el incremento de la aparición de productos ergonómicos, por lo que las demandas podían surgir de un momento a otro. Se trataba, más que de responder a las demandas del mercado, de adelantarse a las mismas.

- *Factores motivantes endógenos:*

- *Aumento de la calidad del producto.* La «calidad» es un factor prioritario en la política seguida por la empresa fabricante.
- *Mejora de la imagen del producto y de la empresa.* Un producto ergonómico y respetuoso con el medio ambiente da una mejor imagen que otro sin esas características. Tratándose de un producto dirigido al cliente final, la imagen es un aspecto clave.
- *Poder de innovación.* Es un factor motivante de gran importancia. Tanto la Ergonomía como el Ecodiseño suponen factores innovadores especialmente interesantes que pueden dar un gran valor añadido al producto en desarrollo.

A continuación se realizó una investigación exhaustiva sobre el producto en desarrollo. El estudio incluyó las siguientes actividades:

- *Investigación de mercado.* Se hizo un estudio de las principales empresas nacionales e internacionales dedicadas a la fabricación y distribución de mobiliario escolar.
- *Investigación de las necesidades* reales del producto y los puntos débiles de los diseños existentes, prestando especial atención a las cuestiones ergonómicas y medioambientales.
- *Investigación de la normativa* existente en el diseño de mobiliario. En España la primera referencia normativa sobre mobiliario escolar de carácter internacional es la norma ISO 5970, de 1979^[91], que establece los patrones para el diseño de muebles escolares: silla y

mesa. La mayoría de los muebles que se podían encontrar en los centros docentes al comienzo de este proyecto habían sido diseñados de acuerdo a esta norma. En el año 2002 se aprobó la norma experimental UNE-ENV 1729^[92] dedicada al mobiliario escolar de uso general. En esta norma se aceptan dos soluciones básicas para el mobiliario y que materializan las dos tendencias que existen en el desarrollo ergonómico de este tipo de muebles:

- Muebles clásicos para posición sedente normalizada con las extremidades flexionadas a 90°.
- Muebles para alternar la posición sentada y semisentada, con asientos altos y divididos en dos zonas, estando la parte anterior inclinada hacia delante y mesas altas de tapa inclinada hacia el alumno.

La norma propone un sistema de siete tallas que se puede asignar a los alumnos, tanto en función de su estatura como de la altura poplítea. Las dimensiones están basadas en datos antropométricos de varias poblaciones europeas. Se debe destacar el hecho de que al comienzo de este proyecto se utilizó como referencia esta norma experimental UNE-ENV 1729:2002, al ser la norma existente en el momento en que comenzó el mismo. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto se aprobó la norma UNE-EN 1729: 2007^[93], lo que obligó a modificar una serie de parámetros del mobiliario que habían sido fijados inicialmente.

-*Tablas antropométricas.* Para el diseño del mobiliario escolar se consideraron los datos antropométricos de la población infantil de Bélgica, del año 2005^[80], puesto que en España no existía una recopilación equivalente. Los datos antropométricos disponibles de la población infantil española datan de 1991^[5] y, además, han sido estimados utilizando las medidas de la población inglesa, pero con medias y desviaciones típicas de la española. Es por lo que se ha considerado mucho más conveniente, por su realidad y su actualidad, el uso de los datos belgas que además han sido recopilados de una forma muy exhaustiva.

Tras la investigación inicial, se determinaron los objetivos previstos en el nuevo diseño, desde los puntos de vista ergonómico y medioambiental. Como ideas básicas de mejora ergonómica se valoraron las siguientes:

- Cumplir de la norma UNE-ENV 1729: 2002.
- Ajustarse al rango antropométrico de los escolares.
- Permitir una postura dinámica.
- Respetar las curvaturas de la espalda.
- Adaptarse a las diferentes morfologías encontradas entre los niños, en periodo de crecimiento.
- Facilitar el cambio de postura.
- Permitir una buena distribución del peso del cuerpo, gracias a la existencia de diferentes puntos de apoyo.
- Favorecer una correcta distancia ojo-mesa.

Para determinar los objetivos medioambientales se realizaron las siguientes actividades:

- *Estudio de las fortalezas y debilidades del producto* desde el punto de vista medioambiental. Para ello se reunió al equipo de trabajo y, basándose en las Listas de Comprobación, se sacaron las fortalezas y debilidades del producto que se pretende desarrollar y las opciones de mejora prioritarias.
- *Generación de las ideas de mejora medioambiental*. Se utilizó la Rueda del Ecodiseño junto con una sesión de «*brainstorming*». Se reunió a un grupo de personas y se les pidió que aportaran ideas acerca de las ocho estrategias de la rueda de ecodiseño. Una vez finalizada la sesión, se procedió a seleccionar las mejores ideas.
- *Valorar las distintas ideas de mejora* generadas en la «*brainstorming*» en función de la viabilidad técnica, los beneficios esperados para el medio ambiente, etc. En la Tabla 4.1.

se muestra un resumen de las medidas de mejora generadas, una vez seleccionadas y evaluadas para su implantación, junto con el plazo establecido para su establecimiento.

Estrategias de Mejora	Medidas de mejora	Plazo de implantación
Selección de materiales de bajo impacto	- Utilización de aceros fácilmente reciclables - Tableros de materiales alternativos	CP MP/LP
Reducción de uso de materiales	- Uso de materiales más ligeros (plásticos reciclados)	CP
Optimización de los sistemas de producción	- Embalaje mínimo	CP
Reducción del impacto medioambiental durante el uso	- Tableros libres de formaldehidos y COVs - Tratamientos superficiales y etiquetas no tóxicas	MP/LP CP
Optimización de la vida del producto	- Fácil separación de componentes (fácil reparación) - Fácil limpieza - Mobiliario ajustable - Apilable	CP CP CP CP
Optimización del fin de vida del sistema	- Evitar soldaduras - Marcaje de piezas para el reciclaje - Materiales fácilmente identificables - Uniones mediante tornillos (fácil separación componentes) - Reposición de piezas de manera independiente (reutilización)	CP CP CP CP CP

Tabla 4.1. Ideas de mejora de tipo medioambiental

4.2.2 Diseño de concepto

Una vez recopilada toda la información significativa, y establecidos los objetivos esenciales del diseño, Ideilán presentó unos primeros bocetos a mano alzada de las ideas iniciales del mobiliario. Estos bocetos son los que se muestran a continuación (Figuras 4.1.-4.7.).



Figura 4.1. Primeros bocetos



Figura 4.2. Primeros bocetos



Figura 4.3. Primeros bocetos



Figura 4.4. Primeros bocetos



Figura 4.5. Primeros bocetos

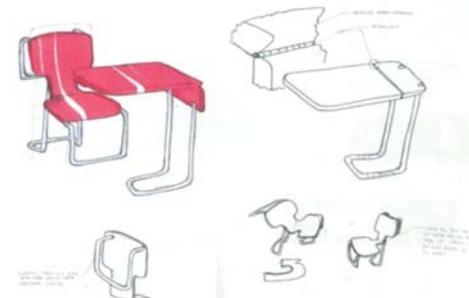


Figura 4.6. Primeros bocetos

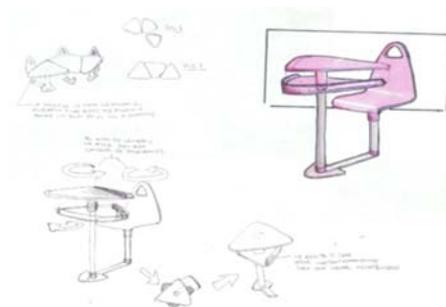


Figura 4.7. Primeros bocetos

Tras el análisis de estas ideas iniciales, el equipo de trabajo tomó la decisión de que era prioritario que el mobiliario fuera regulable. El principal objetivo de esta medida era intentar abarcar el mayor número de tallas con un pupitre. Para hacer el pupitre regulable se trabajó con dos conceptos distintos.

- *Concepto 1*: La altura se puede regular en el asiento y en el plano de trabajo.
- *Concepto 2*: El sistema de ajuste esté localizado en las patas de la silla y de la mesa.

Cada uno de estos conceptos se desarrolló a su vez mediante distintas alternativas y versiones, como se muestra a continuación:

- *Concepto 1*: Para conseguir un sistema de ajuste en el asiento y en el plano de trabajo se contemplaron dos alternativas distintas (*Alternativa 1* y *Alternativa 2*), cada una de las cuales se presentaron a su vez en dos versiones: pupitre trineo y silla y mesa por separado (como se muestra en las Figuras 4.8.-4.11.).
- *Concepto 2*: Se llevó a cabo una evolución del pupitre tradicional con un sistema de ajuste situado en las patas de la silla y de la mesa. También se desarrolló mediante dos alternativas distintas (*Alternativa 3* y *Alternativa 4*) y con dos versiones por cada alternativa. En este caso las versiones eran pupitre combo o silla y mesa por separado, como se muestra en las Figuras 4.12.-4.15.

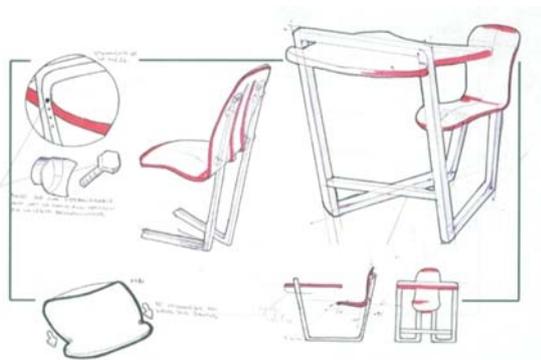


Figura 4.8. *Alternativa 1.* Pupitre trineo

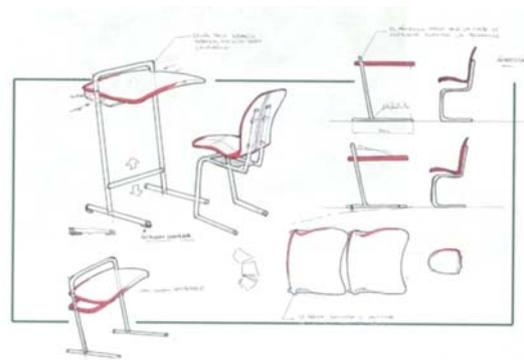


Figura 4.9. *Alternativa 1.* Silla y mesa separadas



Figura 4.10. Alternativa 2. Pupitre trineo



Figura 4.11. Alternativa 2. Silla y mesa separadas



Figura 4.12. Alternativa 3. Silla y mesa separadas

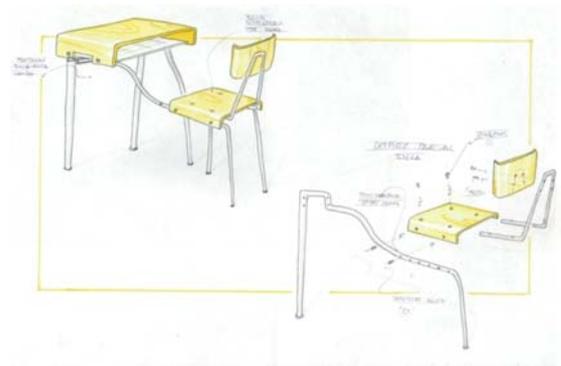


Figura 4.13. Alternativa 3. Pupitre combo



Figura 4.14. Alternativa 4. Silla y mesa separadas

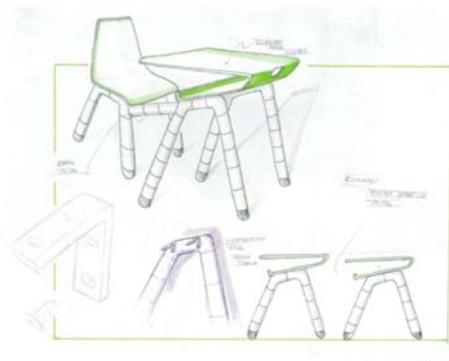


Figura 4.15. Alternativa 4. Pupitre combo

Tras el estudio de las diferentes posibilidades, el equipo de trabajo seleccionó finalmente el *Concepto 1* y se pasó a desarrollar con más detalle sus dos alternativas (*Alternativa 1* y

Alternativa 2), dando lugar al *Desarrollo 1* y al *Desarrollo 2*. Para ello se hizo un modelo tridimensional de las dos opciones, mediante un software específico:

-El *Desarrollo 1* se trata de la evolución de la *Alternativa 1*. En las Figuras 4.16.-4.18. se muestran sus dos versiones (pupitre trineo y mesa y silla separadas) y cómo sería la colocación de la silla encima de la mesa.



Figura 4.16. *Desarrollo 1*. Pupitre trineo



Figura 4.17. *Desarrollo 1*. Silla y mesa por separado



Figura 4.18. *Desarrollo 1*. La mesa y colocación de la silla encima de la mesa

-El *Desarrollo 2* sería una evolución de la *Alternativa 2*. En las Figuras 4.19.-4.21. se muestran sus dos versiones y su sistema de apilamiento.



Figura 4.19. *Desarrollo 2.* Pupitre trineo unido

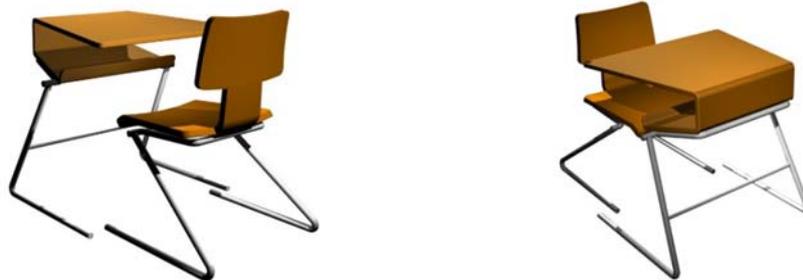


Figura 4.20. *Desarrollo 2.* Silla y mesa por separado



Figura 4.21. Colocación de la silla encima de la mesa y sillas apiladas

CRITERIOS DE VALORACIÓN	DESARROLLO 1			DESARROLLO 2		
	VALOR	PESO	TOTAL	VALOR	PESO	TOTAL
						
CRITERIOS ERGONÓMICOS						
- Adaptarse al rango antropométrico	8	1	8	8	1	8
- Facilitar una postura dinámica	7	0,8	5,6	8	0,8	6,4
- Fácilmente regulable	7	0,7	4,9	7	0,7	4,9
- Mantener las curvas de la espalda	7	1	7	7	1	7
- Permitir una correcta distancia ojo-mesa	7	1	7	7	1	7
- Facilidad de acceso	7	0,7	4,9	8	0,7	5,6
- Favorecer buena distribución del peso del cuerpo	7	0,8	5,6	7	0,8	5,6
CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES						
- Materiales reciclables	7	1	7	7	1	7
- Uso de materiales más ligeros	7	0,9	6,3	7	0,9	6,3
- Volumen del embalaje	5	0,7	3,5	7	0,7	4,9
- Tratamientos superficiales y etiquetas no tóxicas	7	1	7	7	1	7
- Fácil separación de componentes	8	0,8	6,4	8	0,8	6,4
- Fácil limpieza	6	0,9	5,4	8	0,9	7,2
- Apilable	6	0,9	5,4	8	0,9	7,2
- Marcaje de piezas para el reciclaje	7	0,8	5,6	7	0,8	5,6
- Materiales fácilmente identificables	9	0,8	7,2	9	0,8	7,2
- Reposición de piezas de manera independiente	8	0,8	6,4	8	0,8	6,4
CRITERIOS CONVENCIONALES						
- Estética	7	0,7	4,9	9	0,7	6,3
- Aprovechamiento del espacio de trabajo	5	0,9	4,5	8	0,9	7,2
- Flexibilidad	6	0,8	4,8	9	0,8	7,2
- Posibilidad del uso de colores	9	0,7	6,3	9	0,7	6,3
- Facilidad de desplazamiento del pupitre	8	0,8	6,4	7	0,8	5,6
- Estabilidad del material escolar	9	0,9	8,1	8	0,9	7,2
- Evitar elementos peligrosos	8	1	8	8	1	8
VALORACIÓN TOTAL	125,4			157,5		

Tabla 4.2. Valoración de los dos desarrollos de concepto

En la última parte de la fase de diseño del concepto, el equipo de trabajo valoró los dos desarrollos, teniendo en cuenta criterios ergonómicos, medioambientales y convencionales. Los criterios considerados y las puntuaciones se muestran en la Tabla 4.2. Se empleó una escala de valoración del 1 al 10. El *Desarrollo 2* fue el que obtuvo una mayor puntuación, por lo que fue escogido para pasar a la fase de detalle.

4.2.3 Diseño de detalle

Una vez escogido el concepto, se pasó a desarrollar la alternativa elegida. En esta fase debían determinarse las dimensiones, la forma, el sistema de ajuste, los materiales, las técnicas de producción...

Como ya se ha dicho antes, el diseño propuesto debería ser ajustable y sus posiciones extremas coincidir con las tallas 4 y 6 de la normativa española experimental UNE-ENV 1729:2002. De esta norma, y teniendo en cuenta el tipo de asiento seleccionado, de *pendiente negativa*, se presentan a continuación las principales características geométricas que se deben considerar.

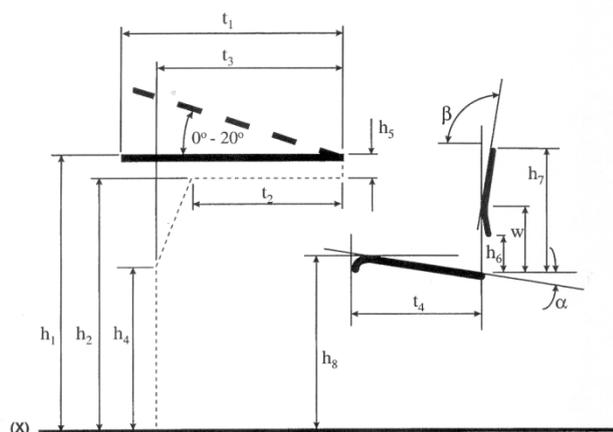


Figura 4.22. Parámetros de diseño a considerar de la norma UNE-ENV 1729 (pendiente negativa)

Por otra parte, y tal y como ya se expuso, ya que las medidas antropométricas de las que se partía a la hora de desarrollar esta norma estaban un tanto desfasadas y que no existen actualmente en España *datos antropométricos* fiables para escolares, se tomaron como referencia los valores obtenidos por el proyecto de investigación «*DINBelg 2005*». En ese proyecto recogieron, a través de un escáner en 3D, las medidas antropométricas de una muestra de población belga (más de 150.000 personas), de las cuáles una gran parte fueron de escolares.

A continuación se presentan, a modo de ejemplo, las medidas antropométricas correspondientes a las niñas de 6 años (*6 girls*). En ellas, como se puede observar, se cuenta con la media, los percentiles P1, P5, P95 y P99 y además, como es lógico, la desviación estándar de la muestra (SD) (Figura 4.23.).

Age [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) **6** [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [11](#) [12](#) [13](#) [14](#) [15](#) [16](#) [17](#) [18](#)

[total](#) [boys](#) [girls](#)

	nr	dimension (in mm)	P1	P5	mean	P95	P99	SD
standing	1	stature	1049	1082	1163	1244	1277	49
	2	eye height	910	950	1047	1144	1184	59
	3	shoulder height	805	836	912	988	1019	46
	4	elbow height	607	633	696	759	785	38
	5	fist height	416	438	491	544	566	32
	6	vertical grip reach	1227	1272	1383	1494	1539	67
sitting	7	crown-buttock height	573	591	636	681	699	27
	8	eye height	461	480	526	572	591	28
	9	shoulder height	323	340	381	422	439	25
	10	elbow height	118	130	160	190	202	18
	11	popliteal height	258	268	291	314	324	14
	12	thigh thickness	72	79	95	111	118	9.7
	13	buttock-popliteal length	269	281	311	341	353	18
	14	buttock-knee length	320	335	371	407	422	22
	16	elbow-fingertip length	269	280	306	332	343	16
	17	forward grip reach	423	441	486	531	549	27
	18	abdominal depth	128	139	165	191	202	16
	19	hip breadth	180	192	220	248	260	17
	20	shoulder breadth (d)	244	256	286	316	328	18
	hands	22	hand length	109	113	125	137	141
23		hand breadth	52	54	60	66	68	3.5
feet	27	foot length	157	164	180	196	203	9.7
	28	foot breadth	60	63	70	77	80	4.4
head	29	head length	156	160	170	180	184	6.2
	30	head breadth	123	126	135	144	147	5.3

Figura 4.23. Tablas antropométricas

Teniendo en cuenta estas dos fuentes de información, se fijaron los valores más aconsejables para los distintos elementos del mobiliario, cumpliendo siempre los distintos requisitos ergonómicos:

- Altura del asiento
- Ancho del asiento
- Inclinación del asiento
- Curvatura del asiento
- Altura del respaldo
- Inclinación del respaldo
- Curvatura del respaldo
- Altura del apoyapiés
- Altura de la mesa
-

En cuanto a la elección de materiales, se hizo una investigación en nuevos materiales que respetaran el medio ambiente, que tuvieran durabilidad y fácil limpieza. Tras evaluar los distintos componentes, teniendo en cuenta diversos criterios, entre otros los mencionados con anterioridad se escogieron los materiales que se muestran en la Tabla 4.3.

ELEMENTO	MATERIAL
Estructura de la mesa	Acero
Tablero	HPL
Perfil de la silla	Acero
Asiento	Polipropileno
Pieza de ajuste de la silla	Acero
Piezas de unión de silla-mesa	Plástico
Tacos silla-mesa	Plástico

Tabla 4.3. Materiales del mobiliario

Para la estructura de la silla, su pieza de ajuste y la estructura de la mesa se escogió el acero por presentar las siguientes ventajas: durabilidad, resistencia y posibilidad de reciclaje, además de ser más barato que otros materiales, como el aluminio.

El HPL es un material muy utilizado en mobiliario escolar; es fuerte, duradero, fácil de limpiar y disponible en gran cantidad de colores. Los materiales del núcleo pueden ser cartón, tablero de fibra de densidad media y aglomerado de madera; en este caso se prefirió el aglomerado. Las virutas que forman el aglomerado fueron de madera 100% recuperada (ayuda a la preservación del hábitat, se ralentiza la deforestación y se reducen los desperdicios de vertedero). Dado que este tipo de tableros presenta un problema, por su contenido en formaldehidos y fenoles, los cuales significan una amenaza para las personas (*off-gassing*) y para el medio ambiente, se utilizó un tablero con baja emisión de estas sustancias. Actualmente se están empezando a desarrollar tableros libres de formaldehídos, por lo que una de las estrategias a corto o medio plazo sería cambiar el tipo de tablero actual por una alternativa más ecológica.

En cuanto al material para el asiento, el polipropileno combina de manera muy favorable peso, solidez, resistencia química, rigidez y elasticidad. Además es un material que se puede reciclar fácilmente. Sin embargo, no se descartó la madera basándose en criterios económicos.

Los tacos de la mesa y de la silla, así como las piezas de unión, son elementos estándar y se hicieron de plástico.

Para finalizar, tanto las uniones entre el tablero de la mesa y la estructura como entre el asiento y la estructura fueron atornilladas. De este modo se facilita la reposición de piezas de manera independiente, así como la separación de componentes al llegar al fin de vida del producto.

Una vez definidas las características y dimensiones, funcionalidades y detalles del producto, se pasó a generarlo en 3D y obtener los planos finales para su producción. En las Figuras 4.24.-4.29. se muestra la geometría desarrollada y detalles del producto, que fueron obtenidos con el software Rhino.

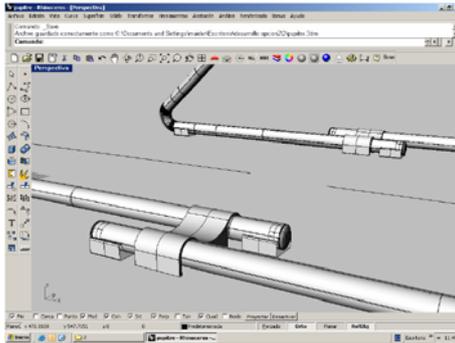


Figura 4.24. Geometría dearrollada

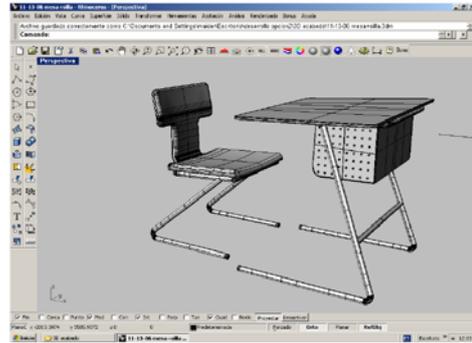


Figura 4.25. Geometría desarrollada

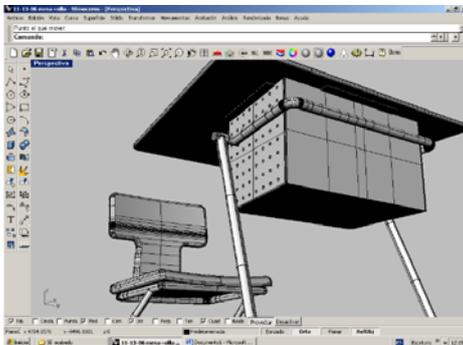


Figura 4.26. Geometría desarrollada

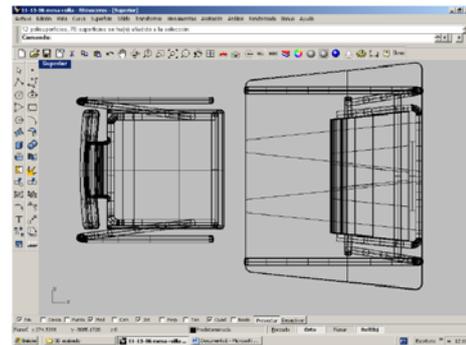


Figura 4.27. Geometría desarrollada

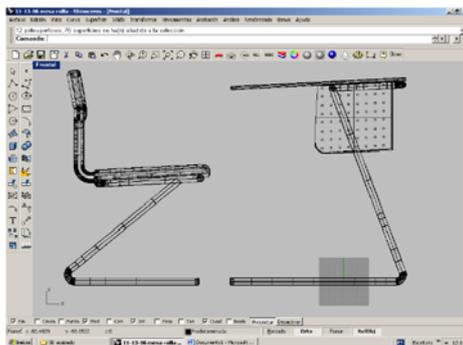


Figura 4.28. Geometría desarrollada

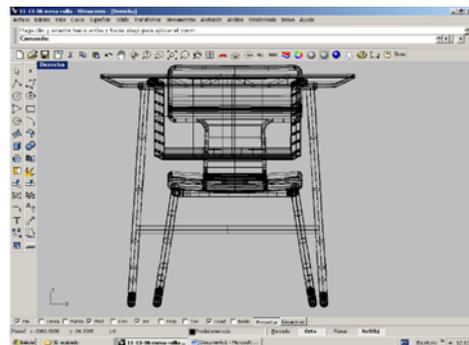


Figura 4.29. Geometría desarrollada

En las Figuras 4.30.-4.32. se muestra el diseño del pupitre en una vista frontal y en sus posiciones de regulación extremas.



Figura 4.30. Pupitre en posición más alta



Figura 4.31. Pupitre en posición más baja



Figura 4.32. Vista frontal del pupitre

Tanto la silla como la mesa se pueden colocar en cuatro posiciones distintas en función de las medidas antropométricas de los niños. A continuación se muestran las vistas explicativas de la funcionalidad de «crecer» del pupitre en función del «tamaño» del alumno (Figuras 4.33-4.34.)

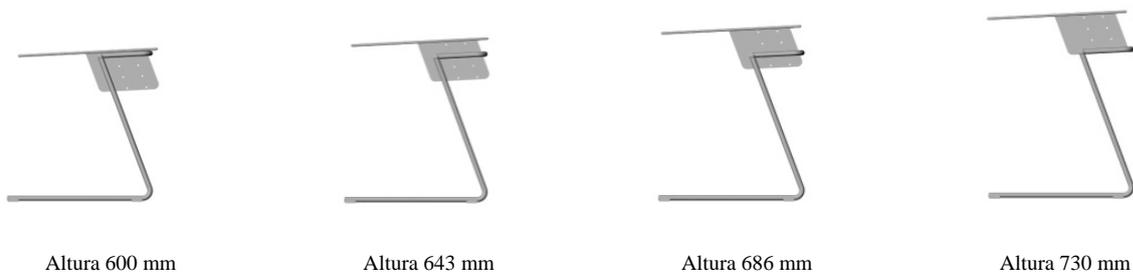


Figura 4.33. Posiciones de la mesa

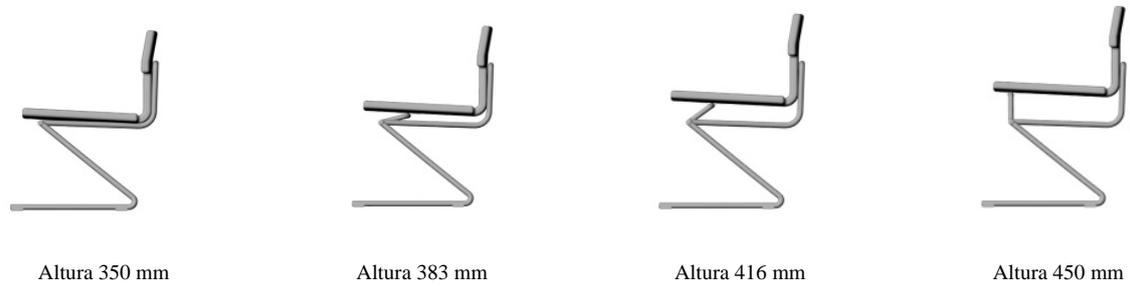


Figura 4.34. Posiciones de la silla

Finalmente, en las Figuras 4.35. y 4.36. se indican los materiales de los distintos componentes del mobiliario, así como una comparativa de los tamaños del pupitre por edades.

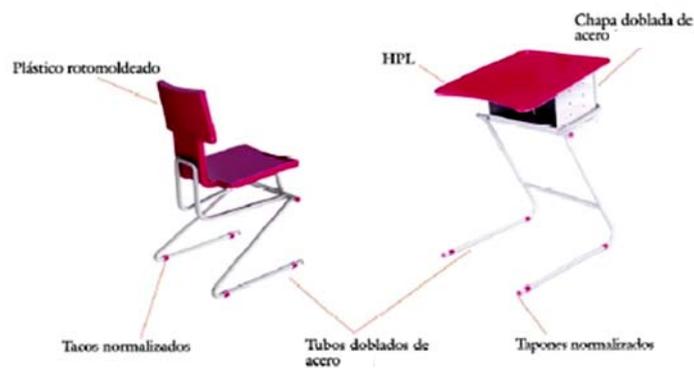


Figura 4.35. Materiales del pupitre

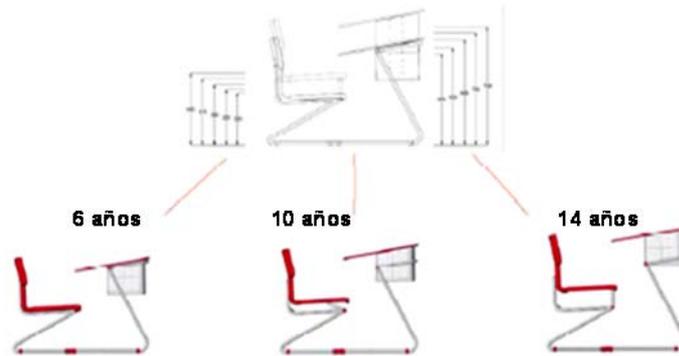


Figura 4.36. Mobiliario por edades

4.2.4 Ensayo y verificación

Una vez diseñado el mobiliario, para su evaluación se propuso combinar distintas técnicas de análisis e intervención: observación, cumplimentación de cuestionarios, técnicas de ejecución... Todas ellas se realizaron «in situ» y, tal como ya se comentó, en dos colegios de Gijón: *Antonio Machado e Inmaculada Concepción*.



Figura 4.37. Colegios participantes (*Inmaculada a la izquierda y Antonio Machado a la derecha*)

Es de destacar de entre estas intervenciones, las técnicas de ejecución. Éstas suplen los problemas de sesgo que presentan los cuestionarios o test y las medidas de observación externas. Por una parte, en el primer caso, por la excesiva «falsificación» de las respuestas por los propios sujetos en situaciones donde una imagen positiva es deseable en los cuestionarios; y por otra, en el segundo caso, por disminuir los sesgos perceptivos y derivados de la situación provocados por los observadores externos, los evaluadores. Así se complementa una intervención basada no sólo en objetivos de conocimientos, sino en las actitudes y valores que los alumnos, en este caso, pueden tener y podemos mejorar.

Para ello se diseñaron una serie de dinámicas que se realizaron en dos fases claramente diferenciadas en el tiempo: antes y después del uso y conocimiento del nuevo mobiliario por parte de los escolares.

4.2.4.1 Antes del uso y conocimiento del nuevo mobiliario

Antes de que los alumnos conocieran los prototipos del nuevo diseño de pupitre se les plantearon tres actividades:

4.2.4.1.1 Sesión fotográfica

Se trató de una fase de toma de contacto a través de la presentación de fotografías. Se utilizaron distintos tipos de imágenes en posiciones corporales diversas, especialmente sedentes, pero introduciendo variantes en las imágenes: tanto en relación con los medios y objetos de las posturas, como en la propia finalidad. Se planteó, además mostrar imágenes de personajes famosos o populares, mezcladas con otras de gente desconocida (Figura 4.38).

Se buscó que los chavales se apercibieran de los distintos recursos posturales que poseemos y llegaran a entender las posturas como formas de expresión, no sólo en referencia a lo corporal, sino también a lo cultural; es decir, de qué modo una postura también condiciona un actitud, una forma de comunicar.



Figura 4.38. Algunas de las fotografías utilizadas

Después de una selección previa, se escogieron finalmente un total de 30 fotografías que fueron mostradas mediante proyección a los alumnos en sus aulas (Figura 4.39.). Los escolares debían opinar sobre los aspectos posturales que les sugirieran dichas fotografías. Esas opiniones eran apuntadas libremente por los niños en unas hojas, en márgenes, al lado de las propias fotografías. Los niños, a iniciativa del profesor o del presentador, también podían efectuar comentarios en voz alta.



Figura 4.39. Sesión fotográfica

En la sesión fotográfica se consiguió materializar la idea de implicación y participación de los usuarios en el proyecto. La sesión fue muy bien acogida por los niños y es de destacar que los comentarios verbales y escritos se dirigieron, mayoritariamente, a plantearse si los personajes mostrados en las fotos se encontraban, según su criterio, bien o mal sentados.

4.2.4.1.2 «Una silla es una silla»

En esta fase siguiente de implicación, se les pidió a los chavales que realizasen, mediante dibujos, prototipos del que sería su mobiliario ideal, para seguir desarrollando un sentido crítico con su entorno.

La idea era que, una vez mostradas las fotografías de la fase anterior, los niños se implicasen aun más mediante la aportación de sugerencias de mejora del mobiliario: ¿cómo serían para ellos el pupitre y la silla ideal?

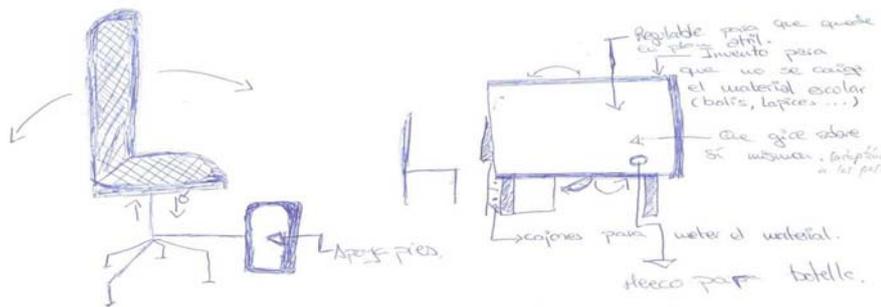


Figura 4.40. Ejemplo de «Una silla es una silla»

Los niños argumentaron la necesidad de convivir con un mobiliario:

- De mayor movilidad, sobremanera en lo que respecta a la posibilidad de regular la silla.
- Que además cuente con suplementos para dejar los materiales de escritura.

- Que dispusieran de una silla más cómoda (acolchada).
- Con ausencia de tornillos y, en general, hacia estilos de mobiliario más «redondeados» que los que actualmente utilizan.

En general, se observó cómo sus planteamientos se orientaban a un mobiliario más moderno y más cercano a los que pudieran encontrarse en otros entornos: hogar, cine...

4.2.4.1.3 Realización de sus propias fotografías

En la última fase, antes de que conocieran el nuevo mobiliario, se repartieron cámaras fotográficas entre los chicos para que ellos mismos pudiesen retratar las posturas y el entorno, desde una perspectiva postural, tanto en el medio escolar como en un medio cercano: zonas de ocio, en sus hogares etc.



Figura 4.41. Algunas de las fotografías tomadas por los niños

Pese a la existencia de algunas, que podemos definir como «*de pose o preparadas*», en las que se observa un gran protagonismo por la excesiva falta de espontaneidad, el abanico de imágenes recoge perfectamente la realidad de los chavales tanto en el aula como en los otros espacios, en lo que se refiere a la forma de adoptar posturas: sentados, tumbados, en escaleras, en los pupitres, ante el ordenador...

Una selección de estas fotografías se les mostró en una nueva sesión participativa. Los criterios de selección de las mismas se realizaron por naturalidad, repetitividad de la postura, calidad de la imagen... Se logró sobradamente lo que se buscaba: los niños participaron de forma muy activa en la consecución de posturas representativas del «estar bien o mal» sentado. Prueba de ello es que se escogieron 27 fotos para una última sesión de puesta en común y de casi todos los niños se pudo seleccionar alguna.

4.2.4.2 Primera evaluación biomecánica

Unos siete días después de que los alumnos tuviesen la primera versión del nuevo mobiliario en sus aulas, se llevó a cabo la primera evaluación postural, a través de un registro sonométrico de la espalda.



Figura 4.42. Prototipo del primer nuevo mobiliario

Para ello se utilizó el sistema PIMEX⁴ de KOHS (Kviecien Occupational Health Solutions) con el analizador «sonoSens». El sistema «kohs.PIMEX» en combinación con «sonoSens» permite la medición de los movimientos de la espalda bajo una casi absoluta libertad de acción. De este modo se pudo captar, ver y evaluar (en tiempo real) los movimientos de la espalda de los chavales: inclinación hacia delante y hacia atrás, inclinación lateral hacia la derecha y hacia la izquierda y torsión hacia la izquierda o hacia la derecha.

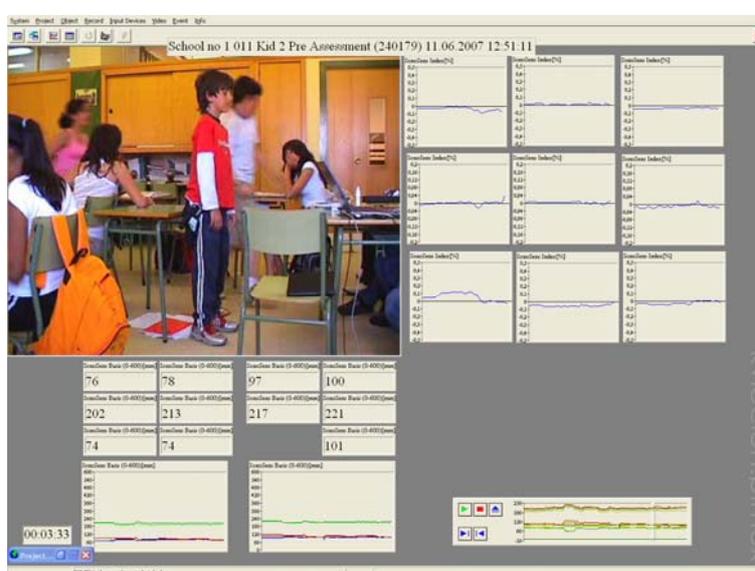


Figura 4.43. Sistema PIMEX en combinación con el sonoSens

Una vez puestos los sensores a cuatro alumnos seleccionados (selección realizada en función de las medidas antropométricas) y calibrado el dispositivo de toma de datos, se pasó a realizar una serie de tareas habituales en el mundo escolar. Así los chicos/as seleccionados tuvieron que *escribir* un dictado, *atender* a las indicaciones de su profesor y *atender y copiar*

⁴ El sistema PIMEX (Picture Mix EXposure) está avalado por el reconocido mundialmente *National Institute for Working Life* de Suecia y ha sido además utilizado, con excelentes resultados, en experiencias similares en Alemania.

según iba escribiendo el profesor en el encerado; todo ello, mientras se les iba registrando con el equipo de medición. Estas tareas fueron efectuadas usando el mobiliario actual y utilizando el mobiliario nuevo, para poder conocer así las posibles diferencias existentes.



Figura 4.44. Colocación de los sensores y evaluación en tarea de *atender/escribir*

Tras realizar esta primera evaluación biomecánica se obtuvieron las siguientes conclusiones^[94]:

- En esta primera versión del mobiliario, los índices en el plano sagital (*flexión=hacia delante; extensión=hacia atrás*) son inferiores a los obtenidos con el mobiliario actual en los tres tipos de tareas analizadas (*escritura, atención y atención y copia*). Esto quiere decir que con el nuevo diseño se consiguen valores posturales más próximos a los obtenidos en la posición vertical (que es la posición más adecuada para la columna vertebral).
- En las tareas *atención* y de *atención y copia*, al mirar a la pizarra o al profesor, se detectaron altos índices de extensión (*hacia atrás*) en la región cervical con el mobiliario actual. Para el caso del nuevo mobiliario en este punto se obtuvieron mejores registros: menores flexiones y extensiones del cuello.

- Con el nuevo mobiliario, en general la postura activa de los niños es «más pasiva» que con el mobiliario actual, descansando la zona pélvica y lumbar en la parte inferior y curvada del respaldo. Actualmente los chavales tienden a sentarse más cerca del borde de la silla.
- El espacio móvil para las piernas está limitado por el tamaño de la cajonera, por lo que se recomienda realizar un rediseño urgente en el nuevo mobiliario.
- En la nueva silla, en ocasiones los niños adoptan posturas donde la región torácica se apoya completamente pero la zona pélvica y la lumbar se mueven ligeramente, sin descansar completamente en el respaldo. Dependiendo del dinamismo del chaval, el índice de flexión lumbar es a veces inferior (como en la posición pasiva) pero en otras ocasiones se alcanzan valores superiores.
- El perfil inferior de la nueva mesa limita el movimiento lateral, por ejemplo para levantarse, siendo incluso complicado el colocar la silla «dentro» de las patas de la mesa.

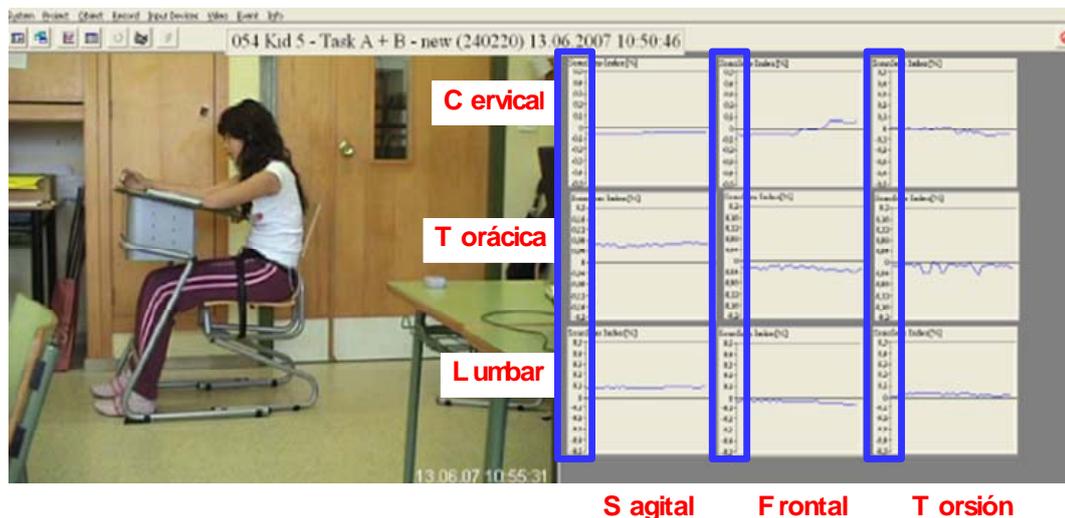


Figura 4.45. Ejemplo de valores obtenidos para distintas zonas de la columna

¿Y el resto de alumnos de las clases? El equipo de medición de movimientos sólo se les colocó a cuatro alumnos, ¿qué hacían mientras tanto el resto? Para solucionar este aspecto y buscando el no perder la motivación de los usuarios con el proyecto, se utilizó un recurso placebo con los chavales que no tenían colocados los sensores. A estos últimos se les pegaron unas tiritas de colores (en muñeca, codo y hombro) y se les grabó con otra cámara de vídeo, «engañándoles» al decirles que se les estaba registrando su comportamiento postural y que dichas tiritas serían las referencias en el análisis de los movimientos.

4.2.4.3 Cuestionario valorativo de los alumnos

Unos seis días después de haber llevado a cabo la evaluación biomecánica, se les pasó a todos los niños un cuestionario de satisfacción en el que pudieron dar su opinión sobre el nuevo mobiliario.

The image shows a questionnaire form with the following content:

SINORCO
SISTEMAS DE INGENIERÍA,
ERGONOMÍA Y CONSULTING

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DEL MOBILIARIO Y EL ENTORNO ESCOLAR

Las siguientes preguntas y respuestas anónimas nos servirán para conocer cuál es vuestra opinión sobre el mobiliario que estáis utilizando, lo que nos ayudará a establecer las mejoras oportunas.

Muchas gracias por tu colaboración.

1.- ¿Crees que la forma de sentarte y trabajar en tu pupitre es importante para tu salud?

SI

NO

2.- ¿Te sientes cómodo con el asiento y la mesa que en tu clase utilizabas hasta ahora?

Figura 4.46. Cuestionario de satisfacción para los alumnos (extracto)

De los múltiples ítems que componían el cuestionario, señalamos a continuación las valoraciones más importantes que hicieron los niños:

- Casi todos están de acuerdo en que la forma de sentarse y trabajar en el pupitre es importante para su salud.
- La gran mayoría reconoce que se «relaciona» de manera deficiente con el asiento y la mesa que actualmente utilizan en clase.
- Los defectos y problemas que se observaron en el actual mobiliario se refieren, sobre todo, a la mesa, en cuanto a sus dimensiones, inclinación y espacio interior para albergar las extremidades inferiores. También se señalaron problemas con la silla y, en menor medida, con la cajonera o casillero para guardar el material escolar. Otro aspecto negativo relevante del mobiliario actual, son los tornillos o enganches con los que cuenta.
- Mayoritariamente, el nuevo mobiliario fue mejor valorado que el antiguo.
- Como aspectos positivos del nuevo mobiliario, se señalan la comodidad de la silla, la inclinación de la mesa, el espacio con el que cuenta la cajonera y la barra de la que dispone la estructura de la mesa y que utilizan los escolares como apoyapiés.
- Como defecto sustancial, se menciona el volumen de la cajonera, que además de restringir el movimiento obstaculiza la colocación de los pies sobre la barra. Algunos alumnos apuntan también la excesiva inclinación de la mesa.
- El nuevo mobiliario es mejor o igual, según las respuestas dadas en la pregunta comparativa, que el resto de mobiliarios que utilizan en otros espacios fuera del ámbito escolar. Por el contrario, una minoría, se decantó por opinar que era peor.

4.2.4.4 Informe valorativo de los profesores y del personal de limpieza

A la vez que a los alumnos, se les pasó el cuestionario de satisfacción a los profesores y al personal de limpieza, o de mantenimiento, que estaban implicados en el proyecto. Emitieron

un informe abierto, sin ningún tipo de restricción, con las principales conclusiones que obtuvieron en su observación diaria del uso del nuevo mobiliario.

La opinión vertida por los profesores debe valorarse en dos aspectos diferentes. Por un lado, en lo que hace referencia a la actitud mostrada por los alumnos y, por otro, en lo que respecta a las características del nuevo mobiliario.

El comportamiento de los alumnos en este proyecto ha supuesto una experiencia sorprendente y muy positiva para los profesores. Los niños se han involucrado en el mismo y sus opiniones no han sido fruto de respuestas impulsivas, sino que han estado basadas en un pensamiento racional. Razonamiento, como es obvio, acorde a las edades de las que estamos hablando (11, 12, 15 y 16 años).

En lo que respecta específicamente al mobiliario, casi todos los profesores han llegado a conclusiones muy similares, señalando que este nuevo mobiliario cuenta con muchos más aspectos positivos que negativos. Así, como principales ventajas, señalan la inclinación de la mesa, la silla (en su conjunto) y el elemento superior de la mesa diseñado para dejar los lápices. Como desventajas, el tamaño de la cajonera y, en menor medida, el tamaño del tablero de la mesa, que les parece «un poco pequeño».

Por otro lado, el personal de limpieza cree que, pese al escaso tiempo en el que ha podido interactuar con el mobiliario, este nuevo diseño les permitirá limpiarlo más fácilmente por el tipo de material utilizado en el tablero de la mesa y en el asiento y respaldo de la silla. Señalan como único aspecto negativo que, al tener pendiente la mesa, se les hace más difícil poder dejar alguno de los materiales de limpieza, como pueden ser los botes.

4.2.4.5 Recomendaciones de mejora ergonómica

Tras la primera evaluación biomecánica y teniendo en cuenta las observaciones, el informe ergonómico obtenido, los cuestionarios de los alumnos y los informes de los profesores y del personal de limpieza, el equipo de trabajo llegó a consensuar una serie de recomendaciones, desde el punto de vista ergonómico, sobre distintos elementos del mobiliario que vienen recogidos de forma sucinta en las Tablas 4.4 y 4.5.

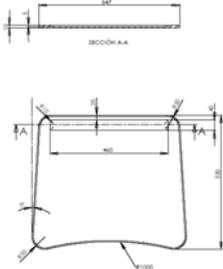
RECOMENDACIONES ERGONÓMICAS PARA LA MESA	
	<ul style="list-style-type: none"> - Los colores más adecuados, teniendo en cuenta la estimulación y concentración del usuario, serían: <ul style="list-style-type: none"> o Naranja, amarillo o rojo para los más pequeños. o Verde o azul para los mayores. - Aumentar las dimensiones de la mesa unos 5 cm por delante y por detrás, pero manteniendo la misma forma. - La inclinación de la mesa se consideró adecuada. - La ranura para los accesorios no planteaba ningún problema. - Se sugirió la posibilidad de integrar un accesorio para los botes, como elemento auxiliar de utilidad para el personal de la limpieza e incluso para por los propios alumnos.
	<ul style="list-style-type: none"> - De los 5 agujeros reales solo se pueden utilizar 4. - La cajonera es demasiado grande. - En función del nuevo tamaño de la cajonera, habrá que estudiar el número de regulaciones. - La barra de los pies es un elemento diferenciador muy importante para este mobiliario - Sería recomendable recortar la longitud de las patas.

Tabla 4.4. Recomendaciones ergonómicas para la mesa

RECOMENDACIONES ERGONÓMICAS PARA LA SILLA	
	<ul style="list-style-type: none"> - El borde delantero del asiento debe ser un poco más inclinado. - Uso de la parte inferior de la silla como «cajonera». - Posibilidad de colocar más atrás la barra del sistema de ajuste de la silla. - Las inclinaciones del respaldo y del asiento se consideran adecuadas. - Sería recomendable colocar otros topes de caucho en la parte de atrás de la silla.

Tabla 4.5. Recomendaciones ergonómicas para la silla

4.2.4.6 Segunda evaluación biomecánica

Con los resultados y opiniones obtenidos en las evaluaciones anteriores se efectuó un rediseño del nuevo mobiliario, intentando lógicamente solucionar todas las deficiencias encontradas (Figura 4.47).



Figura 4.47. Rediseño del nuevo mobiliario

Para realizar esta segunda evaluación postural, la técnica empleada fue la simple observación. Esta observación fue llevada a cabo por el ergónomo, prestando atención a cómo se habían modificado aquellas situaciones que, desde el punto de vista biomecánico, habían sido anteriormente catalogadas como conflictivas. En este caso no se consideró necesaria la utilización de método PIMEX, puesto que las modificaciones realizadas en el mobiliario iban a dar lugar a mejoras evidentes en las posturas de los alumnos. Tras la observación de una serie de niños en las tareas seleccionadas como representativas: *escribir* un dictado, *atender* a las indicaciones de su profesor y *atender y escribir* según iba escribiendo el profesor en el encerado, el análisis postural dio lugar a las siguientes conclusiones:

- En esta segunda versión del mobiliario, se observaron menores flexiones y extensiones que en la primera versión, ya que la disposición de una cajonera más pequeña facilita la aproximación a la mesa.

- Con este nuevo rediseño se registró una mayor utilización, por parte de los escolares, de la postura más pasiva.
- El espacio de movilidad para las piernas ya no está limitado por el tamaño de la cajonera.
- El perfil inferior de la estructura de la mesa sigue limitando el movimiento lateral, pero al reducir el volumen de la cajonera, no es tan acentuado.

4.2.5 Producción

Tras esta segunda valoración postural, el equipo de trabajo aprobó esta versión del mobiliario pasando de esta manera a la fase de producción. En la Figura 4.48 se muestra la hoja de detalle de los componentes del producto que entraron finalmente en la fase de producción.

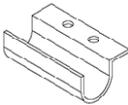
Una vez llegado a esta fase de producción se aprobó la norma UNE-EN 1729:2007 lo que obligó a volver hacia atrás en el proceso de diseño, a la fase *diseño de detalle*, para hacer una serie de modificaciones en el mobiliario. Esta nueva norma distingue, en función de las dimensiones funcionales, una serie de distintivos de tamaño y códigos de color. El mobiliario final abarcaría los grupos 4, 5 y 6, que corresponde a los colores rojo, verde y azul respectivamente. Respecto a la norma UNE-ENV 1729:2002, hubo que rectificar algunas medidas de la mesa (altura de la tapa) y de la silla (profundidad útil del asiento, anchura mínima del asiento, altura del punto S o punto más sobresaliente del respaldo en el punto medio y anchura mínima del respaldo)

EMPRESA:	PRODUCTO: CÓDIGO:			FECHA REALIZA: FECHA ACTUAL: RESPONSABLE:		
DENOMINACIÓN	REF. PIEZA	CROQUIS	Nº PIEZ	DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS	OPERAC.	CÓDIGO
Asiento			1	Polipropileno (e=30mm)	Rotomoldeo	
Elemento giratorio			1	Acero (Diam. 20mm/ e=1,5mm)	Tubo soldado y curvado	
Elemento de unión			1	Acero		
Tornillo agarre inferior silla			2	M6x20		
Eje			1	Acero (Diam. 16/24 mm)	Mecanizado	
Tapón	1E+05		8			
Estructura silla			1	Acero (Diam. 20mm/ e=1,5mm)	Tubo soldado y curvado	
Base de pata	5E+05		8			
Arandela	10009 69000 0VR		2			
Tornillo agarre lateral silla			2	M6x40		
Encimera			1	HPL (e= 10mm)	Laminado y mecanizado	
Tornillo fijación a la estructura de la mesa			4	M6x16		
Cajonera			1	Acero (e= 2mm)	dobladas y soldadas, chapa recortada doblada	
Tornillo fijación al tablón			4	M6x10		
Estructura mesa			1	Acero (Diam. 20mm/ e=1,5mm)	Tubo soldado agujereado y curvado	

Figura 4.48. Hoja de detalles de los componentes del mobiliario final

4.2.5.1 Justificación económica

A continuación se presentan, de forma aproximada, ya que como es lógico pueden variar en función del volumen de producción del puesto escolar, las partidas económicas asociadas a cada uno de los componentes del mobiliario. El coste de fabricación total del conjunto mesa-silla sería de unos 117,15 € precio competitivo con los actuales de mercado.

DENOMINACIÓN	CROQUIS	Nº PIEZA	MATERIALES Y DIMENSIONES	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Asiento		1	Polipropileno e=30mm	7,70	7,70
Elemento giratorio		1	Acero Ø=20 mm e=1,5 mm	6,80	6,80
Elemento de unión		1	Acero	5,15	5,15
Tornillo agarre inferior silla		2	M6x20	0,11	0,22
Eje		1	Acero Ø=16/24 mm	4,50	4,50
Tapón		8		0,45	3,60
Estructura silla		1	Acero Ø=20 mm e=1,5 mm	32,00	32,00
Base de pata		8		0,40	3,20
Arandela		2		0,10	0,20

(Continúa en la página siguiente)

(Viene de la página anterior)

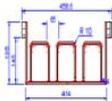
Tornillo agarre lateral silla		2	M6x40	0,15	0,30
Encimera		1	HPL e=10 mm	5,50	5,50
Tornillo fijación a la estructura de la mesa		4	M6x16	0,10	0,40
Cajonera		1	Acero Ø=2 mm	21,20	21,20
Tornillo fijación al tablón		4	M6x10	0,02	0,08
Estructura mesa		1	Acero Ø=20 mm e=1,5 mm	26,30	26,30
COSTE DE FABRICACIÓN					117,15

Tabla 4.6. Justificación económica

4.2.6 Lanzamiento y comercialización

Como ha quedado demostrado, el nuevo mobiliario ha sido diseñado siguiendo parámetros ergonómicos y medioambientales. Y este aspecto diferenciador, debe ser enfatizado de cara a su distribución y comercialización.

El proceso de diseño de este pupitre viene avalado por la norma UNE 150301^[95] de Ecodiseño, por lo que puede optar a llevar la ecoetiqueta AENOR. Además se está estudiando

también la posibilidad de certificar el producto por el «Ángel Azul» (Blazer Angel) alemán y la ecoetiqueta europea.

Desde el punto de vista ergonómico se tratará también de aprovechar la certificación ergonómica que expide la Asociación Española de Ergonomía (AEE), ya que este producto cumple los principios básicos exigidos por la AEE para otorgarle dicha acreditación.

Por otro lado, también es importante en relación con el impacto que puede tener en el mercado, el escoger un nombre llamativo para su comercialización. Así se llegó al consenso de llamarlo *Tris-Tras*. Este nombre es una onomatopeya que describe el sonido que producen las piezas de caucho, que une las patas de la mesa y de la silla, cuando se colocan o se quitan (en función de si se quiere tener el conjunto del mobiliario unido o separado).

4.2.7 Fin de ciclo de vida

En esta última fase hay que verificar que a lo largo del proyecto se han cumplido las premisas ergonómicas y medioambientales iniciales. De esta manera, al ya bautizado *Tris-Tras* se le puede realizar un checklist comprobatorio en las diferentes áreas de actuación:

- El mobiliario *Tris-Tras* cubre las necesidades sociales actuales, tanto ergonómicas como medioambientales.
- El producto realiza sus funciones eficaz y eficientemente.
- Su estructura está prevista para la durabilidad.
- Su reparación y mantenimiento se realizan de forma independiente.
- *Tris-Tras* tiene una estética duradera.
- Los materiales utilizados son respetuosos con el medio ambiente y no son tóxicos.
- *Tris-Tras* se empaqueta en el mínimo espacio, lo que ahorra gastos de transporte.

- De fácil montaje, sus piezas son desmontables. Con el producto se entregan «instrucciones de fin de vida y reciclaje» para facilitar el desmontado del mismo.
- Los materiales son fácilmente identificables.
- Los tratamientos superficiales no son tóxicos, ni tampoco sus etiquetas adhesivas.
- Es un producto reutilizable.
- El mobiliario *Tris-Tras* ofrece nuevas alternativas de posiciones sedentes, factor éste importantísimo para la salud de los alumnos, ya que el cuerpo necesita de la posibilidad de cambios posturales frecuentes.

Se elaboró un plan de acción en el que se recogen las medidas de mejora del producto a medio y corto plazo:

MEDIDAS DE MEJORA	PLAZO	ACCIONES	PLAZO Y/O PERIODICIDAD
Tablero de materiales alternativos	MP/LP	- Enviar notificación a suministradores y diseñadores sobre esta demanda	Cada 3 meses
		- Consultar periódicamente sobre nueva información	Cada 3 meses
		- Consultar ferias sobre este tema	Cada 3 meses

Tabla 4.7. Medidas de mejora a medio y largo plazo

Si se analiza el cumplimiento de los distintos *Factores Motivantes* se tiene lo siguiente:

- *Mercado*. El factor mercado, en principio, no se consideraba muy importante atendiendo a que los usuarios no demandaban un mobiliario escolar ergonómico ni existían exigencias medioambientales específicas. No obstante, con el *Tris-Tras* se ha conseguido

estar por delante de una demanda que cada vez se encuentra más concienciada sobre aspectos como la salud y el medioambiente.

- *Aumento de la calidad del producto.* Aparte del aumento de calidad que supone la consideración de parámetros ergonómicos y medioambientales, con el ***Tris-Tras*** se ha conseguido un producto más duradero, eficaz y eficiente.
- *Mejora de la imagen del producto de la empresa.* El ***Tris-Tras*** ha sido diseñado siguiendo la normativa de ecodiseño UNE 150301, llevará la ecoetiqueta AENOR y la certificación de la Asociación Española de Ergonomía. Es decir, con él se conseguirá una mejora en la imagen de la empresa y, fundamentalmente, en comparación con otros productos de la competencia con similares características.
- *Poder de innovación.* La aplicación de parámetros ergonómicos y medioambientales ha dado lugar a un producto innovador y que actualmente cuenta con unas características no presentes en el resto de productos existentes en el mercado. El ***Tris-Tras*** es por lo tanto un adelanto al nuevo concepto de salud que debería comenzar a aplicarse en las aulas de los próximos años.

En cuanto a la opinión de los consumidores sobre los aspectos ergonómicos del producto, los propios escolares usuarios, teniendo incluso en cuenta el criterio crítico que han ido desarrollando a lo largo de este proyecto, se decantan claramente por el mobiliario ***Tris-Tras***. Algunos elementos del ***Tris-Tras***, como la ranura para accesorios, la barra para los pies o el respaldo de la silla, han sido muy utilizados y alabados por los niños. Por otra parte, el profesorado y el personal de limpieza, que han estado observando e interactuando a diario con este nuevo mobiliario, han calificado con un notable alto el producto, valorando muy positivamente aspectos como la fácil limpieza de la mesa y de la silla, la mejora postural que supone a los propios profesores el tener más alta la mesa (con la menor flexión de columna que esto les supone), etc.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

5.1 Conclusiones

En este trabajo se ha planteado una forma diferente de entender el diseño de productos, en la que es prioritaria la salud, tanto de las personas usuarias de los diseños como de la naturaleza que nos rodea. No se trata de una moda o una opción a escoger, sino que es una tendencia obligada en un mercado cada vez más competitivo.

Como base de partida, se ha optado por un caso concreto: el mobiliario escolar. Las razones son lógicas y han sido documentadas en este mismo trabajo. Es un producto en el que es fácilmente justificable la aplicación de esta nueva metodología del diseño, tanto desde el punto de vista ergonómico como del medioambiental.

Tomando como referencia metodologías de diseño probadas ya, se ha buscado mejorarlas y rediseñarlas a partir del uso de herramientas ya utilizadas en otras disciplinas vinculadas al diseño, como la Ergonomía y la Ecología. Es decir, siendo puristas, no se ha tratado de inventar una nueva forma de diseñar los productos, sino reorientar el enfoque que se le está dando y haciendo primar las actuales necesidades del mercado: confort, sostenibilidad, facilidad de uso, estética, etc. Prueba de ello es que se han mantenido las tradicionales etapas de definición estratégica, diseño conceptual, diseño de detalle, ensayo, producción, comercialización y fin de ciclo de vida; pero abordadas desde un prisma más específico, el sistema *usuario-producto-contexto*.

Se han ido describiendo también un gran número de técnicas de trabajo ergonómicas (antropometría, observación, pruebas de usabilidad...) y medioambientales (ecoindicadores, análisis del ciclo de vida...), que pueden ser muy útiles para el diseñador cuando afronta un proyecto de diseño o de rediseño. No obstante este compendio de herramientas es «abierto»; es decir, existen e irán surgiendo nuevas tendencias o tecnologías que hacen, o harán, posibles otros enfoques complementarios a los presentados en este estudio.

Como prueba de la viabilidad que tendría esta metodología de la *Llave del Diseño*, se ha optado por aplicarla en un caso real vinculado al mobiliario escolar. Se ha intentado describir de la forma más detallada posible cómo se afrontó su empleo en dicho caso; aunque, lógicamente, para cada situación particular habría que pensar en modificar ciertos planteamientos en función de las necesidades existentes, de los recursos disponibles, de los objetivos previstos... No obstante, los resultados obtenidos han sido muy positivos y todas las partes implicadas (diseñador, fabricante, usuarios...) han quedado muy satisfechas por la experiencia vivida. Si hubiera que señalar un elemento destacado por todos ellos, es el cambio de mentalidad que les ha supuesto este proyecto, al hacerles pasar de una «mentalidad unidisciplinar y cerrada», a la hora de situarnos frente a los problemas, a una «mentalidad multidisciplinar y abierta», caracterizada además por su escasa presencia en el día a día.

5.2 Líneas futuras de trabajo

Como ya se ha señalado, teniendo en cuenta los esperanzadores resultados obtenidos en el caso objeto de estudio, merecería la pena el seguir investigando en la aplicación de esta *Llave del Diseño* a otros tipos de productos. Así podríamos aplicarla a productos destinados a grupos de población concretos: tercera edad, personas con discapacidades, diseño para todos...; o a productos muy heterogéneos: software, bienes de consumo, sistemas de transporte... De esta manera, se conseguiría, por un lado, el seguir comprobando su posible eficacia y, por otro, el ir mejorando la propia metodología, basándose en nuevos hallazgos.

Por otro lado, para aumentar las posibilidades de éxito que pudiera tener en el mercado, sería muy interesante comprobar hasta qué punto se pueden llegar a reducir, con la aplicación de esta metodología de diseño y con antelación, los impactos ambientales y la falta de adaptación de los productos a los usuarios. Además, ese impacto tendría también que poder compararse con los costes complementarios que siempre conlleva su ejecución: dinero, tiempo, etc.

Aunque parezca un tanto ambicioso, quizás el objetivo prioritario, sea la elaboración de una norma que permita integrar los aspectos ergonómicos y medioambientales en la gestión del diseño de productos. Si bien es cierto que para el Ecodiseño esta norma ya existe, es la «UNE 150301: Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño», para el caso de la

Ergonomía no sucede así. Se trataría, por tanto, de o bien integrar los principios de la Ergonomía en ella, o bien de elaborar otra específica que recogiera los principios ergonómicos fundamentales a la hora de diseñar un producto. Se trataría por tanto de contar con una norma que tratara de:

- *Minimizar los impactos ambientales y de falta de ergonomía* generados por los productos desde su diseño, promoviendo un enfoque claramente preventivo.
- *Sensibilizar al mercado* sobre la importancia de la aplicación de los principios ergonómicos y del impacto ambiental generado por los productos.
- *Establecer una sistemática* que asegure la mejora ambiental y ergonómica continua en el diseño de productos; es decir, que todos los productos diseñados o rediseñados incorporen alguna mejora ambiental o alguna característica ergonómica que los haga diferenciarse de la competencia.
- *Facilitar un distintivo* a las empresas que garantizan los mínimos ecológicos-ergonómicos establecidos en la norma, mediante la *certificación*, que les suponga una ventaja competitiva en el mercado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Huertas, P.; López, M. (2005): *Desarrollo de nuevo mobiliario escolar compatible con las tecnologías de la información y las comunicaciones para la empresa FEDERICO GINER, S.A.*, Revista de Biomecánica, no.44, pp.37-39.
- [2] Lueder, R. (2007): *Ergonomics for children*, Taylor & Francis, London.
- [3] Zacharkow, D. (1988): *Posture, sitting, standing, chair design and exercise*, Charles C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois.
- [4] Murphy, S.; P. Buckle, D. Stubbs (2004): *Classroom posture and self-reported back and neck pain in schoolchildren*, Applied Ergonomics, vol.35, no.2, pp.113-120.
- [5] Instituto Biomecánico de Valencia (1992): *Ergonomía y mueble: Guía de recomendaciones para el diseño de mobiliario ergonómico*, Instituto Biomecánico de Valencia, Valencia.
- [6] Llanea Álvarez, F.J. (2005): *Ergonomía y Psicología aplicada. Manual para la formación del especialista*, Editor Lex Nova, Valladolid.
- [7] Page, A.; R. Porcar; M.J. Such; J. Solaz; V. Blasco (2001): *Nuevas técnicas para el desarrollo de productos innovadores orientados al usuario*, Instituto Biomecánico de Valencia, Valencia.
- [8] IHOBE (2000): *Manual Práctico de EcoDiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos*, Gobierno Vasco.
- [9] Centre for Design at RMIT University (2001): *Sustainable Product Development: Furniture and Building Products*, Centre for Design at RMIT University, Melbourne. www.cfd.rmit.edu.au
- [10] Institute of Australia Industrial Design (2004): *Ecodesign Innovation, Professional Practice Guidelines*, Melbourne.
- [11] Demi (2001): *Demi-Guide to Design for Sustainability*, www.demi.org.uk
- [12] Viñolas Marlet, J. (2005): *Diseño Ecológico*, Ed. Blume, Barcelona.
- [13] Lueder, R. (2003): *Are children just little adults?*, ErgoSolutions Magazine, Diciembre, <http://ergosolutionsmag.texterity.com/ergosolutionsmag/200504>
- [14] Gardner, A.; Kelly, L. (2005): *Back pain in children and young people*, BackCare, London. Disponible en www.backcare.org.uk/catalog/detail.php?BID=20&ID=2938
- [15] Balague, F.; J. Dudler, M. Nordin (2003): *Low-back pain in children*, Lancet, vol.362, pp.1403-1404.

- [16] Trevelyan, F.C.; Legg, S.J. (2006): *Back pain in school children. Where to from here?* Applied Ergonomics, vol.37, no.1, pp.45-54.
- [17] Panagiotopoulou, G.; K. Christoulas, A. Papanckolaou, K. Mandroukas (2004): *Classroom furniture dimensions and anthropometric measures in primary school*, Applied Ergonomics, vol.35, no.2, pp.121-128.
- [18] Evans, O.; B. Collins, A. Stewart (1992): *Is school furniture responsible for student sitting discomfort? Unlocking potential for the future productivity and quality of life*, en Hoffmann and O. Evans (Eds.), Proceedings of the 28th Annual Conference of the Ergonomics Society of Australia Inc, Melbourne, Australia, 2-4 December of 1992. Ergonomics Society of Australia Inc, Downer, ACT, Australia, pp.31-37.
- [19] Milanese, S.; Grimmer, K. (2004): *School furniture and the user population: An anthropometric perspective*, Ergonomics, vol.47, no.4, pp.416-426.
- [20] Oates, S.; G. Evans, A. Hedge (1998): *A preliminary ergonomic and postural assessment of computer work settings in American elementary schools*, Computers in the Schools, vol.14, pp.55-63.
- [21] Fallon, E.F.; Jameson, C.M. (1996): *An ergonomic assessment of the appropriateness of primary school furniture in Ireland*, en A.F. Ozok and G. Salvendy (Eds.), Advances in Applied Ergonomics. West Lafayette, IN: USA Publishing, pp. 770-773.
- [22] Molenbroek, J.; Ramaekers, Y. (1996): *Anthropometric design of a size system for school furniture*, en S.A. Roberson (Ed.), Contemporary Ergonomics 1996. London: Taylor & Francis, pp.130-135.
- [23] Molenroek, J.F.M.; Y.M.T. Kroon-Ramaekers, C.J. Snijders (2003): *Revision of the design of a standard for the dimensions of school furniture*, Ergonomics, vol.46, no.7, pp.681-694.
- [24] Jeong, B.Y.; Park, K.S. (1990): *Sex differences in anthropometry for school furniture design*, Ergonomics, vol.33, no.12, pp.1511-1521.
- [25] Parcels, C.; M. Stommel, R.P. Hubbard (1999): *Mismatch of classroom furniture and student body dimensions*, Journal of Adolescent Health, vol.24, pp.265-273.
- [26] Museo del Niño y Centro de Documentación Histórica de la Escuela (2001): www.museodelnino.es
- [27] Bustamante, A. (2004): *Mobiliario Escolar Sano*, Fundación MAPFRE, Madrid.
- [28] Schneider, R. (1998): *Die Suche nach dem idealen Schulbau im 20. Jahrhundert*. Ed. T. Müller & R. Scheiner. New York: Prestel.
- [29] Fiell, C.; Fiell, P. (2002): *Modern Chairs*, Taschen, Cologne.
- [30] Peters, N. (2006): *Prouvé*, Taschen, Cologne.

- [31] Solaguren-Beascosa, F. (2002): *Jacobsen*, Edicions UPC, Barcelona.
- [32] Keegan, J. (1953): *Alterations of the lumbar curve related to posture and seating*, Journal of Bone and Joint Surgery, vol. 35A, no.3, pp.589-604.
- [33] Schoberth, H. (1962): *Sitzhaltung Sitzschaden*, Springer, Berlin.
- [34] Mandal, A.C. (1984): *Correct Height of School Furniture*, Human Factors, vol.24, no.3, pp.257-269.
- [35] Mandal, A.C. (1987): *The Seated Man*. Dafnia Publications, Denmark.
- [36] Scriven, F.B. (1975): *Concepción y fabricación de mobiliario escolar: una evaluación*, Ed. de la UNESCO, Paris.
- [37] Cooper, E.M.; P. Doze; E. Laville (2005): *Starck*, Taschen, Cologne.
- [38] Fiell, C.; Fiell, P. (2005): *1000 Chairs*, Taschen, Cologne.
- [39] Maldonado, T. (1977): *El diseño industrial reconsiderado*; Colección Punto y Línea; Ed. Gustavo Gilli; Barcelona.
- [40] Jones, J. C.; Thornley D. G. (1963): *Conference on Design Methods*, Pergamon Press, Oxford, UK.
- [41] Zwicky, F. (1948): *The Morphological Method of Análisis and Construction*, Studies and Seáis, Interscience, New York. Brezet, H.; Van Hemel, C. (1997): A promising approach to sustainable production and consumption, Ed. UNEP, Paris.
- [42] Hall, A. D. (1962): *A Methodology for Systems Engineering*, Van Nostrand, Princeton, NJ.
- [43] Asimow, M. (1962): *Introduction to Design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [44] Alexander, C. (1964): *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- [45] Archer, L. B. (1965): *Systematic Method for Designers*, The Design Council, London.
- [46] Jones, J. C. (1970): *Design Methods*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- [47] Gordon, W. J. J. (1961): *Synectics*, Harper & Row, New York.
- [48] Osborn, A. F. (1963): *Applied imagination. Principles and Procedures of Creative Thinking*, Scribener's Sons, New York.
- [49] Alexander, C. (1971): *The State of the Art in Design Methods*, DMG Newsletter, 5(3): 3-7.

- [50] Jones, J. C. (1977): *How My Thoughts About Design methods Have Changed During the Years*, Design Methods and Theories, 11(1): 48-62.
- [51] Rittel, H. (1973): *The State of The Art in Design Methods*, Design Research and Methods (Design Methods and Theories), 7(2): 143-147.
- [52] Roozenburg, N.; Cross N. (1991): *Models of the Design Process: integrating cross the disciplines*, Design Studies, 12(4): 215-220.
- [53] Hongo, K.; Nakajima, N. (1991): *Relevant Features of the Decade 1981-1991 for Theories of Design in Japan*, Design Studies, 12(4): 209-214.
- [54] Hubka, V. (1982): *Principles of Engineering Design*, Butterworth Scientific Press, Guildford, UK.
- [55] Pahl, G.; Beitz, W. (1984): *Engineering Design*, The Design Council, London.
- [56] French, M. J. (1985): *Conceptual Design for Engineers*, The Design Council, London, UK.
- [57] Cross, N. (1989): *Engineering Design Methods*, John Wiley & Son Ltd., Chichester, UK.
- [58] Pugh, S. (1991): *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley, Wokingham, UK.
- [59] Andreasen, M. M. (1991): *Design Methodology*, Journal of Engineering Design, 2(4): 321-335.
- [60] The Center for Universal Design: www.ncsu.edu/www/ncsu/design/sod5/cud
- [61] PRODINTEC (2010): *Diseño para Todos*, Fundación PRODINTEC, Gijón.
- [62] Alastair Fuad-Luke (2002): *Manual de diseño ecológico*, Editorial Cartago.
- [63] Chao, E. (2006): *Construcción y Tecnología* pág. 42-49, www.imcyc.com
- [64] Papanek, V. (1971): *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*, Pantheon Books, New York.
- [65] Haines, H.; Wilson, J.R. (1998): *Development of a framework for participatory ergonomics*. Norwich: Health and Safety Executive Books.
- [66] Krippendorff, K. (2006): *The semantic turn, a new foundation for design*, Taylor&Francis.
- [67] Jordan P. W. (2000): *Designing pleasure products. An introduction to the new human factors*, Taylor and Francis, London.

- [68] Desmet, P. (2002): *Designing Emotions*, Delf University of Technology, Delf, The Netherlands.
- [69] Petiot J.P., Bernard Y. (2004): *Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics*, International Journal of Industrial Ergonomics 33 507–525.
- [70] Jiao J.; Y. Zhang; M. Helander (2006): *A Kansei mining system for affective design*, Expert Systems with Applications, vol. 30, pp.658-673.
- [71] Nagamachi M. (1995): *Kansei engineering: a new ergonomic consumer-orientated technology for consumer development*, International Journal of Industrial Ergonomics, 15. pp 3-11
- [72] Schütte S. (2005): *Engineering Emotional Values in Product Design. Kansei Engineering in Development*, Linköping Universitet, Institute of Technology.
- [73] Instituto Biomecánico de Valencia: www.ibv.org/
- [74] PRODINTEC (2006): *Diseño industrial. Guía metodológica*, Fundación PRODINTEC, Gijón.
- [75] UNE-EN ISO 6385:2004 Principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo.
- [76] UNE-EN ISO 15537:2005 Principios para la selección y empleo de personas en el ensayo de aspectos antropométricos de productos y diseños industriales.
- [77] Mondelo, P.R.; E. Gregori; O. de Pedro; M.A. Gómez (2001): *Ergonomía 4: El trabajo en oficinas*, Ed. UPC, Barcelona.
- [78] Pheasant, S. (1986): *Bodyspace Anthropometry, Ergonomics and Design*. Taylor & Francis, London.
- [79] Pheasant, S. (1990): *Anthropometrics: an introduction*, British Standard Institution (BSI), London.
- [80] Montmans R., Ceriez E. (2005): *Body Dimensions of the Belgian Population*, Ergonomie RC, Lueven (Belgium), www.dinbelg.be
- [81] ISO 9241:171 *Ergonomics of human-system interaction. Guidance on software accessibility*.
- [82] Brezet, H.; Van Hemel, C. (1997): *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption*, UNEP Industry and Environment.
- [83] PRODINTEC (2007): *EcoDiseñas. Proyecto de ecodiseño para Pymes. Guía metodológica*, Fundación PRODINTEC, Gijón.
- [84] ISO 14040:2006 *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*.
- [85] Society of Environmental Toxicity and Chemistry (SETAC): www.setac.org

- [86] Milà, L.; J. Rieradevall; S. Samitier; E. Masferrer (2001): *Política Integrada de Producto*, Editorial Departament de Medi Ambient i Habitatge, Barcelona.
- [87] ISO 14024:1999 *Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures*.
- [88] ISO 14021:1999 *Environmental labels and declarations – Self declared environmental claims (Type II environmental labelling)*.
- [89] ISO 14025:2006 *Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures*.
- [90] Domènech, E. (2009): *La innovación*.
- [91] ISO 5970:1979) *Furniture. Chairs and tables for educational institutions. Functional sizes*.
- [92] UNE-ENV 1729-1:2002 *Sillas y mesas para centros de enseñanza. Parte 1: Dimensiones funcionales*.
- UNE-ENV 1729:2002 *Sillas y mesas para centros de enseñanza. Parte 2: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*.
- [93] UNE-EN 1729-1:2007 *Sillas y mesas para centros de enseñanza. Parte 1: Dimensiones funcionales*.
- UNE-EN 1729-2:2007 *Sillas y mesas para centros de enseñanza. Parte 2: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*.
- [94] Morscher, M. (2007): *Pilot Assessment with the PIMEX System and SonoSens Analysis for SINERCO (Spain)*
- [95] UNE 150301:2003 *Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño*.

ANEXO I. DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LA POBLACIÓN INFANTIL

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.052	1.085	1.166	1.247	1.280	49
	2	ALTURA OJOS-SUELO	992	959	1.048	1.137	1.174	54
	3	ALTURA HOMBRO-SUELO	820	848	916	984	1.012	41
	4	ALTURA CODO-SUELO	615	640	701	762	787	37
	5	ALTURA DEL PUÑO	416	437	486	536	556	30
	6	ALCANCE VERTICAL	1.221	1.269	1.386	1.503	1.551	71
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	577	595	638	681	699	26
	8	ALTURA DE LOS OJOS	465	483	526	569	587	26
	9	ALTURA HOMBRO	329	345	385	425	441	24
	10	ALTURA DEL CODO	118	132	165	198	212	20
	11	ALTURA POPLÍTEA	256	267	293	319	330	16
	12	ESPELOR DEL MUSLO	72	79	95	112	118	10
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	268	280	308	336	348	17
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	321	335	370	405	419	21
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	271	282	308	334	345	16
	17	ALCANCE HORIZONTAL	426	445	491	537	556	28
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	128	138	163	188	198	15
	19	ANCHURA DE CADERAS	178	190	218	246	258	17
	20	ANCHURA DE HOMBROS	243	255	285	315	327	18
	MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	110	115	128	141	146
23		ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	51	54	60	66	69	3,8
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	160	167	183	200	206	10
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	61	64	73	82	85	5,2
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	156	161	175	189	194	8,2
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	125	129	138	147	151	5,6

Tabla I.1. Dimensiones corporales de la población infantil de 6 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.111	1.147	1.234	1.321	1.357	53
	2	ALTURA OJOS-SUELO	988	1.026	1.118	1.210	1.248	56
	3	ALTURA HOMBRO-SUELO	858	892	974	1.057	1.091	50
	4	ALTURA CODO-SUELO	656	682	745	808	834	38
	5	ALTURA DEL PUÑO	446	468	521	574	596	32
	6	ALCANCE VERTICAL	1.310	1.358	1.475	1.592	1.640	71
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	602	621	667	713	732	28
	8	ALTURA DE LOS OJOS	491	510	556	602	621	28
	9	ALTURA HOMBRO	345	362	403	444	461	25
	10	ALTURA DEL CODO	132	144	174	204	216	18
	11	ALTURA POPLÍTEA	273	285	315	345	357	18
	12	ESPESOR DEL MUSLO	78	86	106	126	134	12
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	274	291	332	373	390	25
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	346	362	400	438	454	23
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	285	297	325	353	365	17
	17	ALCANCE HORIZONTAL	451	470	516	562	581	28
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	125	138	169	200	213	19
	19	ANCHURA DE CADERAS	183	197	232	267	281	21
	20	ANCHURA DE HOMBROS	251	265	300	335	349	21
MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	118	123	136	149	154	7,8
	23	ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	53	56	63	70	73	4,4
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	168	176	194	212	220	11
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	65	68	76	84	87	4,6
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	156	163	179	195	202	9,8
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	126	130	138	146	150	5,1

Tabla I.2. Dimensiones corporales de la población infantil de 7 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.166	1.203	1.294	1.385	1.422	55
	2	ALTURA OJOS-SUELO	1.052	1.089	1.178	1.267	1.304	54
	3	ALTURA HOMBRO-SUELO	912	946	1.028	1.111	1.145	50
	4	ALTURA CODO-SUELO	690	718	786	854	882	41
	5	ALTURA DEL PUÑO	474	497	551	605	628	33
	6	ALCANCE VERTICAL	1.391	1.440	1.559	1.678	1.727	72
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	627	645	690	735	753	27
	8	ALTURA DE LOS OJOS	513	533	581	629	649	29
	9	ALTURA HOMBRO	361	379	422	465	483	26
	10	ALTURA DEL CODO	135	148	179	210	223	19
	11	ALTURA POPLÍTEA	289	301	331	361	373	18
	12	ESPESOR DEL MUSLO	81	90	111	132	141	13
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	295	311	351	391	407	24
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	366	382	422	462	478	24
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	299	311	341	371	383	18
	17	ALCANCE HORIZONTAL	463	485	538	591	613	32
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	128	142	177	212	226	21
	19	ANCHURA DE CADERAS	194	208	243	278	292	21
	20	ANCHURA DE HOMBROS	264	278	313	348	362	21
	MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	124	129	142	155	160
23		ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	57	60	66	72	75	3,7
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	176	184	202	220	228	11
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	65	69	78	87	91	5,4
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	163	168	182	196	201	8,3
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	126	130	139	148	152	5,5

Tabla I.3. Dimensiones corporales de la población infantil de 8 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.213	1.252	1.348	1.444	1.483	58
	2	ALTURA DE LOS OJOS	1.001	1.053	1.178	1.303	1.355	76
	3	ALTURA DEL HOMBRO	948	985	1.076	1.167	1.204	55
	4	ALTURA DEL CODO	716	749	828	907	940	48
	5	ALTURA DEL PUÑO	506	529	585	641	664	34
	6	ALCANCE VERTICAL	1.452	1.505	1.634	1.763	1.816	78
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	644	663	709	755	774	28
	8	ALTURA DE LOS OJOS	530	550	598	646	666	29
	9	ALTURA HOMBRO	380	398	441	484	502	26
	10	ALTURA DEL CODO	136	151	187	223	238	22
	11	ALTURA POPLÍTEA	295	309	344	379	393	21
	12	ESPELOR DEL MUSLO	87	96	117	138	147	13
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	316	334	377	420	438	26
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	390	407	448	489	506	25
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	310	324	357	390	404	20
	17	ALCANCE HORIZONTAL	480	504	562	620	644	35
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	136	150	185	220	234	21
	19	ANCHURA DE CADERAS	225	233	253	273	281	12
	20	ANCHURA DE HOMBROS	280	293	324	355	368	19
MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	127	133	147	161	167	8,4
	23	ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	58	60	66	72	74	3,5
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	185	93	213	233	241	12
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	70	73	81	89	92	4,9
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	161	167	182	197	203	8,8
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	125	130	142	154	159	7,4

Tabla I.4. Dimensiones corporales de la población infantil de 9 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.256	1.299	1.403	1.507	1.550	63
	2	ALTURA DE LOS OJOS	1.144	1.185	1.286	1.387	1.428	61
	3	ALTURA DEL HOMBRO	997	1.036	1.130	1.224	1.263	57
	4	ALTURA DEL CODO	745	781	868	995	991	53
	5	ALTURA DEL PUÑO	531	554	610	666	689	34
	6	ALCANCE VERTICAL	1.503	1.563	1.708	1.853	1.913	88
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	657	679	732	785	807	32
	8	ALTURA DE LOS OJOS	541	562	613	664	685	31
	9	ALTURA HOMBRO	392	411	457	503	522	28
	10	ALTURA DEL CODO	143	158	194	230	245	22
	11	ALTURA POPLÍTEA	317	331	366	401	415	21
	12	ESPESOR DEL MUSLO	88	98	121	144	154	14
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	330	348	393	438	456	27
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	404	423	469	515	534	28
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	322	337	373	409	424	22
	17	ALCANCE HORIZONTAL	509	532	588	644	667	34
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	131	148	189	230	247	25
	19	ANCHURA DE CADERAS	202	220	265	310	328	27
	20	ANCHURA DE HOMBROS	272	290	335	380	398	27
	MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	130	136	151	166	172
23		ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	61	64	71	78	81	4,2
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	186	196	219	242	252	14
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	69	73	83	93	97	6,2
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	153	161	179	197	205	11
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	124	129	141	153	158	7,1

Tabla I.5. Dimensiones corporales de la población infantil de 10 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.309	1.354	1.463	1.572	1.617	66
	2	ALTURA DE LOS OJOS	1.196	1.239	1.345	1.451	1.494	64
	3	ALTURA DEL HOMBRO	1.048	1.088	1.285	1.282	1.322	59
	4	ALTURA DEL CODO	786	821	907	993	1.028	52
	5	ALTURA DEL PUÑO	559	584	645	706	713	37
	6	ALCANCE VERTICAL	1.558	1.624	1.784	1.944	2.010	97
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	678	701	757	813	836	34
	8	ALTURA DE LOS OJOS	568	589	640	691	712	31
	9	ALTURA HOMBRO	416	434	479	524	542	27
	10	ALTURA DEL CODO	150	166	204	242	258	23
	11	ALTURA POPLÍTEA	328	344	382	420	436	23
	12	ESPELOR DEL MUSLO	95	104	125	146	155	13
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	347	365	410	455	473	27
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	424	445	494	544	564	30
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	338	354	392	430	446	23
	17	ALCANCE HORIZONTAL	525	550	609	668	693	36
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	140	156	196	236	252	24
	19	ANCHURA DE CADERAS	210	230	278	326	346	29
	20	ANCHURA DE HOMBROS	244	303	349	395	414	28
MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	136	142	158	174	180	9,6
	23	ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	60	63	71	79	82	4,6
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	197	206	227	248	257	13
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	72	76	87	98	102	6,5
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	155	163	181	199	207	11
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	126	131	143	155	160	7,1

Tabla I.6. Dimensiones corporales de la población infantil de 11 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.361	1.409	1.526	1.643	1.691	71
	2	ALTURA DE LOS OJOS	1.244	1.292	1.409	1.526	1.574	71
	3	ALTURA DEL HOMBRO	1.093	1.136	1.240	1.344	1.387	63
	4	ALTURA DEL CODO	834	869	955	1.041	1.076	52
	5	ALTURA DEL PUÑO	576	603	669	735	762	40
	6	ALCANCE VERTICAL	1.640	1.708	1.873	2.038	2.106	100
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	697	723	786	849	875	38
	8	ALTURA DE LOS OJOS	587	612	671	730	755	36
	9	ALTURA HOMBRO	435	454	500	546	565	28
	10	ALTURA DEL CODO	148	166	209	252	270	26
	11	ALTURA POPLÍTEA	347	361	396	431	445	21
	12	ESPESOR DEL MUSLO	97	107	130	153	163	14
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	369	388	434	480	499	28
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	444	465	516	567	588	31
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	354	370	408	446	462	23
	17	ALCANCE HORIZONTAL	545	572	636	700	727	39
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	153	168	204	240	255	22
	19	ANCHURA DE CADERAS	221	242	291	341	361	30
	20	ANCHURA DE HOMBROS	306	322	362	402	418	24
	MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	146	152	168	184	190
23		ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	62	66	74	82	86	5,1
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	209	217	237	257	265	12
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	73	78	89	100	105	6,8
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	164	170	184	198	204	8,4
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	132	136	145	154	158	5,5

Tabla I.7. Dimensiones corporales de la población infantil de 12 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.418	1.468	1.588	1.708	1.758	73
	2	ALTURA DE LOS OJOS	1.226	1.284	1.424	1.564	1.622	85
	3	ALTURA DEL HOMBRO	1.134	1.179	1.290	1.401	1.446	67
	4	ALTURA DEL CODO	870	906	993	1.080	1.116	53
	5	ALTURA DEL PUÑO	598	625	689	753	780	39
	6	ALCANCE VERTICAL	1.705	1.775	1.943	2.111	2.181	102
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	721	749	817	885	913	41
	8	ALTURA DE LOS OJOS	613	640	704	768	795	39
	9	ALTURA HOMBRO	447	469	522	575	597	32
	10	ALTURA DEL CODO	150	169	215	261	280	28
	11	ALTURA POPLÍTEA	346	364	407	450	468	26
	12	ESPELOR DEL MUSLO	103	113	136	159	169	14
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	386	405	451	497	516	28
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	470	491	540	590	610	30
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	369	385	425	465	481	24
	17	ALCANCE HORIZONTAL	567	595	663	731	759	41
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	162	177	213	249	264	22
	19	ANCHURA DE CADERAS	242	262	310	358	378	29
	20	ANCHURA DE HOMBROS	324	341	382	423	440	25
MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	151	158	174	190	197	9,8
	23	ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	67	70	79	88	91	5,2
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	208	218	243	268	278	15
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	78	82	92	102	106	5,8
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	164	171	187	204	210	10
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	133	137	149	161	165	7

Tabla I.8. Dimensiones corporales de la población infantil de 13 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

		Dimensión (mm)	P1	P5	media	P95	P99	Desviación típica
DE PIE	1	ESTATURA	1.466	1.517	1.641	1.765	1.816	75
	2	ALTURA DE LOS OJOS	1.346	1.397	1.521	1.645	1.696	75
	3	ALTURA DEL HOMBRO	1.178	1.226	1.341	1.457	1.504	70
	4	ALTURA DEL CODO	891	928	1.019	1.110	1.147	55
	5	ALTURA DEL PUÑO	625	652	716	780	807	39
	6	ALCANCE VERTICAL	1.767	1.835	1.998	2.161	2.229	99
SENTADO	7	ESTATURA SENTADO	753	781	849	917	945	41
	8	ALTURA DE LOS OJOS	641	668	734	800	827	40
	9	ALTURA HOMBRO	463	486	540	594	617	33
	10	ALTURA DEL CODO	152	173	222	272	292	30
	11	ALTURA POPLÍTEA	350	370	418	466	486	29
	12	ESPESOR DEL MUSLO	110	120	143	166	176	14
	13	LONGITUD NALGA POPLÍTEA	403	421	466	511	529	27
	14	LONGITUD NALGA-RODILLA	490	510	558	616	626	29
	16	LONGITUD CODO-PUÑO	380	398	441	484	502	26
	17	ALCANCE HORIZONTAL	591	617	680	743	769	38
	18	PROFUNDIDAD ABDOMINAL	168	183	219	255	270	22
	19	ANCHURA DE CADERAS	259	278	324	370	389	28
	20	ANCHURA DE HOMBROS	337	355	398	441	459	26
	MANOS	22	LONGITUD DE LA MANO	152	160	178	196	204
23		ANCHURA DE LA PALMA DE LA MANO	66	71	82	93	98	6,9
PIES	27	LONGITUD DEL PIE	213	224	250	276	287	16
	28	ANCHURA MÁXIMA DEL PIE	79	83	94	105	109	6,5
CABEZA	29	PERÍMETRO DE LA CABEZA	164	170	186	202	208	9,6
	30	ANCHURA DE LA CABEZA	131	136	148	160	165	7,1

Tabla I.9. Dimensiones corporales de la población infantil de 14 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica^[80]

ANEXO II. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN BIOMECÁNICA

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN BIOMECÁNICA	
1ª ETAPA	Explicar a los niños y profesores en que va a consistir esta evaluación
2ª ETAPA	Seleccionar al primer niño/a al que se le va a colocar los sensores y dictarle un texto con el mobiliario actual, durante unos 6 minutos (que esté de pie unos 5 minutos)
3ª ETAPA	Ese mismo niño, con los sensores puestos y con el mobiliario Tris-Tras, que atienda a las explicaciones del profesor/a durante unos 6 minutos (que vuelva a ponerse de pie unos 5 minutos)
4ª ETAPA	Con los sensores puestos y con el mobiliario actual, que copie del encerado durante unos 6 minutos (que vuelva a ponerse de pie unos 5 minutos)
DESCANSO	
5ª ETAPA	Al mismo niño, dictarle un texto con el mobiliario Tris-Tras, durante unos 6 minutos (que esté de pie unos 5 minutos)
6ª ETAPA	Ese mismo niño, con los sensores puestos y con el mobiliario actual, que atienda a las explicaciones del profesor/a durante unos 6 minutos (que vuelva a ponerse de pie unos 5 minutos)
7ª ETAPA	Con los sensores puestos y con el mobiliario tris-tras, que copie del encerado durante unos 6 minutos (que vuelva a ponerse de pie unos 5 minutos)

Tabla II.1. Metodología de la evaluación biomecánica

ANEXO III. CUESTIONARIO VALORATIVO DE LOS ALUMNOS

CUESTIONARIO VALORATIVO DE LOS ALUMNOS

Las siguientes preguntas y respuestas anónimas nos servirán para conocer cuál es vuestra opinión sobre el mobiliario que estáis utilizando, lo que nos ayudará a establecer las mejoras oportunas.

Muchas gracias por tu colaboración.

1.- ¿Crees que la forma de sentarte y trabajar en tu pupitre es importante para tu salud?

SI

NO

2.- ¿Te sientes cómodo con el asiento y la mesa que en tu clase utilizabas hasta ahora?

SI

NO

REGULAR

3.- ¿Cuales son los defectos y problemas que se te ocurren del mobiliario (SILLA Y MESA) anterior?

4.- ¿Qué opinas del mobiliario nuevo?

ES MEJOR

ES IGUAL

ES PEOR

5.- Cita tres cosas buenas del nuevo mobiliario:

6.- ¿Puedes nombrar tres defectos o tres cosas que cambiarías?

7.- El nuevo mobiliario comparado con los que utilizas fuera del colegio (en tu casa, en otras aulas, bibliotecas, etc.) piensas que es....

ES MEJOR

ES IGUAL

ES PEOR

8.- ¿Te cansa estar tanto tiempo sentado?

SI

NO

9.- ¿Piensas que el nuevo mobiliario favorece estar más cómodo y atender y estudiar mejor?

SI

NO

A VECES

10.- ¿Usas el nuevo mobiliario habitualmente?

SI

NO

11.- ¿Cómo dirías que en tu aula son?

La iluminación:

BUENA

MALA

REGULAR

El orden, el espacio:

BUENA

MALA

REGULAR

La sonoridad, el ruido:

BUENA

MALA

REGULAR

¡Muchas gracias!

ANEXO IV. PARÁMETROS A MODIFICAR POR EL CAMBIO DE NORMA

Respecto a la nueva norma *UNE-EN 1729 Mobiliario. Sillas y mesas para centro de enseñanza* esta norma distingue, en función de las dimensiones funcionales, una serie de distintivos de tamaño y códigos de color, que se muestran en la siguiente tabla:

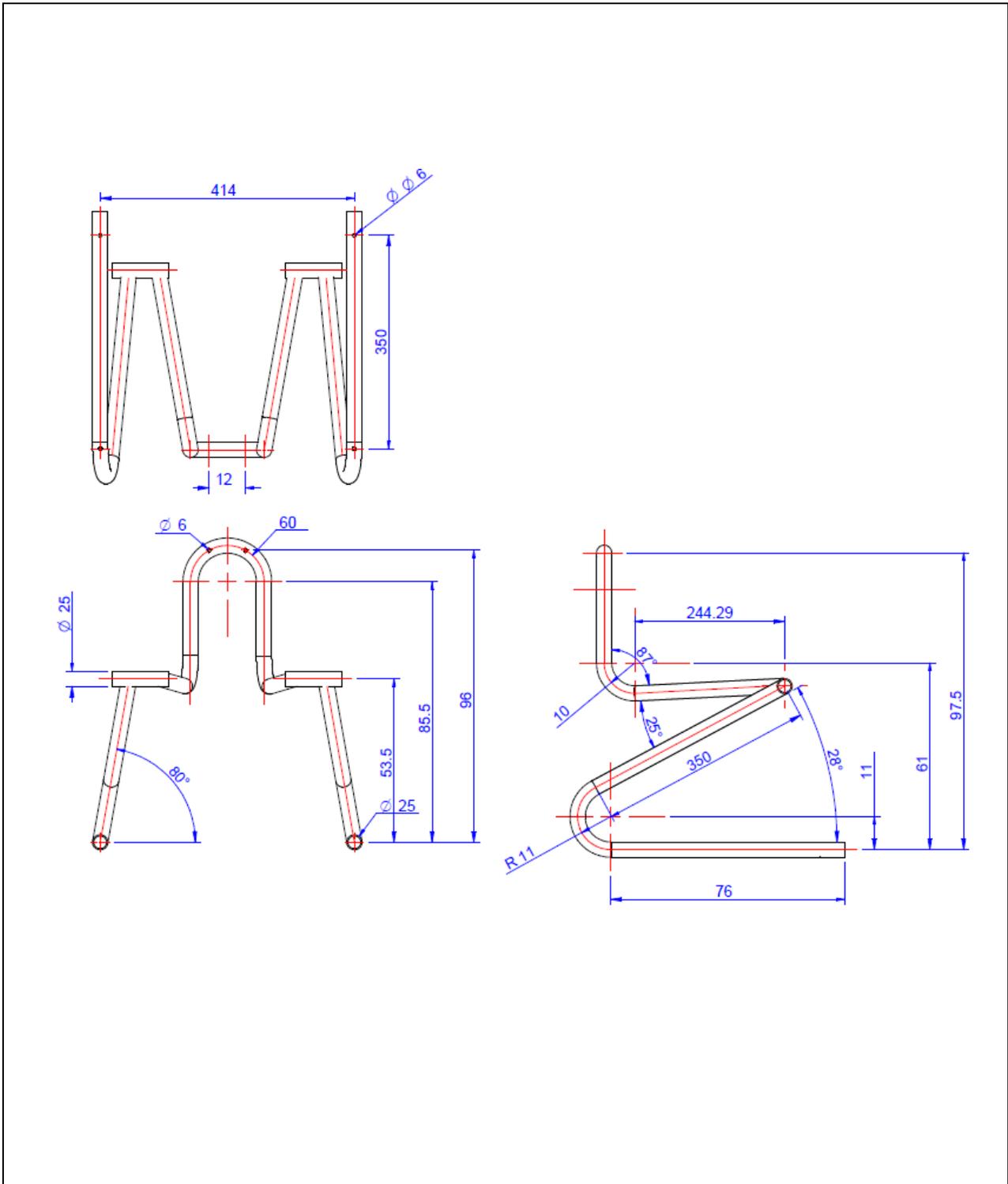
Distintivo de tamaño	0	1	2	3	4	5	6	7
Código de color	Blanco	Naranja	Violeta	Amarillo	Rojo	Verde	Azul	Marrón

Tabla IV.1. Distintivos de tamaño y códigos de color^[93]

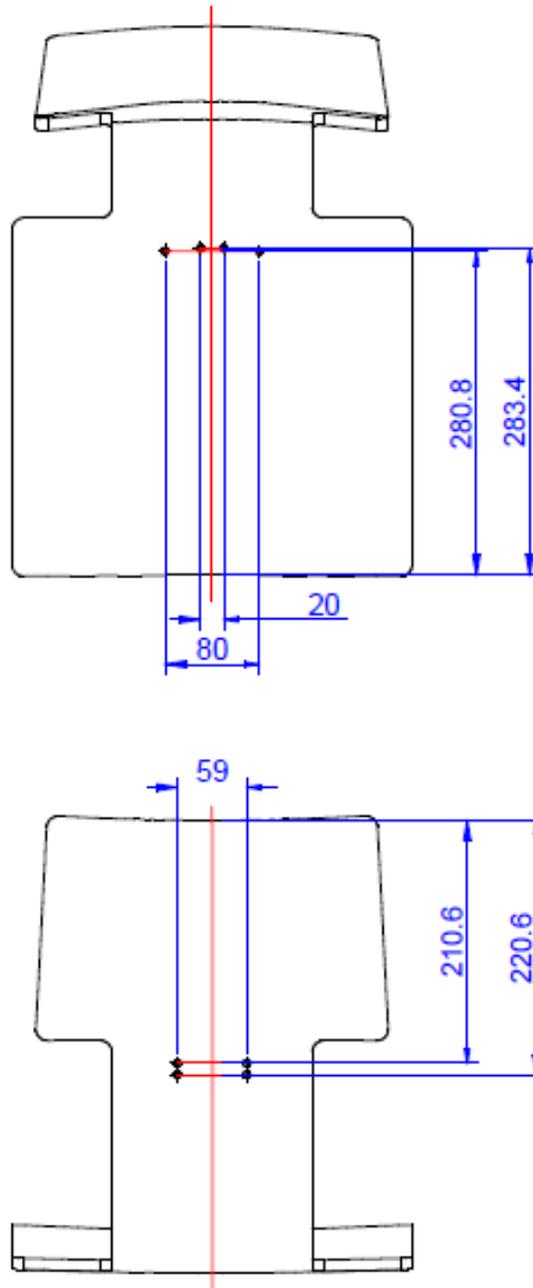
El mobiliario *Tris-Tras* evaluado abarcaría en principio, por sus dimensiones funcionales, los grupos 4, 5 y 6 (**rojo**, **verde** y **azul**). Los aspectos a modificar para cumplir la norma en la totalidad de los parámetros tanto de la silla como de la mesa serían:

- La *silla* responde a las de inclinación negativa -3° .
 - *Profundidad útil del asiento*: Para satisfacer el requisitos del grupo 4, habría que quitar exactamente 36,98 mm a la profundidad del asiento. Para satisfacer el requisito del grupo 6 habría que aumentar 3 mm de profundidad.
 - *Anchura mínima del asiento*: Para cumplir los requisitos del grupo 5, habría que añadir al menos 20 mm de ancho. Para el modelo 6, añadir al menos 40 mm.
 - *Altura del punto S* (punto más sobresaliente del respaldo en el punto medio): Para llegar a cumplir los requisitos del modelo 4, habría que bajarlo 13 mm.
 - *Anchura mínima del respaldo*: Para llegar a cumplir los requisitos del modelo 6, habría que aumentarlo 30 mm.
- La *mesa* responde a las de inclinación $+12^\circ$.
 - *Altura de la tapa*: Para cumplir lo exigido por el modelo 5, elevar 21 mm los agujeros; para el caso del modelo 6, elevarlo 35 mm.

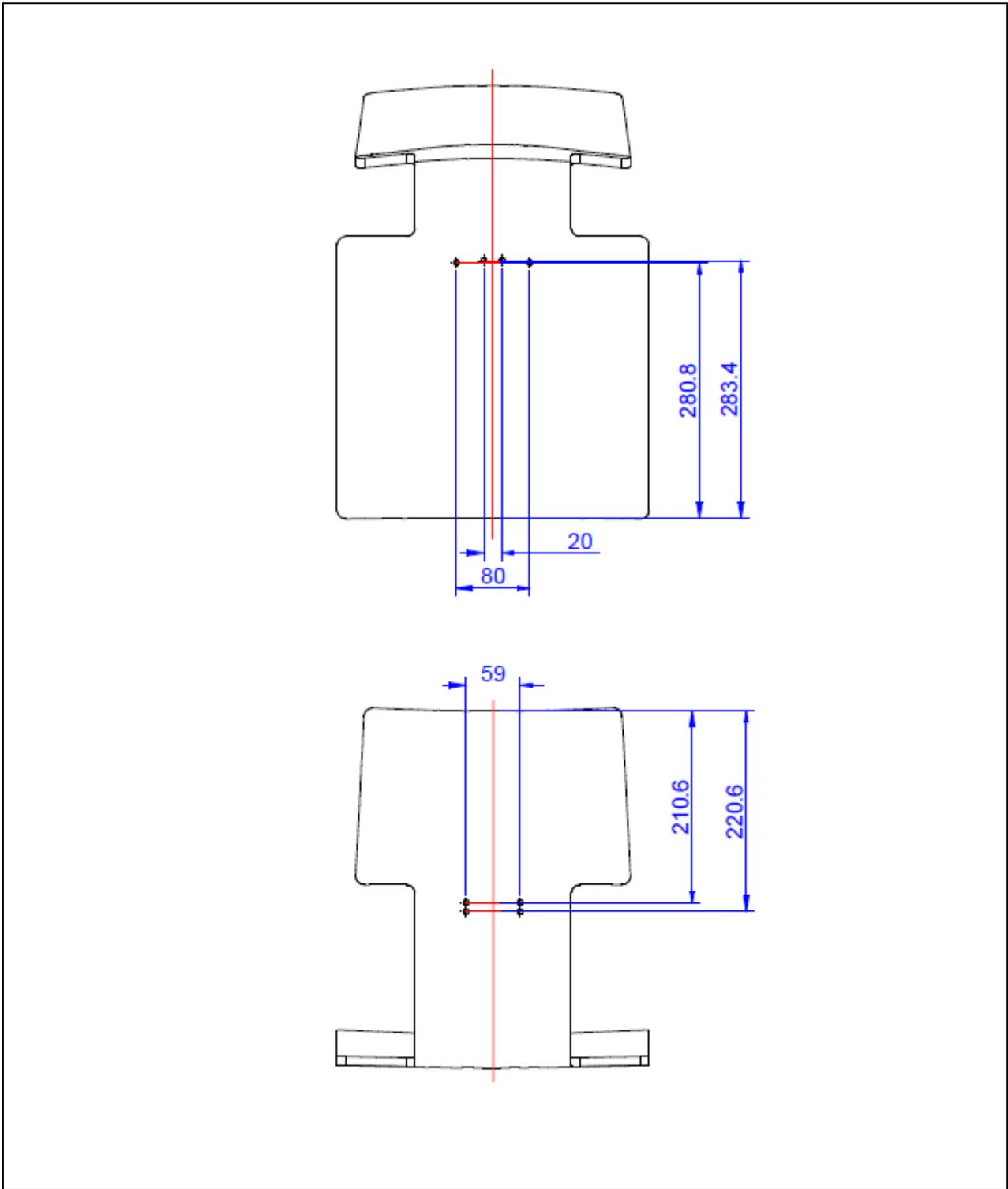
ANEXO V. IMÁGENES DESCRIPTIVAS DEL TRIS-TRAS



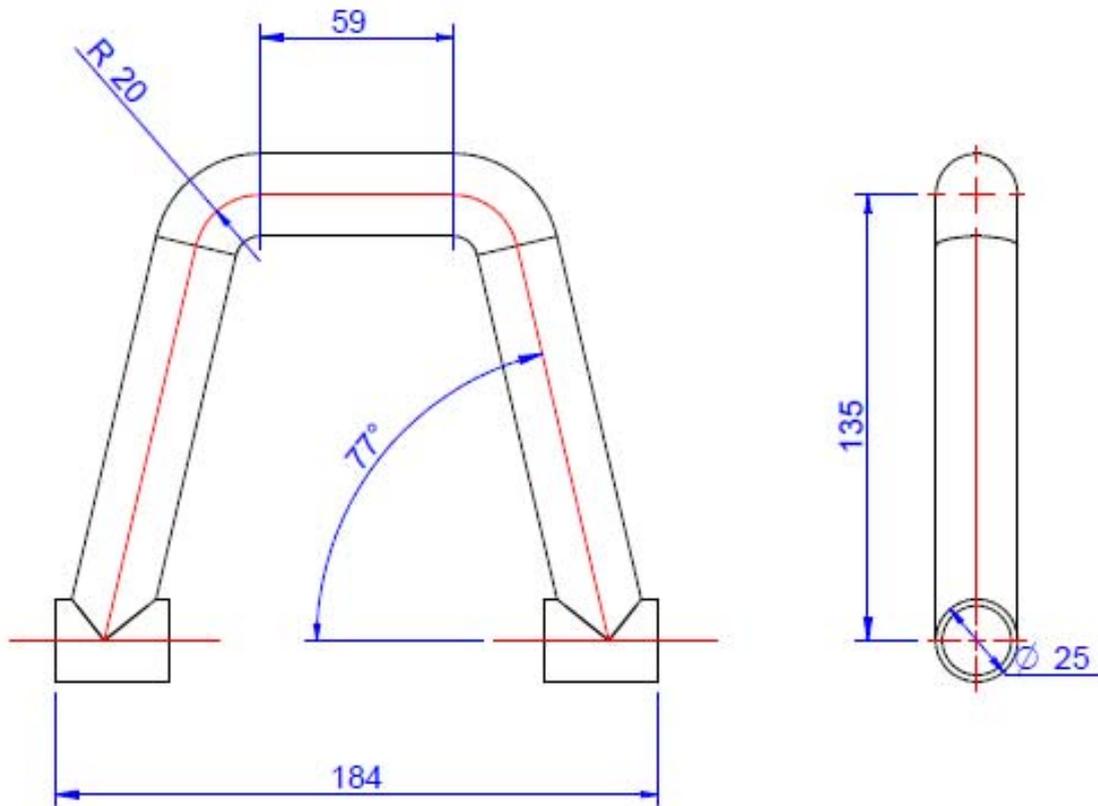
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Estructura silla	Acero	01	El espesor del tubo es 2 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



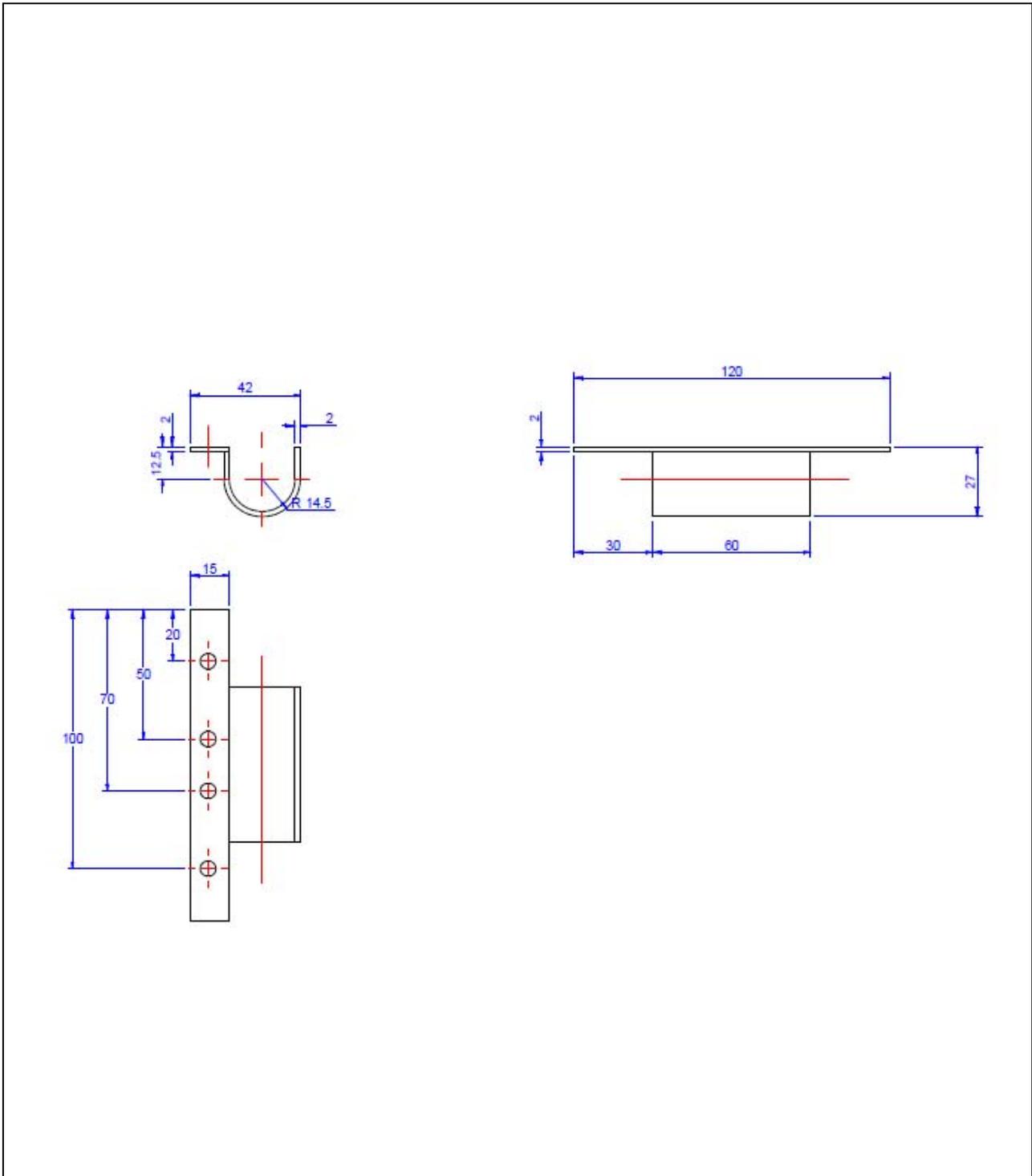
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Mecanizados en silla (Grupo 4)	Polipropileno rotomoldeado	01	Mecanizados: Ø 6 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



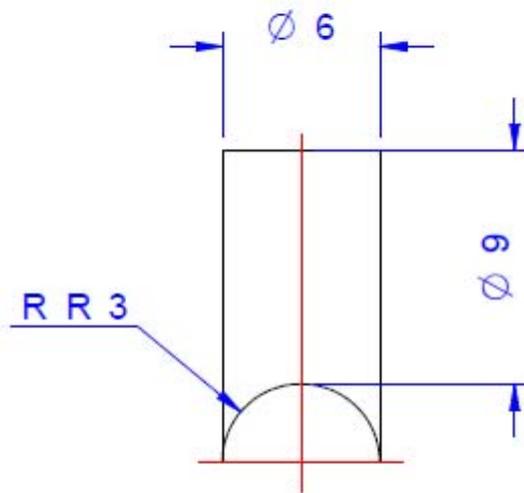
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Mecanizados en silla (Grupo 5 y 6)	Polipropileno rotomoldeado	01	Mecanizados: Ø 6 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



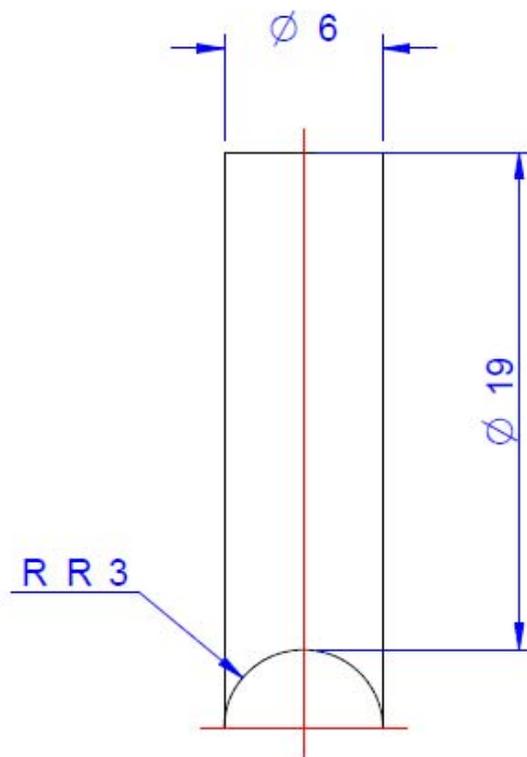
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Parte móvil silla	Acero	01	El espesor del tubo es de 2 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



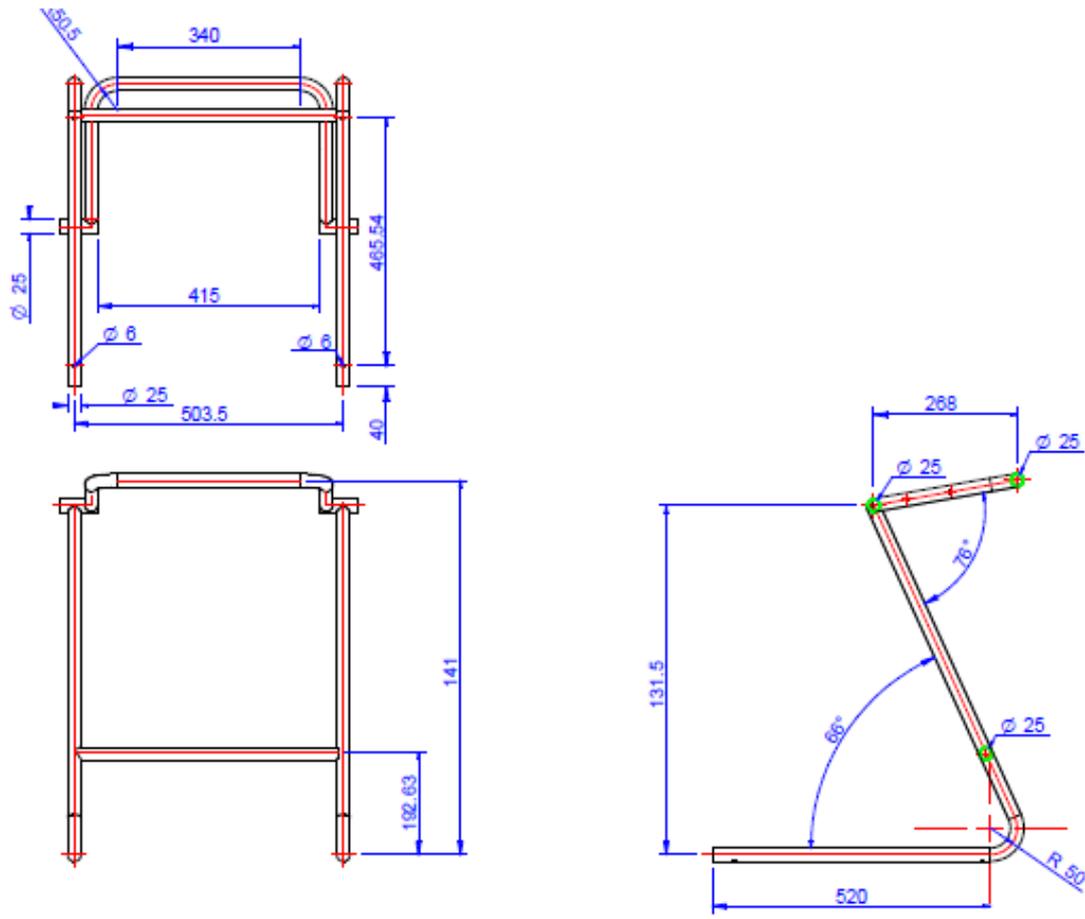
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Agarre	Acero	01	Todos los taladrados son pasantes Salvo mención expresa, medidas en mm



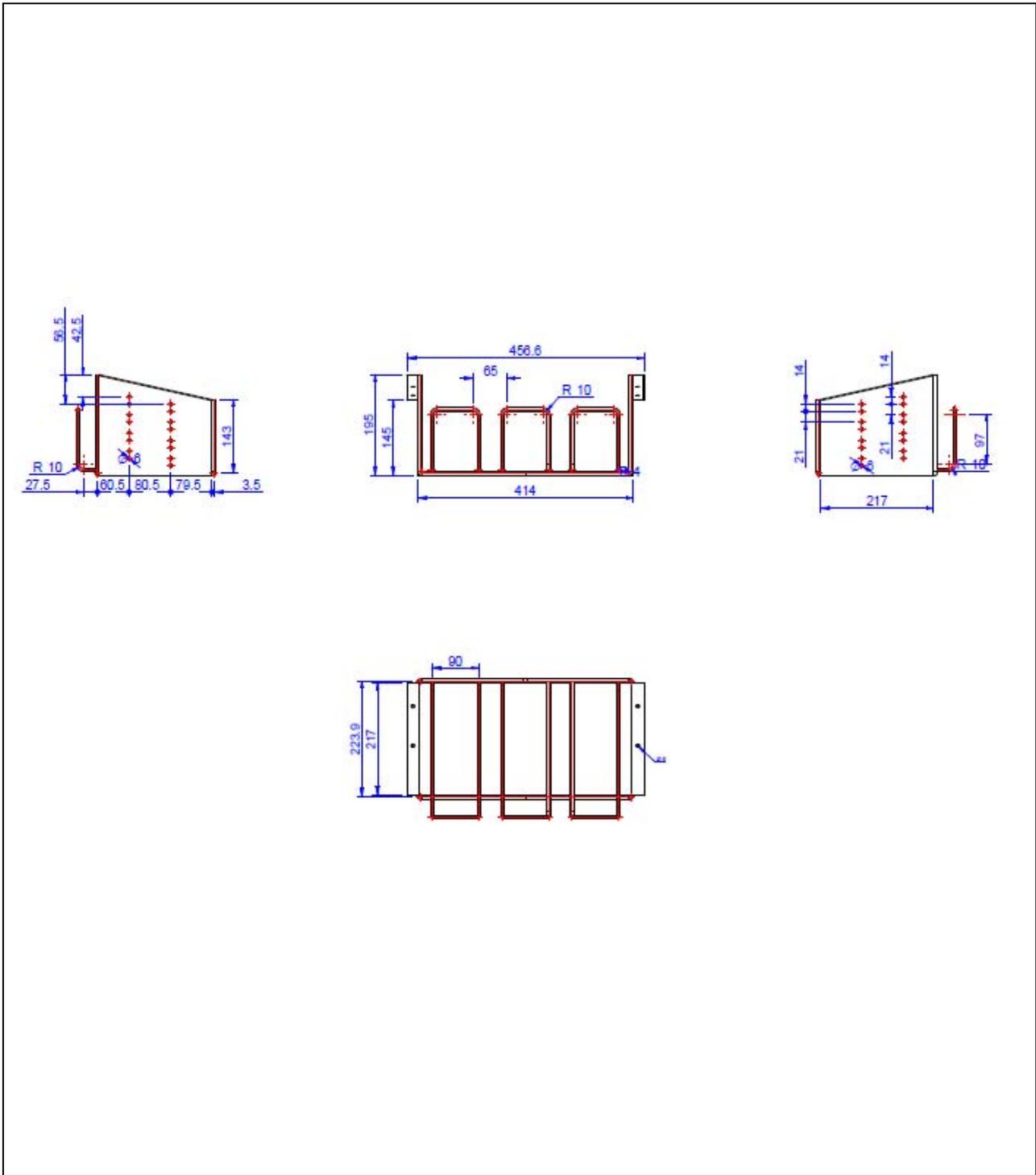
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Caucho (Silla 4)	Caucho	04	Salvo mención expresa, medidas en mm



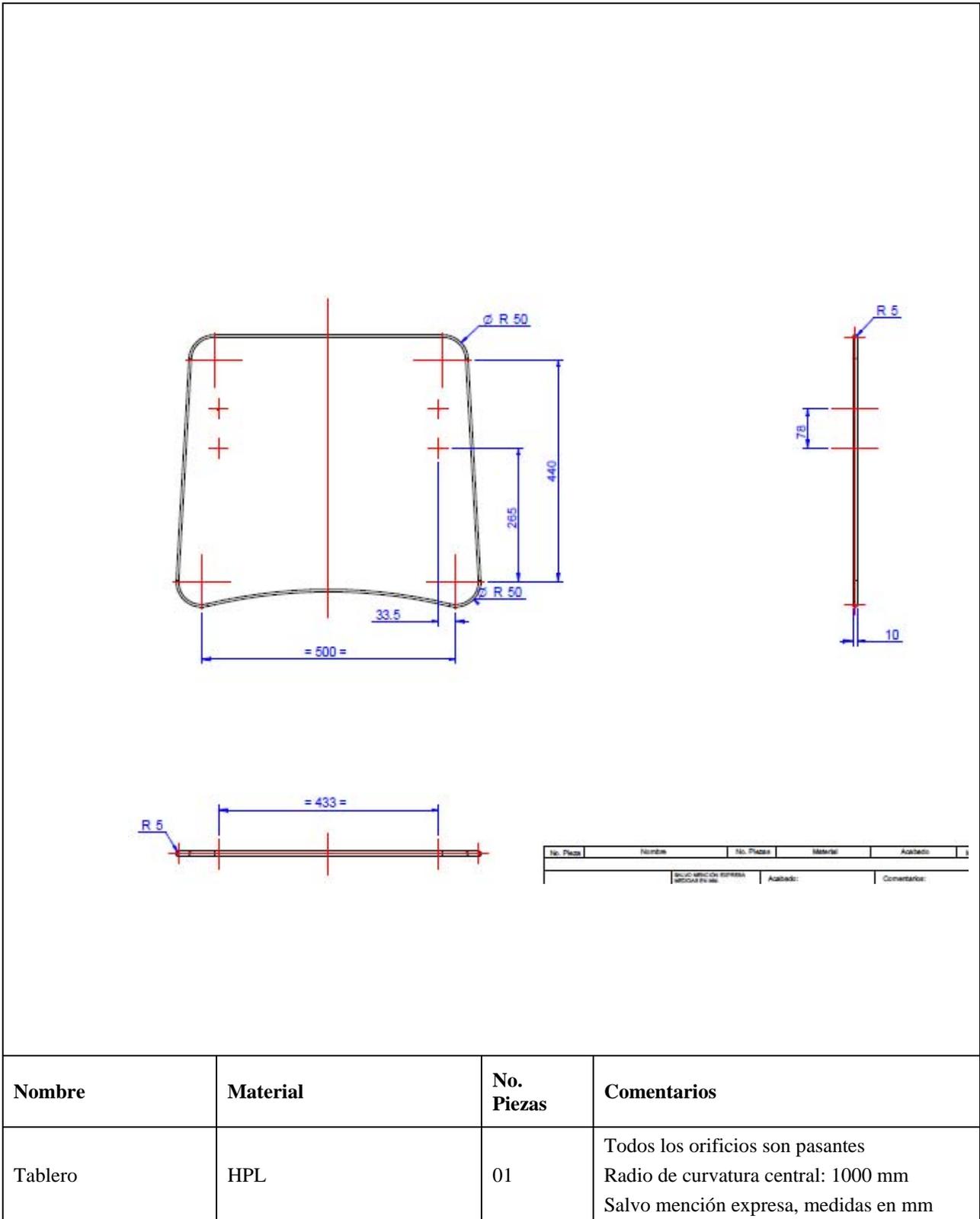
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Caucho (Silla 5 y 6)	Caucho	04	Salvo mención expresa, medidas en mm



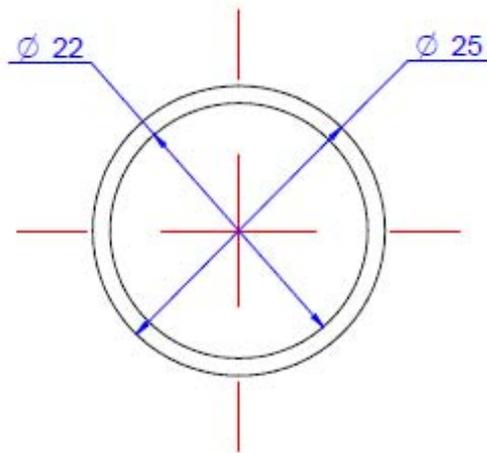
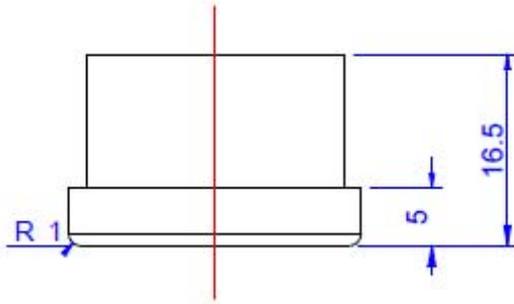
Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Estructura mesa	Acero	01	El espesor de los tubos es de 2 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Cajón	Acero	01	El diámetro de las barras es de 4 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Tablero	HPL	01	Todos los orificios son pasantes Radio de curvatura central: 1000 mm Salvo mención expresa, medidas en mm



Nombre	Material	No. Piezas	Comentarios
Tapón	Caucho	08	Salvo mención expresa, medidas en mm

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Campos de aplicación de la Ergonomía ^[6]	5
Tabla 1.2. Etapas del diseño ergonómico ^[7]	7
Tabla 1.3. Impactos ambientales del mobiliario en el ciclo de vida ^[9]	12
Tabla 1.4. Factores de riesgo de dolor de espalda entre escolares ^[13]	14
Tabla 1.5. Relación entre los parámetros de diseño y las consecuencias que originan ^[5]	15
Tabla 2.1. Descripción de las medidas antropométricas ^[80]	63
Tabla 2.2. Lista de comprobación de Hans Brezet y Caroline Van Hemel ^[82]	68
Tabla 2.3. Ejemplos de compromisos entre diferentes principios de ecodiseño	72
Tabla 2.4. Estructura de la Matriz MET ^[83]	75
Tabla 2.5. Aplicación de las principales herramientas de análisis ambiental de productos ^[86]	80
Tabla 3.1. Valoración de conceptos	91
Tabla 3.2. Ecoetiquetas más importantes	98
Tabla 3.3. Certificación ergonómica	99
Tabla 4.1. Ideas de mejora de tipo medioambiental	108
Tabla 4.2. Valoración de los dos desarrollos de concepto	114
Tabla 4.3. Materiales del mobiliario	117
Tabla 4.4. Recomendaciones ergonómicas para la mesa	134
Tabla 4.5. Recomendaciones ergonómicas para la silla	134
Tabla 4.6. Justificación económica	139
Tabla 4.7. Medidas de mejora a medio y largo plazo	141
Tabla I.1. Dimensiones corporales de la población infantil de 6 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	155

Tabla I.2. Dimensiones corporales de la población infantil de 7 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	156
Tabla I.3. Dimensiones corporales de la población infantil de 8 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	157
Tabla I.4. Dimensiones corporales de la población infantil de 9 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	158
Tabla I.5. Dimensiones corporales de la población infantil de 10 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	159
Tabla I.6. Dimensiones corporales de la población infantil de 11 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	160
Tabla I.7. Dimensiones corporales de la población infantil de 12 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	161
Tabla I.8. Dimensiones corporales de la población infantil de 13 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	162
Tabla I.9. Dimensiones corporales de la población infantil de 14 años: percentiles 1, 5, 95 y 99, media y desviación típica ^[80]	163
Tabla II.1. Metodología de la evaluación biomecánica	167
Tabla IV.1. Distintivos de tamaño y códigos de color ^[93]	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Factores a considerar en el diseño de un producto ^[8]	8
Figura 1.2. Ciclo de vida de un producto ^[9]	9
Figura 1.3. Relación del ecodiseño con las etapas del diseño tradicional ^[8]	10
Figura 1.4. Impacto típico en el ciclo de vida del mobiliario ^[11]	11
Figura 1.5. Pupitre «Museo Pedagógico Nacional» ^[26]	17
Figura 1.6. Pupitre de los años veinte ^[26]	18
Figura 1.7. Pupitre de los años cuarenta ^[26]	18
Figura 1.8. Proyecto suizo de pupitre escolar, de 1890 ^[28]	19
Figura 1.9. Pupitre adaptable de 1910 ^[27]	19
Figura 1.10. Mobiliario diseñado por Jean Prouvé en el año 1937 ^[30]	20
Figura 1.11. Mobiliario diseñado por Jean Prouvé en los años cuarenta ^[30]	20
Figura 1.12. Mobiliario diseñado por Jean Prouvé en los años cincuenta ^[30]	20
Figura 1.13. Mobiliario diseñado por Arne Jacobsen en los años cincuenta ^[31]	21
Figura 1.14. Silla escolar con ruedas diseñada por Arne Jacobsen ^[31]	21
Figura 1.15. Posturas sedentes estudiadas por Mandal ^[34]	23
Figura 1.16. Pupitre estilo «Mandal» ^[27]	24
Figura 1.17. Mesa escolar de finales de los años setenta y principios de los ochenta.....	25
Figura 1.18. Silla escolar de los años ochenta.....	25
Figura 1.19. Puesto escolar de los años ochenta.....	25
Figura 1.20. Puesto escolar actual.....	25
Figura 1.21. Puesto escolar diseñado por Antonio Bustamante en el año 2001 ^[27]	26

Lista de Figuras

Figura 1.22. Diseño de pupitre de Philippe Starck en el año 2003 ^[37]	26
Figura 1.23. Diseño de silla escolar de Ronnie Lacham en el año 2002 ^[38]	27
Figura 1.24. Asier mobiliario.....	28
Figura 1.25. Asier mobiliario.....	28
Figura 1.26. Muebles Grau	28
Figura 1.27. Muebles Grau	28
Figura 1.28. LODECAM	28
Figura 1.29. Asier mobiliario.....	28
Figura 1.30. Muebles Grau	28
Figura 1.31. Asier mobiliario.....	28
Figura 1.32. Ass.....	29
Figura 1.33. ISKU	29
Figura 1.34. Nautilus	29
Figura 1.35. Talleres Hereu	29
Figura 1.36. KI Europe	29
Figura 1.37. Federico Giner.....	29
Figura 1.38. LODECAM	29
Figura 1.39. ALFAX.....	29
Figura 1.40. Federico Giner.....	30
Figura 1.41. Ass.....	30
Figura 1.42. Muebles Grau	30
Figura 1.43. Ass.....	30
Figura 1.44. Federico Giner.....	30

Figura 1.45. Hephaitos	30
Figura 1.46. Nautilus.....	30
Figura 1.47. Talleres Hereu.....	31
Figura 1.48. Nautilus.....	31
Figura 1.49. Adrada	31
Figura 1.50. Asier mobiliario.....	31
Figura 1.51. Asier mobiliario.....	31
Figura 1.52. KI Europe	32
Figura 1.53. ISMAD	32
Figura 1.54. Virco	32
Figura 1.55. Virco	32
Figura 1.56. TAGAR	32
Figura 1.57. Talleres Hereu.....	32
Figura 1.58. Asier Mobiliario.....	32
Figura 1.59. LODECAM	32
Figura 1.60. Asier mobiliario.....	33
Figura 1.61. Muebles Grau	33
Figura 1.62. Talleres Hereu.....	33
Figura 1.63. KI Europe	33
Figura 1.64. KI Europe	33
Figura 1.65. KI Europe	33
Figura 1.66. KI Europe	34
Figura 1.67. Virco	34

Lista de Figuras

Figura 1.68. Virco.....	34
Figura 1.69. ISKU	34
Figura 1.70. Hephaïtos.....	34
Figura 1.71. Hephaïtos.....	34
Figura 1.72. Perch.....	34
Figura 1.73. Ass.....	35
Figura 1.74. Ass.....	35
Figura 1.75. Avet educativos	35
Figura 1.76. Talleres Hereu	35
Figura 1.77. Talleres Hereu	35
Figura 1.78. ALFAX.....	35
Figura 1.79. ALFAX.....	35
Figura 1.80. TAGAR.....	35
Figura 1.81. Pelota de gimnasia.....	36
Figura 2.1. Fases de la Metodología del Diseño	46
Figura 2.2. Ejemplo de software de simulación en coche-conductor-cambio de marcha (<i>Ergonomics DELMIA</i>).....	61
Figura 2.3. Principales medidas antropométricas ^[80]	62
Figura 2.4. Rueda Estratégica de Ecodiseño ^[82]	70
Figura 2.5. Relación entre las estrategias de ecodiseño y el ciclo de vida del producto ^[82]	71
Figura 2.6. Esquema para el desarrollo de ecoindicadores ^[8]	75
Figura 2.7. Relación entre la complejidad de uso de la herramienta y estado de implantación del ecodiseño ^[86]	78
Figura 3.1. Llave del diseño	85
Figura 3.2. Herramientas de la fase de definición estratégica.....	89

Figura 3.3. Herramientas de la fase de definición del concepto.....	92
Figura 3.4. Herramientas de la fase de diseño de detalle	93
Figura 3.5. Herramientas de la fase de ensayo y verificación	95
Figura 3.6. Herramientas de la fase de producción	96
Figura 3.7. Certificado TCO	99
Figura 3.8. Herramientas de la fase de lanzamiento y comercialización.....	100
Figura 3.9. Herramientas de la fase de fin de ciclo de vida.....	101
Figura 4.1. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.2. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.3. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.4. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.5. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.6. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.7. Primeros bocetos.....	109
Figura 4.8. <i>Alternativa 1</i> . Pupitre trineo.....	110
Figura 4.9. <i>Alternativa 1</i> . Silla y mesa separadas	110
Figura 4.10. <i>Alternativa 2</i> . Pupitre trineo.....	111
Figura 4.11. <i>Alternativa 2</i> . Silla y mesa separadas	111
Figura 4.12. <i>Alternativa 3</i> . Silla y mesa separadas	111
Figura 4.13. <i>Alternativa 3</i> . Pupitre combo	111
Figura 4.14. <i>Alternativa 4</i> . Silla y mesa separadas	111
Figura 4.15. <i>Alternativa 4</i> . Pupitre combo	111
Figura 4.16. <i>Desarrollo 1</i> . Pupitre trineo	112

Figura 4.17. <i>Desarrollo 1</i> . Silla y mesa por separado.....	112
Figura 4.18. <i>Desarrollo 1</i> . La mesa y colocación de la silla encima de la mesa	112
Figura 4.19. <i>Desarrollo 2</i> . Pupitre trineo unido.....	113
Figura 4.20. <i>Desarrollo 2</i> . Silla y mesa por separado.....	113
Figura 4.21. Colocación de la silla encima de la mesa y sillas apiladas	113
Figura 4.22. Parámetros de diseño a considerar de la norma UNE-ENV 1729 (pendiente negativa).....	115
Figura 4.23. Tablas antropométricas.....	116
Figura 4.24. Geometría dearrollada	119
Figura 4.25. Geometría desarrollada.....	119
Figura 4.26. Geometría desarrollada.....	119
Figura 4.27. Geometría desarrollada.....	119
Figura 4.28. Geometría desarrollada.....	119
Figura 4.29. Geometría desarrollada.....	119
Figura 4.30. Pupitre en posición más alta	120
Figura 4.31. Pupitre en posición más baja	120
Figura 4.32. Vista frontal del pupitre.....	120
Figura 4.33. Posiciones de la mesa	120
Figura 4.34. Posiciones de la silla.....	121
Figura 4.35. Materiales del pupitre	121
Figura 4.36. Mobiliario por edades.....	122
Figura 4.37. Colegios participantes (<i>Inmaculada a la izquierda y Antonio Machado a la derecha</i>).....	122
Figura 4.38. Algunas de las fotografías utilizadas	124
Figura 4.39. Sesión fotográfica.....	124

Figura 4.40. Ejemplo de «Una silla es una silla»	125
Figura 4.41. Algunas de las fotografías tomadas por los niños	126
Figura 4.42. Prototipo del primer nuevo mobiliario.....	127
Figura 4.43. Sistema PIMEX en combinación con el sonoSens	128
Figura 4.44. Colocación de los sensores y evaluación en tarea de <i>atender/escribir</i>	129
Figura 4.45. Ejemplo de valores obtenidos para distintas zonas de la columna.....	130
Figura 4.46. Cuestionario de satisfacción para los alumnos (extracto)	131
Figura 4.47. Rediseño del nuevo mobiliario	135
Figura 4.48. Hoja de detalles de los componentes del mobiliario final.....	137