



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

“Método para el desarrollo de productos mediante la
caracterización de las decisiones en la conceptualización
del diseño”

TRABAJO TERMINAL DE TESIS

Para obtener el título de:

DOCTOR EN DISEÑO

PRESENTA

M. Ing. David Barra González

Director de tesis:

Dr. David Joaquín Delgado Hernández

Tutores adjuntos:

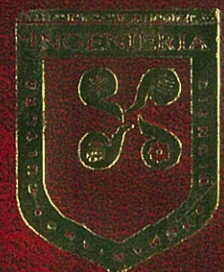
Dra. Sandra Alicia García Cubos

Dr. René Fausto Sánchez Vértiz Ruiz

Dr. Ignacio Montiel García

Dr. Felipe César Landrón López

Toluca de Lerdo, Estado de México, 14 de febrero 2020





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO



**“Método para el desarrollo de
productos mediante la
caracterización de las decisiones en
la conceptualización del diseño”**

**TRABAJO TERMINAL DE TESIS
Para obtener el título de:**

DOCTOR EN DISEÑO

PRESENTA

M. Ing. David Ibarra González

Director de tesis:

Dr. David Joaquín Delgado Hernández

Tutores adjuntos

Dra. Sandra Alicia Utrilla Cobos

Dr. Rene Lauro Sanchez Vértiz Ruiz

Dr. Ignacio Mendiola Germán

Dr. Felipe Cesar Londoño López

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), al posgrado de la Facultad de Arquitectura y Diseño, a la Facultad de Ingeniería, al doctorado en diseño de la Universidad de Caldas, Colombia y al CONACYT por apoyarme en todos los aspectos y permitirme realizar los estudios de doctorado en diseño.

A mis padres Israel y Bertha quienes por su paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir hoy una meta más.

A mi hermano Israel por su apoyo incondicional, durante este proceso, muchas gracias.

A David Delgado, Sandra Utrilla, Rene Sánchez, Ignacio Mendiola, Felipe Londoño y a todo el claustro docente por apoyarme en todo momento, y por abrirme las puertas al mundo de la investigación.

A mis compañeros del posgrado, quienes siempre estuvieron cerca y apoyaron de alguna u otra forma con sus conocimientos y experiencias.

A todos mis amigos por su apoyo en todo momento y en cualquier circunstancia, entre ellos a la correctora de estilo que contribuyó en gran medida para la culminación exitosa de la investigación y al Grupo Sarevich por su respaldo y amistad.

De manera especial a mi tutor de tesis, por haberme guiado durante la realización de este trabajo de titulación, por el apoyo profesional y por su valiosa amistad.

¡Que nadie se quede afuera, se los dedico a todos!

Índice

1. Introducción.....	3
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos.....	7
1.5 Hipótesis.....	8
1.6 Procedimiento metodológico.....	9
1.6.1 Fundamentos Teóricos.....	9
1.6.2 Trabajo Experimental	10
1.6.3 Descripción del experimento	13
1.6.4 Análisis de Resultados.....	13
1.6.5 Propuesta de método para la selección de procesos en la generación de productos centrados en el usuario.....	15
1.6.6 Contribución	15
1.7 Estructura del trabajo de investigación	16
Capítulo 2 Investigación en Diseño	19
2.1 Introducción	19
2.2 ¿Qué es el diseño? Concepto.....	20
2.3 Metodologías de diseño	22
2.3.1 Métodos de diseño	23
2.3.2 Modelos de diseño.....	24
2.4 Modelos descriptivos del diseño.....	25
2.5 Diseño Conceptual.....	26
2.6 Técnicas de modelación de diseño conceptual.....	28
2.7 Investigaciones en diseño	30
2.8 Conclusiones.....	34
Capítulo 3: Diseño de productos centrado en el usuario.....	35
3.1 Introducción	35
3.2 Entendiendo la voz del cliente.....	36
3.3 ¿Por qué utilizar una metodología para el diseño de productos?	38
3.4 Usabilidad	41
3.5 Diseño Centrado en el Usuario. Marco Conceptual.....	43
3.6 Conclusión	48
Capítulo 4: Diseño y realización del experimento.....	49
4.1 Objetivo de la fase experimental	50
4.2 Determinación de condiciones experimentales.....	52
4.2.1 Estudio exploratorio	52
4.2.2 Los participantes	53

4.2.3 Retos de diseño	53
4.2.4 Actividades para su realización.	54
4.2.5 Resultados	55
4.2.6 Conclusiones del estudio exploratorio.....	55
4.3 El método experimental: Análisis de protocolo	56
4.3.1 Antecedentes	56
4.3.2 Cómo funciona el método	57
4.3.3 Limitaciones	58
4.3.4 Descripción del experimento	58
4.4 Preparación del experimento	60
4.4.1 Fase de teoría.....	60
4.4.2 Retos de diseño	61
4.4.3 Logística del experimento	62
4.5 Información obtenida durante el experimento.....	65
4.5 Conclusiones	69
Capítulo 5: Análisis de la fase experimental	70
Introducción	70
5.1 Representar el proceso de diseño.....	70
5.1.1 Necesidad-función-principio-sistema.....	71
5.1.2 Evolución funcional.....	72
5.1.3 Decisiones en el diseño.....	73
5.2 Manejo de los datos experimentales	74
5.2.1 Uniformar las fuentes de información por medio de herramientas informáticas.	74
5.2.2 Interpretación del análisis de protocolo.....	74
5.3 Información obtenida de la interpretación.....	76
5.4 Interrelaciones en el proceso de diseño	77
5.8 Construcción de la red bayesiana del proceso de conceptualización de diseño	77
5.8.1 Construcción Cualitativa	77
5.8.2 Construcción Cuantitativa	80
5.9 Validación de la red bayesiana.....	83
5.9.1 Inferencia bayesiana.....	84
5.9.2 Ecuaciones estructurales	85
5.9.3 Resultados de la red bayesiana	86
5.10 Discusión	103
5.11 Conclusiones.....	105
Capítulo 6: Conclusiones y trabajo futuro	106
6.1 Introducción	106
6.2 Conclusiones de la indagación teórica y el recurso experimental	106
6.2.1 Indagación teórica	106

6.2.2 Recurso experimental.....	107
6.3 Análisis de hipótesis	109
6.4 Conclusión	111
6.5 Trabajo Futuro.....	112
Referencias	114
ANEXO 1	119
Antecedentes de las redes bayesianas	119
Bases teóricas de las redes Bayesianas.....	121
Componente Cuantitativo.....	122
Componente Cualitativo	124
Las características de las redes bayesianas.....	127
Figura 1 Diseño conceptual Horvath (2000).....	27
Figura 2 Diseño centrado en el usuario.	45
Figura 3 Espacio para el experimento.....	66
Figura 4 Material físico de apoyo.....	67
Figura 5 Proceso de diseño teórico.....	79
Figura 6 Red con las variables finales, elaboración propia (Software UNINET)	80
Figura 7 Red bayesiana con probabilidades.	81
Figura 8 Cálculo de probabilidades de la Red Bayesiana.....	82
Figura 9 Valor de todas las probabilidades e interacción entre ellas	85
Figura 10 Matriz de probabilidades	87
Figura 11 Probabilidades $RPP \rightleftharpoons CP$	88
Figura 12 Ecuación estructural de $RPP \rightleftharpoons CP$	89
Figura 13 Probabilidades $UIE \rightleftharpoons RPP$	90
Figura 14 Ecuación estructural de $RPP \rightleftharpoons CP$	91
Figura 15 Probabilidades $RPA \rightleftharpoons CC$	92
Figura 16 Ecuación estructural de $RPA \rightleftharpoons CC$	93
Figura 17 Probabilidades $EEP \rightleftharpoons PS$	94
Figura 18 Ecuación estructural de $EEP \rightleftharpoons PS$	95
Figura 19 Probabilidades $PCP \rightleftharpoons RPA$	96
Figura 20 Ecuación estructural de $PCP \rightleftharpoons RPA$	97
Figura 21 Probabilidades $RPA \rightleftharpoons DGI$	98
Figura 22 Ecuación estructural de $RPA \rightleftharpoons DGI$	99
Figura 23 Probabilidades $EEP \rightleftharpoons RPA$	100
Figura 24 Ecuación estructural de $EEP \rightleftharpoons RPA$	101
Figura 25 Probabilidades $PS \rightleftharpoons CP$	102
Figura 26 Ecuación estructural de $PS \rightleftharpoons CP$	103

Tabla 1 Estructura de la Tesis	17
Tabla 2 Clasificación de modelación conceptual Horvath (2000).....	29
Tabla 3 Descripción del Experimento	59
Tabla 4 Información obtenida del experimento.	76

1. Introducción

En nuestro mundo se encuentran diferentes artefactos, edificaciones y otros objetos, los cuales satisfacen nuestras necesidades. Estos elementos, no son de la naturaleza, fueron diseñados por alguien; sin embargo, aunque existe gran actividad en diseño los procesos que siguen los diseñadores han sido poco estudiados. Por ello se tomará como base para este trabajo en el campo de la investigación en diseño los fundamentos de las premisas siguientes:

- Las metodologías de diseño incluyen el estudio de la manera de trabajar y pensar del diseñador, el establecimiento de las estructuras adecuadas para presentar el proceso de diseño así como el desarrollo y aplicación de nuevos métodos y técnicas, aunada a la reflexión sobre la naturaleza y alcance del conocimiento con objeto de aplicarla a problemas de diseño (Nigel Cross, 1996).
- La ciencia del diseño debe de explicar las relaciones causales en su conjunto, planteando un sistema de conocimiento con terminología propia, clases, relaciones, leyes, teorías e hipótesis, con el fin de que esto sirva de guía para la actividad de diseño (Hubka, 1993).
- El diseño de un producto es mucho más que un dibujo.
Primeramente, es un proceso de pensamiento dirigido a un objetivo específico mediante el cual se analiza un problema, se definen y ajustan objetivos, se

formulan propuestas de solución y por último se realiza una evaluación de la calidad de estos planteamientos (Roozenburg y Eekels, 1995).

Estos planteamientos no implican que el proceso de diseño deba ser seguido linealmente o de forma rigurosa. Al contrario, los procesos empleados deben ser flexibles con el fin de ser adaptados al cualquier tipo de objeto de diseño, diseñador y contexto de diseño.

En la actualidad el desarrollo de productos que realizan las empresas y corporaciones es de suma importancia para su éxito futuro y es frecuente que afirmen que sus productos son el resultado del diseño centrado en el usuario, diseño sustentable, de la interacción objeto-usuario o del “dolor del cliente” usándolo como parte de su mercadotecnia. No obstante, el desarrollo de productos centrado en el usuario profundiza en el modo en que el producto se adapta a las necesidades del usuario y la forma en que es usado por el mismo.

El desarrollo de productos centrado en el usuario consiste en captar las necesidades del usuario para su inclusión en el proceso. El desarrollo se da con base en observación de usuarios o futuros usuarios, lo que da como resultado la identificación de nuevas oportunidades para innovación, rediseño y descubrimiento de nuevos mercados. La principal ventaja de diseñar considerando las necesidades del usuario es la eliminación de futuros y costosos errores, como la adquisición de recursos innecesarios en fases posteriores del desarrollo.

Este proceso tiene como característica importante interpretar las necesidades en atributos del producto. La mayoría de los investigadores reconocen la importancia de esta fase en el desarrollo de productos, ya que es un factor clave para poder proporcionar desempeño excelente en un mercado de consumo más exigente y sofisticado; por otro lado, también existe un consenso general acerca de la falta de métodos sólidos y confiables, tanto para interpretar las necesidades del usuario como para traducirlas en un producto terminado con mayor rapidez.

El propósito de esta investigación es generar una solución a dicha necesidad mediante estrategias que faciliten la interpretación y localización de atributos del producto en la fase del diseño conceptual, integrando requerimientos funcionales y requerimientos del usuario.

El éxito que se tiene al crear un producto que responda a las necesidades del mercado, depende en gran medida de la identificación y selección del método más apropiado para su desarrollo. Por ello, el interés en mejorar las distintas metodologías se debe centrar en entenderlas en su totalidad, con el fin de generar nuevas ideas de diseño que permitan fomentar soluciones creativas y reconocer de manera más eficiente la viabilidad de su desarrollo.

1.2 Planteamiento del problema

Con los retos planteados con anterioridad, se ponen en manifiesto algunos problemas del diseño de productos cuando se recurre a métodos tradicionales de diseño, como

son el uso de prototipos, el análisis comparativo de productos similares y otros que involucran altos costos y retrasos en la generación de resultados.

La mayoría de las metodologías centradas en el usuario intentan dar apoyo en la identificación y cuantificación de variables y especificaciones en la etapa de conceptualización; sin embargo, se encuentran limitadas por la certeza de la información recabada y la rapidez en la toma de decisiones durante las etapas para la generación de conceptos.

La investigación está orientada a presentar una estrategia que ayude a la toma de decisiones en el proceso de diseño conceptual, dirigida a resolver los retos de diseño con mayor fluidez, favoreciendo la creatividad en la generación de opciones de solución mediante el análisis del desarrollo de productos centrados en el usuario.

1.3 Justificación

La motivación de esta investigación es lograr una mejor comprensión del desempeño de los procesos para el desarrollo de productos, particularmente en la etapa de conceptualización y, con base en dicho conocimiento, determinar el uso potencial de una estrategia que asista al diseñador industrial en las fases iniciales, teniendo como punto de partida un análisis de la metodología para el desarrollo de productos que toman en cuenta las necesidades de los usuarios.

El objetivo central tiene que ver con la investigación en diseño, sin dejar de lado que los resultados deberán estar orientados a la práctica. Se hace esta precisión por dos razones:

Primeramente, por el reconocimiento a nivel empresarial -entre las pequeñas y medianas empresas- de la importancia del diseño como diferenciador y generador de innovación tecnológica.

Segundo, ya que no obstante los avances académicos logrados en la comprensión de la creatividad para la generación de diseño, la industria continúa utilizando metodologías intuitivas de prueba-error o adoptando soluciones evidentes y con un nivel de creatividad bajo al abordar el desarrollo de productos. Esto es debido, entre otros factores, a la tendencia de la academia a introducir modelos abstractos y técnicas altamente especializadas que buscan la automatización, mientras la industria precisa modelos de bajo nivel de abstracción y con uso intensivo del conocimiento, realidad comentada por (Horvath, 2000).

Por lo anterior, no se pretende con esta investigación caer en el campo de la especulación sobre qué procesos son malos o buenos para la generación de productos, sino tomar como punto de partida el hecho de que las metodologías de diseño de productos centrados el usuario son un proceso de desarrollo cíclico, y que no existe impedimento para que se explore la utilidad que pueden llegar a tener tales estrategias al aplicarlas en la práctica, de manera que los resultados que se obtengan contribuirán a la fluidez en la generación de soluciones.

En la literatura sobre los procesos de diseño centrado al usuario se presenta un consenso de estructura, compuesta de tres fases principales: identificación del problema, generación de conceptos de solución y evaluación y selección de alternativa de solución. La segunda etapa es en la que se explora buscando respuestas al reto planteado y donde el diseñador tiene la máxima generación de ideas.

Por tal motivo, se puede definir que la presente investigación gira en torno al estudio y mejora de la fase de generación de conceptos y alternativas de solución, de distintas metodologías en el diseño de productos centrados en el usuario, que sirva como referencia para futuros desarrollos.

1.4 Objetivos

El objetivo de este estudio es comprender las dinámicas de los procesos de toma de decisiones, durante la fase de conceptualización de nuevos productos, con el fin de identificar posibles estrategias, metodologías o métodos que faciliten al diseñador tales procesos.

Objetivos Específicos

- Obtener las características clave de las metodologías de diseño centradas en el usuario, las cuales influyen de manera positiva o negativa en los diseñadores durante la fase de generación de soluciones.
- Implementar un método de toma de decisiones, resultado de la evaluación entre las variables representativas durante el proceso de diseño de productos,

que identifique sus debilidades y potencialidades para la generación de ideas de diseño.

- Definir estrategias que, al ser implementadas en el desarrollo de productos, promuevan la creatividad en la generación de soluciones, mayor fluidez en la creación de las mismas y reconocimiento más eficiente de la viabilidad o inviabilidad de dichas soluciones.

1.5 Hipótesis

Es posible desarrollar elementos que asistan al diseñador en la etapa de generación de conceptos, que mejore el desarrollo de nuevos productos.

POTENCIAL: La generación de ideas en la etapa de conceptualización del proceso de diseño de productos puede ser asistida por un método que ayude a obtener soluciones creativas, apropiadas y fluidas, de manera que se generen opciones de solución más viables y de mejor calidad.

CONFIGURACIÓN: El método orientado a apoyar la etapa de generación de ideas conceptuales debe incluir al menos tres componentes: organización y generación de ideas, clasificación de conocimientos y un modelo para medir la viabilidad del desarrollo del producto.

PROCESO: Con las evaluaciones aplicadas a la resolución de los retos de diseño, la experiencia, conocimientos y métodos de trabajo de diseñadores, así como resultados de investigaciones sobre diseño conceptual, es posible identificar elementos destacados y características propias de los componentes mencionados en la hipótesis anterior, para utilizarse en el diseño de productos centrados en el usuario.

EFFECTIVIDAD: La efectividad de las metodologías de diseño puede ser evaluada mediante una fase experimental, que buscará identificar y cuantificar de forma objetiva los procesos resultantes de las evaluaciones aplicadas. A partir de esta identificación y de los valores obtenidos se definirá un modelo para apoyar al diseñador en el desarrollo conceptual de nuevos productos. La propuesta de la metodología para este fin estará sustentada en resultados, por lo que será más coherente.

1.6 Procedimiento metodológico

La investigación se plantea en cuatro etapas. Se buscará que las propuestas estén sustentadas con fundamentos teóricos y resultados validados estadísticamente. Las etapas son las siguientes:

1.6.1 Fundamentos Teóricos

En esta primera etapa se realiza una revisión de los elementos teóricos necesarios para la investigación. Se hace un estudio del estado del arte en diseño de productos centrados

en el usuario y en diseño conceptual. Desde este punto se revisan varios métodos o metodologías para analizar los procesos y hacer una selección de los más adecuados para la investigación.

1.6.2 Trabajo Experimental

Esta es la fase central de la investigación, cuyo objetivo es obtener resultados estadísticamente representativos. La investigación se realiza bajo condiciones controladas, empleando como base uno de los métodos más representativos en investigación del diseño llamado análisis de protocolo (Ericsson, KA, y Simon, HA, 1993). El método consiste en la observación, captura y análisis de las actividades cognitivas del diseñador durante el proceso de diseño, las cuales son expresadas verbalmente, esto se denomina pensar en voz alta (Kees Dorst, Nigel Cross, 2001).

En esta investigación se incluyen variantes que permitirán obtener datos de la toma de decisiones en la realización del diseño. Tales variantes se integrarán para adecuar el método a las características de esta investigación.

El experimento se diseña de tal manera que sea un caso de estudio adecuado para que los resultados sean procesados estadísticamente; por ende, se plantea la necesidad de definir un proceso de evaluación objetivo que lleve a conclusiones válidas.

Afrontar la investigación desde la perspectiva experimental nos adentra al sistema de interacciones donde se encuentran involucrados el diseñador, el ambiente en donde desarrolla su trabajo, el reto a resolver, los medios para resolverlo, el tiempo y calidad. La actividad de diseñar engloba varias y complejas habilidades cognitivas, de tal modo que “el análisis de la actividad de diseño ofrece un reto intelectual importante” (Cross y Dorst, 1996).

Para afrontar este reto existen tres métodos que son utilizados con frecuencia en temas relacionados con investigación en diseño, los cuales son: pruebas controladas, casos de estudio y análisis de protocolo (Vargas y Shah, 2003).

El análisis de protocolo es el método seleccionado para afrontar esta investigación ya que ha sido probado en varias investigaciones relacionadas con la ingeniería de diseño y el diseño industrial. Apareció en un principio para apoyar a las investigaciones psicológicas en los años veinte, aunque tuvo muchas limitaciones por falta de tecnología para la captura y procesamiento de datos. En el área de diseño, el análisis de protocolo aparece en los años ochenta y desde entonces se ha extendido su uso gracias al avance tecnológico, que ha hecho que se facilite su implementación, y luego del trabajo realizado por Delf

1994 "Research in Design Thinking", en donde lo trató a detalle. El análisis de protocolo se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas en la investigación de diseño, y a la publicación de los resultados (Cross y Dorst, 1996) se le ha dado una sustentación teórica significativa.

El análisis de protocolo es un método que permite capturar y observar en condiciones controladas las interacciones del diseñador durante el proceso de diseño, lo cual tiene como resultado determinar los comportamientos y las variables, que permitan analizar resultados objetivamente.

La base del método es la verbalización de las actividades cognitivas que los diseñadores realizan en su trabajo; esto significa que, a medida que el diseñador va realizando su proceso, expresa sus pensamientos en voz alta. Toda forma de comunicación es registrada para su posterior análisis. De este modo, se obtendrá un modelo representativo de las acciones cognitivas de sujeto de estudio (en este caso el diseñador) que permitirá realizar conclusiones sobre las variables de estudio.

El análisis de protocolo puede ser de dos tipos: retrospectivo, que se basa en la descripción verbal de lo que el sujeto ha desarrollado previamente; y concurrente, en que la verbalización se hace en forma simultánea con la actividad.

Asimismo, el método puede tener dos enfoques: orientado al proceso y orientado al contenido (Dorst y Dijkhuis, 1995). El primer enfoque describe el proceso de diseño en términos de una sistematización para la solución de retos de diseño. El enfoque orientado al contenido busca encontrar lo que el diseñador ve y lo que intenta hacer.

1.6.3 Descripción del experimento

En la investigación se empleará el análisis de protocolo concurrente con enfoque orientado al contenido, aunque igualmente será de gran importancia el proceso que siga el diseñador.

El experimento consistirá en proporcionar un reto de diseño a resolver durante una sesión, dentro de un ambiente controlado.

Para lograr un correcto desarrollo del experimento debemos tomar en cuenta las siguientes particularidades:

Primero, el objetivo es identificar qué es lo que estimula al diseñador a proponer una idea o ideas de solución y capturar con todo detalle el proceso cognitivo que lo conduce a ellas.

Segundo, se debe tener cuidado en la fluidez de las expresiones en voz alta por parte de los diseñadores durante todo el proceso. Por ello, es necesario utilizar varias fuentes de captura para los eventos que se presenten, estas pueden ser: videocámaras en sitio y varias grabadoras de sonido, que serán instaladas en sitios estratégicos del lugar de la prueba.

1.6.4 Análisis de Resultados

Se puede decir que el método de análisis de protocolo se ha convertido en el instrumento de investigación más representativo en la investigación de diseño; aunque lo cierto es que no se ha formalizado para su representación y análisis, ya que los diferentes enfoques de estudio realizados con el método conllevan estructuras de manejo diferentes.

La información obtenida para esta investigación a través el trabajo experimental será procesada mediante el modelo de análisis factorial de datos, con el fin de obtener valores de variables representativas asociadas a las ideas de diseño conceptual. A partir de estas, se evaluarán los resultados para proponer un análisis proceso de diseño de productos.

El objetivo del análisis factorial de datos es proveer un sustento cuantitativo que permita obtener una medida objetiva del proceso cognitivo del diseñador en el desarrollo del diseño.

El análisis factorial es una técnica de análisis estadístico, que trata de identificar la estructura de un conjunto de variables observadas. El uso apropiado del análisis factorial implica el estudio de las interrelaciones entre variables, con el fin de hallar un nuevo conjunto de variables, menor en número que el de las originales, que exprese lo que hay en común entre ellas. Cuando el número de variables originales es muy grande, el análisis factorial puede reducir este conjunto a otro menor de factores, reteniendo la mayor parte de la varianza de las variables originales (Santesmases, 2001).

Cuando se recoge un gran número de variables en forma simultánea y se está interesado en agruparlas en alguna forma característica, al aplicar análisis factorial a las respuestas de los sujetos de estudio, es posible encontrar variables con significado común, reduciendo el número de indicadores necesarios para explicar las respuestas de los sujetos.

La diferencia con otras técnicas como el análisis de varianza o la regresión es que en el análisis factorial todas las variables cumplen el mismo papel. Todas son independientes y no existe una dependencia conceptual de unas variables sobre otras.

1.6.5 Propuesta de método para la selección de procesos en la generación de productos centrados en el usuario

Con base en las etapas anteriores, este trabajo de investigación sustentará la propuesta de una estrategia, desarrollada mediante un mecanismo de detección e interpretación de las prácticas más exitosas del diseño centrado en el usuario, en la fase de diseño conceptual.

De tal forma, no únicamente se identificarán y categorizarán los métodos, sino que incluirá un procedimiento centrado en evaluar los procesos para la generación de conceptos de diseño, que asistirá al diseñador en la generación de ideas para resolver retos de una manera más fluida y que le permitirá implementar nuevas tecnologías en el desarrollo de productos.

1.6.6 Contribución

Aunque existen avances en el conocimiento sobre las actividades cognitivas del diseñador, persisten campos aún por cubrir; uno de ellos es el estudio de las técnicas para la selección de procesos de diseño en la fase conceptual del mismo.

Apoyándose en la psicología cognitiva y en una base matemática sólida para la interpretación cuantitativa de las actividades realizadas durante el diseño, esta investigación pretende llegar a la definición de un método que permita evaluar

objetivamente estrategias empleadas para la selección de procesos en la generación de productos, considerando sistemas centrado en el usuario. El resultado, que definirá una forma de determinar los parámetros relevantes para medir la efectividad en la generación de ideas de solución, será validado experimentalmente comparando metodologías de diseño de nuevos productos.

La contribución de la investigación se resume en dos elementos: Primero, la evaluación de las metodologías de diseño centrado en el usuario, que tiene relevancia para medir su efectividad. Segundo, la identificación de procesos para generar soluciones de diseño, que está orientada a asistir al diseñador en la fase de generación de conceptos, y de la cual se generará una estrategia complementaria a las metodologías utilizadas para la creación de productos.

1.7 Estructura del trabajo de investigación

La estructura propuesta para la tesis de esta investigación se ilustra en la siguiente tabla, donde aparece cada una de las etapas, asociadas al capítulo correspondiente.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	CAPÍTULOS DE TESIS
Planteamiento de investigación	Capítulo 1: Introducción
Teoría y Antecedentes	Capítulo 2: Investigación en diseño Capítulo 3: Método de diseño de productos centrado en el usuario
Fase Experimental	Capítulo 4: Diseño y realización del experimento

Analisis y resultados del experimento Propuesta de estrategia de diseño	Capítulo 5 : Analisis de la fase experimental y resultados
Conclusiones y trabajo futuro	Capítulo 6 : Conclusiones

Tabla 1 Estructura de la Tesis

En el Capítulo 2 se presentarán los aspectos de la investigación sobre diseño centrado en el usuario, desde la definición del término, los métodos y metodologías más relevantes que se han propuesto para describir el proceso, primeramente en forma general y, posteriormente, enfatizando en la fase de diseño conceptual. Se hará una descripción de las herramientas más utilizadas actualmente y se finalizará con la exposición de las principales líneas y proyectos de investigación que hay alrededor del mundo.

Dentro del Capítulo 3 se expondrá el estado del arte relativo a los métodos para el diseño centrado en el usuario incorporando al proceso de desarrollo de productos, esta será la metodología que se utilizara para conseguir los requerimientos de diseño.

En el Capítulo 4, modelado de resultados de los experimentos, se presentará una descripción de los preparativos para la prueba desde el método experimental, planteando el diseño y su ejecución.

El Capítulo 5 comprenderá el modelo de evaluación acorde con las condiciones y los objetivos definidos para la investigación. Aquí se definirán las variables y los resultados que se pueden obtener.

Tambien aqui se presentaran los resultados basados en el análisis de los experimentos realizados. La finalidad de esta seccion consistirá en proporcionar una visión completa de los resultados en los que se sustentarán las conclusiones finales.

Por último, el Capítulo 6 condensará las conclusiones alcanzadas y proporcionará las referencias al posible trabajo futuro.

Capítulo 2 Investigación en Diseño

2.1 Introducción

Este capítulo se presenta la temática de la investigación en diseño, se mostrara su concepto y se revisara el estado del arte. El diseño se entiende como una tarea que consiste en concebir y describir un sistema que tiene características particulares por otra parte el diseño como proceso se basa en transformar necesidades y requisitos a la descripción de un sistema en particular que las satisfaga. Se puede decir, que el diseñador es una vía de transformación el cual recoge información primeramente del usuario, y se retroalimenta de su propio conocimiento y entendimiento adquirido durante el proceso, con el fin de crear un sistema.

La amalgama que es la investigación en diseño por la participación del conocimiento del diseñador con los elementos subjetivos que conlleva y aunado a los elementos técnicos que debe de tener todo diseño da como resultado que la investigación en diseño tenga una complejidad elevada. En la actualidad algunos autores se refieren al diseño como una ciencia (Hubka y Eder, 1992) y se reconoce que hay un gran número de interacciones como lo son: toma de decisiones, creatividad, evolución, negociación, conocimiento, optimización, satisfacción de necesidades, aprendizaje, etc.

El estudio de los procesos de diseño ha dado varias propuestas para representarlo (modelos descriptivos) y realizarlo (modelos prescriptivos) dichos estudios también ha dejado técnicas y herramientas que sirven para entenderlo. Se puede decir que el proceso de diseño se puede realizar en dos operaciones intelectuales que son el análisis y la síntesis. Las técnicas y herramientas que sirven de apoyo se han centrado en el análisis,

dejando a la síntesis en el descuido, todo esto bajo la suposición de que la experiencia y el conocimiento del diseñador son suficientes para el éxito. Sin embargo se deben de tomar las exigencias del mundo actual, ya que los productos son cada vez más competitivos, más creativos e innovadores, por lo que se ha descubierto que la etapa de síntesis, aquella donde los elementos que aporta el diseñador sea mejor asistida. Esto ha dado como resultado a nuevas tendencias de investigación en diseño.

En el siguiente capítulo se pretende exponer los resultados que se han estado proponiendo en los últimos años. Por ende se ha dividido en cuatro partes. Primero se comienza con la definición del concepto de diseño, esto tiene el propósito de dar claridad al campo de la investigación. Segundo se hace una recopilación de los métodos y modelos del diseño se propone integrarlas acciones que se realizan durante el proceso de diseño, se ven los modelos descriptivos y prescriptivos.

La tercera parte se estudian las técnicas y herramientas modernas que ayudan al proceso de desarrollo de nuevos productos, algunos ejemplos son la función de la calidad, diseño por factores, etc.

En la última parte se mostraran grupos de investigación que han tenido relevancia a nivel mundial, mostrando sus líneas de investigación y algunos de sus proyectos actuales. Ejemplo de los centros y universidades de gran prestigio son Stanford, Delf, Berkley, etc.

2.2 ¿Qué es el diseño? Concepto

Para iniciar el capítulo es oportuno aclarar el concepto de diseño desde el punto de vista de la cultura iberoamericana y anglosajona. Como señalan Alcaide, Diego y Artacho (2001) diseño en castellano tiene una significación limitada hasta cierto punto se habla de “objetos de diseño”, donde solo se hace referencia a características externas (colores,

tamaño, texturas, etc.) del objeto estudiado pero se no habla del objeto en su conjunto. El término desde el punto de vista anglosajón “design” hace alusión a toda la actividad del desarrollo de un producto, lo anterior en castellano se acerca más al concepto de “proyecto”, entendido que es un conjunto de acciones necesarias para llevar a cabo y hacer realidad una idea.

Cabe destacar que la investigación asumirá el concepto de diseño desde el punto de vista anglosajón, esto quiere decir que se asumirá el concepto en el sentido amplio del desarrollo de una idea y no en el sentido limitado de su forma. La aclaración anterior es importante porque en este trabajo se quiere resaltar el vínculo que existe entre dos disciplinas académicas que siendo compatibles se han considerado distantes, como lo son la ingeniería y el diseño industrial, esto ha generado la creencia que el diseño industrial solo se debe preocupar por la forma final del producto (la carcasa y su estética) y que el diseño aplicado a la ingeniería solo se utilizan cálculos estructurales que forman al producto.

Las definiciones que se pueden encontrar en distinta literatura nos muestran el concepto de diseño en su sentido amplio. Por ejemplo, Pugh (1990) que lo define como “diseño total” la cual es una actividad sistemática desarrollada para satisfacer necesidades y que cubre todas las etapas desde la identificación de la necesidad hasta el punto de venta del producto. Pahl y Beitz (1995) dicen que es una actividad que afecta a casi todas las áreas de la vida humana, que utiliza leyes científicas, se basa en experiencias y define qué requisitos debe tener para la realización física de la solución.

Mientras que otros autores más actuales dicen que el diseño es el resultado de un proceso que “es una secuencia de pasos que transforman un conjunto de entradas en un conjunto de salidas” Ulrich y Eppinger, (2004).

El WDO (The world design organization) (2017) define “El diseño industrial es un proceso estratégico de resolución de problemas que impulsa la innovación, genera éxito en los negocios y conduce a una mejor calidad de vida a través de productos, sistemas,

servicios y experiencias innovadores. El Diseño Industrial une la brecha entre lo que es y lo que es posible. Es una profesión transdisciplinaria que aprovecha la creatividad para resolver problemas y co-crear soluciones con la intención de hacer un producto, sistema, servicio, experiencia o un negocio, mejor. En su corazón, el diseño industrial ofrece una forma más optimista de ver el futuro reestructurando los problemas como oportunidades. Vincula la innovación, la tecnología, la investigación, los negocios y los clientes para proporcionar un nuevo valor y una ventaja competitiva en las esferas económica, social y ambiental.”

Existen muchas más definiciones de diseño. Las aquí expuestas son una muestra representativa del concepto más amplio que contiene la mayor parte de los elementos que lo conforman. Se puede decir primeramente que el diseño busca la satisfacción de una necesidad. Como segundo elemento es que para poder satisfacer esa necesidad debe de tomar en cuenta el entorno, las relaciones y contexto donde interactuara el producto a diseñar lo cual implica que sea multidisciplinario y que se deba de tomar en cuenta todo el ciclo de vida del mismo. Y como tercer elemento son las restricciones las cuales son limitantes de orden económico, social y funcional.

Resumiendo el diseño es el desarrollo de un sistema que tenga las características anheladas (funciones) el cual es una consecuencia de la transformación de las necesidades y requisitos no solo del cliente o usuario sino también de todo el ciclo de vida del producto.

2.3 Metodologías de diseño

El departamento de gestión de innovación de producto en el grupo de teoría y metodología de diseño de la Universidad de Delft tomando lo que Nigel Cross define como metodología de diseño “es el estudio de las prácticas y procedimientos de diseño en el sentido amplio, su objetivo es el cómo diseñar e implica la forma que los diseñadores trabajan y piensan; es el establecimiento de estructuras para el proceso de diseño y la

reflexión sobre el conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño” Lloyd, Roozenburg, McMahon y Brodhurst (2004).

Es conveniente precisar la diferencia entre los siguientes vocablos método, técnica, modelo y metodología, ya que son muy utilizados en la literatura y pueden causar confusión.

Las definiciones formales de los vocablos anteriores RAE, (2017), son los siguientes:

Método: Modo de decir o hacer con orden.

Modelo: Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, como la evolución económica de un país, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.

Técnica: Perteneciente o relativo a las aplicaciones de las ciencias y las artes.

Metodología: Ciencia del método.

Observando las definiciones anteriores se entiende que hay relación entre ellos. El método hace referencia a la manera de como un diseñador en nuestro caso realiza una tarea (diseñar); las técnicas son herramientas que se utilizan para aplicar el método; el modelo es como se representa el método para comprenderlo y analizarlo; la metodología es el análisis preciso del método. Se puede decir que las técnicas son herramientas para el método y el modelo es la herramienta para la metodología.

Se hace una breve compilación de algunos modelos, métodos y teorías de diseño más relevantes con el fin de dar un marco teórico a la investigación.

2.3.1 Métodos de diseño

En la actualidad existe una inclinación o una necesidad a tener métodos que muestren que hacer durante el diseño de productos, esto se viene dando desde principios del siglo XX pero fue hasta principios de la década de los 60 que el tema toma

importancia ya que la complejidad de los nuevos productos de consumo hizo que así fuera. La primera conferencia de métodos realizada en el Imperial Collage (1962) dio pie a la formalización de la época de las metodologías de diseño Jones, (1984).

Nigel Cross (1984) hace una compilación de los distintos métodos de diseño que florecieron de (1962 a 1982) iniciándose con la conferencia que menciona Jones pasando por Archer, Dake y Ritter solo por mencionar algunos. en la compilación, Cross identifica cuatro etapas el primero va de 1962 a 1967 en el cual se intenta aplicar nuevos métodos y herramientas que fueron desarrollados en la segunda guerra mundial aquí se intentó sistematizar y gestionar la totalidad del proceso de diseño pero se fracasó. La segunda etapa comprendida de 1967 a 1973 es descrita por la intención de entender la complejidad de los retos de diseño.

Otro enfoque que se le dio a la complejidad fue la tercera etapa donde los diseñadores estudian el proceso tradicional de diseño donde se explotaron las entrevistas y se usaron laboratorios controlados esto duro hasta finales de los 70. La cuarta etapa que va de 1972 a 1982 en donde se da un enfoque más filosófico y se busca el entendimiento de las experiencias de todos los años anteriores. Se puede decir que la historia de los métodos llega hasta mediados de los años 90 con la aparición de nuevas tendencias enfocadas a resolver problemas de diseño muy particulares y a no darle universalidad a la forma de diseñar productos y pensar en todo el proceso a resolver las necesidades del usuario ejemplo de estos métodos son el design thinking y el diseño centrado en el usuario.

2.3.2 Modelos de diseño

Se entiende como modelo de diseño a la forma del proceso que desarrolla el diseñador cuando está trabajando. Los modelos y métodos de diseño es lo que se estudia en el

campo de la investigación en diseño la cual tiene como objetivo establecer recomendaciones que mejoren la eficiencia en el diseño.

Tomando en cuenta la clasificación de Nigel Cross (1999) realiza de los modelos de diseño que consta de dos grupos: descriptivos y prescriptivos la explicación tiene el fin de identificar las etapas que se desarrollan en el proceso de diseño, para fines de esta investigación se utilizaran los modelos descriptivos ya que son los más utilizados y no limitan la investigación de diseño.

2.4 Modelos descriptivos del diseño

Es el modelo más básico el cual permite reconocer las fases del diseño que son más aceptadas por la mayoría de los investigadores. Dichas fases son:

Diseño conceptual: aquí se analiza el reto de diseño, se evalúan distintas soluciones y se evalúan, también se le denomina fase de síntesis. En esta fase se generan principios de solución, pero no se obtienen soluciones finales.

Diseño preliminar: En esta fase se avanza en la definición de la solución al reto de diseño. Aquí se obtienen que materiales se van a usar, dimensiones, planos y ensamblajes más cercanos a la realidad.

Diseño de detalle: El diseño de detalle es la fase donde se generan las especificaciones para poder llegar a producir el producto final. Se generan planos de detalle, etapas de fabricación, necesidades de manufactura, chequeo de proveedores, etc. Esta etapa es de las más estudiadas ya que tiene que ver mucho con cuestiones de negocios y generación de riqueza producto de la innovación.

La primera fase que es la de diseño conceptual es la que nos interesa estudiar en esta investigación ya que aquí es donde la investigación en diseño busca aportar nuevos conocimientos o nuevas estrategias que ayude a generar soluciones más viables y en menor tiempo.

Modelos prescriptivos

La característica especial de estos modelos es que además de describir las fases de diseño a seguir dan más información para el proceso que se está siguiendo. Por ende en esta categoría existen gran variedad de propuestas como ejemplo de ellas está el Total Design propuesto por Pugh (1990) el cual está basado en las fases genéricas vistas en el apartado anterior (que es válido para cualquier tipo de producto que se quiera diseñar) pero este aporta “especificaciones de diseño” que son características muy particulares y tiene por consecuencia delimitar el campo de acción del propio diseño.

Por ende estos modelos no serán tema a tratar de esta investigación por las limitantes y particularidades que sesgan el estudio de un diseño más general.

2.5 Diseño Conceptual

Como se mencionó en el apartado anterior la fase inicial del proceso de diseño de nuevos productos se denomina diseño conceptual. Este paso es donde el diseñador realiza el mayor trabajo de síntesis para darle orden y coherencia al desarrollo de productos. Y dado que el objetivo de esta investigación es desarrollar productos orientado a la generación de conceptos de diseño enfocándose en enriquecer esta etapa, es conveniente precisar algunas características que ayuden a comprender mejor este rubro.

Se puede decir que la fase de diseño conceptual es crucial para el desarrollo de productos en especial cuando se quiere hacer innovación o se quiere rediseñar por completo de algún producto ya existente Horvath (2000). Las decisiones que se toman en esta fase son de suma importancia y determinantes para todo el proceso, hasta el punto que si se hace un deficiente concepto de un producto es casi imposible de mejorar en las fases

subsecuentes y por consecuencia se tendría que comenzar de nuevo perdiendo mucho tiempo en el desarrollo.

Desde la perspectiva metodológica es la primera fase en el desarrollo de productos, en ella se obtienen los primeros requerimientos y especificaciones que tienen como objetivo explorar las alternativas y conceptos que se desarrollaran en las siguientes fases.

Esta fase depende de crear asociaciones entre conceptos intuitivos y aprendidos (conocimiento total del diseñador) aquí se aplican soluciones donde se mezclan dichos conocimientos con el fin de externalizar imágenes mentales y convertirlas en algo tangible.

En el diseño conceptual se utilizan las especificaciones y necesidades que se desean del producto y se empiezan a obtener requerimientos técnicos y restricciones. Esto se transforma en funciones, principios físicos y primeras representaciones materiales todo esto servirá para hacer pre selecciones. Lo anterior es representado por la siguiente figura de Horvath (2000) que no suceden necesariamente en forma ordenada.

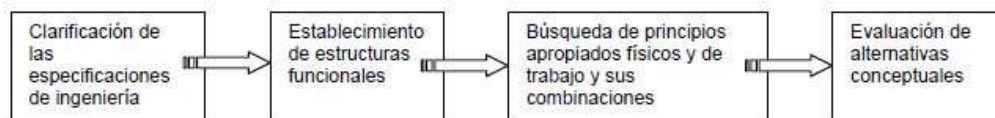


Figura 1 Diseño conceptual Horvath (2000).

Se han utilizado distintas técnicas que tratan de describir las actividades realizadas por el diseñador cuando está inmerso en el proceso de diseño, en el siguiente apartado se hablarán de ellas, como por ejemplo el QFD, los diagramas de bloques funcionales, etc. Los cuales están en fase de consolidación para su uso industrial.

2.6 Técnicas de modelación de diseño conceptual

Las técnicas de diseño que trataremos son las enfocadas al diseñador, en las cuales el propio diseñador tiene el control del proceso y utiliza las técnicas a su criterio. A continuación se presenta un breve resumen de las técnicas que en la actualidad se han propuesto para ayudar al desarrollo de productos:

CATEGORIAS	HERRAMIENTAS O TECNICAS
Modelación basada en la gramática	<ul style="list-style-type: none">- Formas gramaticales- Categorías de principios- Catálogos de solución- Catálogos de patentes
Modelación funcional	<ul style="list-style-type: none">- Por procesos- Multinivel- Por flujo de información- Basada en aspectos formales
Modelación cualitativa de procesos	<ul style="list-style-type: none">- Redes de Petn- Bond Graphs- Cualitativa física
Modelación cuantitativa de procesos	<ul style="list-style-type: none">- Simulación física- Matemática
Modelación estructural simbólica	<ul style="list-style-type: none">- Cinemática- Grafica de atributos- Relaciones espaciales- Esquemas simbólicos
Técnicas de formación de ideas	<ul style="list-style-type: none">- Fundamentado en analogías- Fundamentado en casos- Fundamentado en restricciones- Fundamentado en analogías

--	--

Tabla 2 Clasificación de modelación conceptual Horvath (2000)

La tabla anterior basada en los estudios de Horvath (2000) presenta las tendencias en el desarrollo de modelación en el diseño conceptual las cuales se agrupan en clases dependiendo del modo de operación de cada técnica.

A nivel empresarial las técnicas usadas son una combinación de algunas de las modelaciones anteriores en esta sección se hará un rápido acercamiento a las técnicas más representativas dentro del enfoque al diseñador dejando para el siguiente capítulo el estudio más a fondo de la técnica que se aplicara a la investigación.

Análisis funcional.

El objetivo del análisis funcional es reducir costos, basándose en la identificación de las acciones que debe de realizar el producto y acciones del mismo. En la actualidad los productos buscan cumplir con varias funciones, los usuarios identifican una serie de funciones a las cuales les dan alguna utilidad, estas funciones se les puede llamar funciones técnicas. El análisis funcional además de identificar funciones debe de clasificarlas con el fin de encontrar la interrelación y dependencia de las mismas.

Diseño colaborativo

La tendencia en la actualidad es a realizar el llamado “diseño colaborativo” el cual es desarrollado por equipos multidisciplinarios e interdisciplinarios de manera presencial y remota. En este caso sale a relucir la necesidad de ampliar el entendimiento de los diseñadores que hasta estos momentos ha sido bastante limitada, el fin es lograr que se integren distintas disciplinas en los procesos de diseño, en el futuro será más común este tipo de trabajo colaborativo ya que el diseño de productos innovadores cada vez es más complejo y globalizado pero gracias a las tecnologías de la información será más fácil la integración de los equipos de trabajo.

QFD

La función de calidad llamada “quality function deployment” QFD, es un método creado por Yoji Asao en 1972 en su natal Japón, pero hasta 1986 fue conocido en el resto del mundo, el objetivo de este método es realizar de forma sistemática la captura y procesos de necesidades reales que conduzcan el proceso de diseño. Se puede decir que de toma “la voz del cliente” como fundamento del diseño. González y Marvin (2001)

Para su realización se realizan cuatro matrices: la más representativa, nombrada “la casa de la calidad”, la de planificación, la de procesos y control de calidad. La primera matriz realiza una interpretación de los requerimientos del cliente a términos más técnicos, se inicia con recolección de información, después se le da estructura por prioridades. Esta estructura de necesidades se convierten en parámetros cuantificables para luego establecer una relación entre ellos.

La segunda matriz trata de relacionar los requisitos del producto con las piezas que lo conformaran para tratar de dar un concepto de solución. Se puede decir que entre la primera matriz que es la casa de la calidad y esta matriz se desarrolla el concepto de diseño, donde hay una fase de evaluación y selección de alternativas de solución.

La siguiente matriz es la planificación del cómo se fabricara el producto también puede generarse alternativas de solución, la cuarta matriz que es la última se realiza la planificación del control de calidad.

2.7 Investigaciones en diseño

A continuación se mostrara algunos grupos y centros de investigación en investigación en diseño, con el fin de mostrar las tendencias que existen, la lista no es definitiva ya que existe más investigación en diseño repartida por todo el mundo, se trata de mostrar los más representativos.

Center for Design Research

El center for design research (CDR) es un centro de diseño e investigación de la Universidad de Stanford se enfoca en el desarrollo, comprensión, innovación en ingeniería y educación en diseño CDR (2017), Se orienta a desarrollar la creatividad , a crear procesos de diseño tanto individual como colectivamente y promueve el diseño de productos innovadores.

Tiene varias empresas que han patrocinado sus proyectos como: Audi, Ford Motor Company, General Electric, Apple, etc. Lo cual le ha dado un alto prestigio. Cuenta con cinco laboratorios de investigación: biomimética, educación en ingeniería, diseño dinámico, disección mecánica y diseño.

El laboratorio de diseño estudia y desarrolla cuestiones de teoría y metodologías de diseño, sus laboratorios de educación están equipados con varios elementos para poder realizar investigación en sitio de los procesos de diseño que realizan los diseñadores.

Algunas líneas de investigación son:

- Modelación de sistemas.
- Ambientes virtuales de diseño
- Dinámica de vehículos
- Diseño de nuevos materiales
- Estrategias pedagógicas de diseño

Design Methodology Group

Pertencientes a la TU Delf de Holanda (2017) este grupo de investigación del departamento de gestión de la innovación diseño, realiza investigaciones de la mayoría de los temas de los procesos de diseño varios de sus trabajos son referentes mundiales en investigación de diseño. Ejemplo de esto es el estudio empírico de los diseñadores utilizando el método de análisis de protocolo, poniéndolo como uno de los métodos

experimentales más utilizado desde mediados de los 90 gracias al grupo del profesor Nigel Cross, que con su trabajo dio como resultado el libro *Analysing Design Activity* (Cross, Christiaans y Dorst 1996) el cual es utilizado referencialmente por la mayoría de las investigaciones de diseño, incluyendo esta investigación.

Otra referencia utilizada para esta investigación que tiene su origen en ese grupo de investigación es el trabajo que realiza Norbert Rozzenburg y Dorst el cual se muestra en el libro *Research in design thinking* (1992).

Algunas líneas de investigación referentes al proceso de diseño desarrollado en el grupo de investigación se encuentran en los siguientes contextos:

Creativo: Analizan como las reuniones creativas como son el brainstorming pueden potencializar la comprensión del diseño durante la fase creativa del proceso de diseño.

Diseño: Se estudia cómo se comunican los diseñadores durante todo el proceso de diseño. Esta comunicación se puede dar por medios narrativos de descripción, que aspectos éticos y estéticos intervienen la finalidad es analizar como la comunicación se relaciona con la experiencia al realizar diseño.

Negocio: Aquí se analiza como los equipos de diseño utilizan en la práctica su experiencia para darle solución a un reto de diseño con el fin de que sea viable económicamente.

Institute of Desing

De la universidad de Illinois, ese instituto es reconocido como líder en el estudio del diseño centrado en el usuario los cuales se centran en los siguientes factores humanos: cognitivos, sociales y físicos Illinois Institute of Technology ID (2016).

Algunas de sus líneas de investigación son:

- Definición temprana del producto.

- Búsqueda de información.
- Aprendizaje a través de la información.
- Información multimodal
- Procesamiento de información a través del estudio del usuario.

Ideas Lab

El laboratorio Ideas se encuentra en el Instituto indio de la ciencia Indian Institute of Science (2016). Su investigación tiene sus bases en la creatividad en diseño, innovación, prototipado, diseño sostenible y administración en diseño.

Sus investigaciones son:

- Creatividad
- Diseño Colaborativo
- Eco-diseño
- Biomimetismo

Clemson Research

Es un grupo de investigación que se encuentra a la vanguardia en dos áreas principalmente: metodología y optimización de diseño y prototipado rápido se encuentra en la Universidad de Clemson en Carolina del Sur (2016), sus líneas de investigación son:

- Prototipado rápido.
- Vehículos
- Diseño colaborativo y distribuido
- Metodología de diseño
- Diseño multilateral.

2.8 Conclusiones

En este capítulo se mostraron de manera general algunas tendencias de investigación en diseño. Lo cual partió de la definición de diseño, con el objetivo de aclarar el significado que se utilizara en este documento, el cual es la definición anglosajona de diseño que conlleva el desarrollo total del producto ósea se toma en cuenta todas las fases de desarrollo y no solamente la parte estética del producto.

Se puede decir que tanto las tendencias, los modelos y las líneas de investigación de centros especializados nos muestran tres elementos importantes para el desarrollo de productos: primero se puede decir que es conocimiento (de cómo se va a diseñar y de cómo sería el objeto diseñado), segundo la participación cada vez más activa de grupos multidisciplinarios y por último la importancia de la fase de diseño conceptual la cual es clave para llevar a buen fin cualquier nuevo desarrollo.

A nivel mundial la mayoría de los diseñadores está trabajando con los elementos antes mencionados en respuesta a la nueva complejidad de los procesos de diseño que son consecuencia de la demanda de productos más innovadores. Los resultados de estas investigaciones no solo deben de tener impacto en la industria, también deberían de tener repercusiones en el ámbito académico ya que al incorporar nuevos factores en la forma de cómo se enseña el diseño se formaran recursos humanos integrales y preparados para afrontar cualquier reto de diseño.

Capítulo 3: Diseño de productos centrado en el usuario

3.1 Introducción

Tomando en cuenta que el diseño de productos es una amalgama entre interpretaciones y localización de necesidades que generan un sistema (producto), integrado con funciones y requerimientos que proporciona el usuario, es pertinente aproximarse a la estructura de modelos que representen como es que se desarrolla, opera, funciona e interactúa el sistema.

Después de haber estudiado el conjunto de componentes que se fusionan para lograr el desarrollo de un producto, es necesario enfocar e integrar la información que se obtiene en un modelo teórico, que facilite la comprensión, estudio y que sirva como punto de referencia para su adecuada aplicación en el desarrollo de productos.

En el medio del diseño, han existido diversos intentos por elaborar modelos del proceso de diseño. Algunos simplemente han descrito secuencias de actividades que son típicas en el diseño y otros han intentado describir con mayor profundidad dichas actividades. En el presente capítulo, se propone el uso de un modelo descriptivo que hace énfasis en generar un concepto en una etapa temprana del proceso, lo que refleja cómo el pensamiento del diseño está muy enfocado en encontrar una solución.

Dicha solución inicial se somete después a análisis, evaluación, refinamiento y desarrollo. El proceso emplea la experiencia previa y las reglas prácticas que llevan a lo que el diseñador espera que sea la dirección correcta. (Cross,1999).

Así, en la investigación se utilizará el diseño centrado en el usuario (DCU), ya que es una alternativa que disminuye la complejidad y los errores, lo que dará como resultado un

método a través del cual se logre diseñar productos de manera más eficaz y con mejores parámetros de calidad.

3.2 Entendiendo la voz del cliente

Análisis Histórico

El incremento en la competencia debida a la gran variedad de productos que se ofrece al consumidor ha generado que las empresas pongan más atención a las necesidades y preferencias de los posibles clientes, con el fin de poder sobrevivir a este mundo cada vez más desafiante y globalizado, por lo que, si se quiere introducir un nuevo producto que tenga éxito en el mercado, es primordial considerar al usuario en el diseño.

Este proceso de inclusión tiene dos características, que pueden dificultar la interpretación y, como consecuencia, tienen el potencial de obstruir la cristalización de las necesidades de los usuarios en características del producto final: la primera es la naturaleza del lenguaje del proceso, y la segunda, es que el usuario manifiesta sus condiciones para el producto con jerga ajena al léxico técnico del diseñador industrial.

Los investigadores han coincidido en que esta etapa de interpretación es de gran importancia en el proceso de desarrollo de productos, ya que se hace énfasis tanto en los atributos palpables como en los intangibles, que son resultado de la precepción del usuario hacia el producto.

Otro aspecto clave que da una nueva valoración al diseño centrado en el usuario es la conciencia que se ha generado acerca de que las especificaciones atrasadas de los productos han dado lugar a que las corporaciones tengan problemas con sus sistemas de competitividad, ya que aquellas que no se adaptan a las necesidades de sus clientes han quedado estancadas. La investigación moderna nos señala que los sistemas de manufactura basados en economías de escala (los cuales eran viables cuando existía

menos competencia y el precio de los productos era el factor de decisión) ya no son efectivos en el tipo de mercado de la actualidad. Fung, (1998).

El cambio en el tipo de mercado no se ha dado de manera repentina. Poco a poco las empresas han reaccionado a partir de la década de los ochenta, que es cuando se reconoce la importancia de la voz del cliente en el diseño industrial, dando como resultado el surgimiento de consumidores más exigentes y sofisticados (Nagamachi, 1999).

En esa década se realizaron aportaciones importantes, entre ellas, nuevas formas de captar y entender la voz del cliente (Griffin, 1993), así como métodos más eficientes de cuantificar las preferencias de los clientes (Srinivasan, 1988). De manera simultánea, desde la filosofía de la calidad, se dio inicio a la aplicación de las técnicas preponderantes de la época desde la etapa del diseño conceptual: Técnicas de control estadístico (Deming, 1986), Kaisen (Kaizen Imai, 1986) y Diseño de experimentos (Taguchi, 1986).

Conforme el diseño fue evolucionando, se empezó a hacer mayor énfasis en la satisfacción del consumidor, ya como una herramienta mercadológica a principios de la década de los noventa. Los investigadores del área se dieron cuenta de la necesidad de tener un mejor entendimiento de la voz del cliente, por lo que empezaron los esfuerzos para unir las percepciones de consumidor con las decisiones de fabricación y con el posterior lanzamiento de nuevos productos, buscando incrementar el éxito dentro de mercados que resultan cada vez más competitivos.

En este mismo periodo, los beneficios que resultan al comprender las necesidades de los posibles consumidores desarrollaron otra necesidad, ahora en el mercado, estrechamente ligada a la velocidad con la que se desarrollan nuevos productos. Los mercadólogos observaron que, al generar con mayor rapidez nuevos productos, se crea una ventaja competitiva que, mezclada con una mejor comprensión de las necesidades de los clientes, conlleva a una reducción de costes, originada en la reducción de las demoras para la producción y en la disminución de cambios en el diseño del producto Reinerstein (1998).

Para obtener información sobre los posibles clientes y procurar su inclusión durante el desarrollo del producto existen distintas técnicas. Las más utilizadas son las que recaban información directamente de los usuarios con la finalidad de obtener requerimientos para su desarrollo (Ulrich y Eppinger, 2004).

El método más empleado por la industria es el QFD (del inglés Quality Function Deployment) (Akao, 1990), en el cual se procura incluir durante todo el proceso de diseño la voz del usuario. También se aplican otros métodos que provienen de la investigación etnográfica (Laurel, 2003), los cuales buscan innovar en el desarrollo de nuevos productos basándose en la observación de los usuarios en su vida cotidiana.

Esta corriente de desarrollo de productos, que enfatiza la participación del usuario durante todo el proceso, se le nombra diseño centrado en el usuario (DCU).

El diseño centrado en el usuario parte de la observación directa de las necesidades y características de los posibles usuarios, al interactuar con los productos durante la realización de actividades cotidianas. Bajo estos parámetros se identifican oportunidades y posibles problemas, también salen a la luz requerimientos del propio diseño y, tras su desarrollo, es posible evaluar el desempeño de una manera más accesible, ya que se siguieron etapas previamente establecidas.

3.3 ¿Por qué utilizar una metodología para el diseño de productos?

Se entiende como éxito al diseñar algún nuevo producto, la creación de un objeto que responde a las necesidades del consumo. Este éxito depende en gran medida de la identificación y selección de un método apropiado para reducir la incertidumbre causada por las necesidades reales y subjetivas del cliente, así como de una respuesta creativa por parte del diseñador.

Cuando se exploran las distintas técnicas que emplean los diseñadores industriales -en específico en el diseño conceptual- aparecen términos que no dan certeza de las

necesidades que se desea satisfacer, como pueden ser: “fácil de usar”, “juvenil” y/o “adaptable”. Estas propiedades no se pueden apreciar intuitivamente, por lo que no es posible representarlas probabilísticamente; en estos casos, se necesita una aproximación distinta que incorpore la interpretación subjetiva de las cualidades del objeto a diseñar.

Por tradición, el diseño y creación de objetos se basa en las experiencias del diseñador y en su inspiración artística, esto quiere decir que la mayoría de las decisiones en diseño son intuitivas y subjetivas. Lo anterior lleva implícitas las siguientes desventajas, señaladas por Pahl (1988):

- 1.- El resultado depende, en gran medida, del talento del diseñador y de su experiencia.
- 2.- La idea correcta surge raramente en el momento preciso.
- 3.- Se corre el riesgo de que el resultado del diseño este circunscrito al ámbito de capacitación del autor.

La mayoría de los investigadores en diseño expresan que siempre es necesario contar con métodos estructurados de diseño, para poder describir con mayor claridad el proceso y llevar a cabo una mejor realización. Tseng (1997) explica las dificultades que aparecen por falta de metodologías para definir un producto, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

- 1.- Falta de estructura en los requerimientos: Las variables y los requisitos son entendidos de manera superficial y, por ende, se expresan en lo abstracto y difusamente, lo que lleva a trabajar con presunciones vagas.
- 2.- Las disparidades de contexto: Con frecuencia los usuarios, los diseñadores y los mercadólogos usan distintos contextos para externar los requisitos del reto. Estas diferencias de léxico no ayudan a llevar los requisitos que el cliente pretende hacia el diseñador, ya que se tienen diferentes perspectivas del mismo reto de diseño.

3.- Requisitos del ciclo de vida: Sin estructura no se toma en cuenta toda la gama de requisitos del usuario durante el ciclo de vida del producto, los cuales deben de satisfacerse.

4.- No hay procedimiento estructurado: En ocasiones las necesidades, los parámetros del producto y sus características funcionales no están claramente identificadas en las etapas tempranas del proceso de diseño. Es casi imposible estimar el costo económico de producción y calidad cuando se seleccionan características sesgadas.

En el proceso de diseño se incorporan las tareas realizadas para llegar a un sistema final, que tiene las especificaciones que satisfacen alguna necesidad (o necesidades) del mercado. Durante el transcurso se deben de tener en cuenta las características a nivel económico, antropológico, social, físico y técnico, sin olvidar el aspecto estético-artístico, que también conlleva la satisfacción de una necesidad.

La fase de diseño conceptual es donde la mayoría de los proyectos de diseño fallan. Cooper (1995) nos dice que los errores que se tienen al definir las características del producto son la mayor causa de fracaso al desarrollar un nuevo producto y son el origen de los retrasos en su desarrollo; es por eso que se buscan beneficios en las etapas iniciales del diseño, ya que si se trata de realizar estas mejoras en la fase de detalle resultan poco significativas.

Problemas asociados a la recolección de requerimientos

En la etapa de especificación de requerimientos se suelen presentar algunos problemas que deben de identificarse y prevenirse. Algunos son los que enlista Robertson (2012):

- La cantidad de requerimientos puede hacer difícil su manejo.
- Aparecen con lenguaje ambiguo.
- Dichos requerimientos no son obvios y provienen de diversas fuentes.
- El usuario no sabe explicar lo que requiere.
- Algún requerimiento puede mutar a lo largo de los procesos de desarrollo.

- El usuario, la mayoría de las veces, solo recuerda lo excepcional y olvida lo importante.
- El usuario solo habla de lo que no funciona.
- El léxico de los usuarios es distinto al del diseñador.

La principal problemática al especificar los requerimientos, es entender con toda claridad la necesidad del cliente, sus deseos y el ambiente en que se va a desenvolver el sistema. Por lo tanto, cuando se está realizando la actividad de recolección y análisis de requerimientos se necesita una intensa comunicación entre el posible usuario y el diseñador, con el objetivo de evitar que se produzcan malas interpretaciones.

3.4 Usabilidad

Como se ha visto hasta el momento, el enfoque tradicional del análisis y recolección de requerimientos se ha concentrado en establecer una identificación funcional de los requisitos y en tratar de asegurar que se cumplan, pero también existen los requerimientos no funcionales, tales como: eficacia, satisfacción, portabilidad y facilidad de uso, los cuales han sido objeto de poca importancia.

Resulta de gran valor clasificar los requerimientos no funcionales para incluirlos en el proceso de diseño (Sommerville 1997):

- De organización: Son derivados de políticas ya existentes en las organizaciones, para el cliente y el diseñador. Estos incluyen requerimientos operacionales, de proceso de desarrollo, estándares de fabricación y ambientales.
- Externos: Proviene de factores externos al proceso de desarrollo, como las regulaciones, leyes y cuestiones éticas.
- Del producto: Especifican cómo es el producto, esto quiere decir, que tan fiable es, su seguridad y usabilidad.

Aunque, como se mencionó, a los requerimientos no funcionales se les ha relegado a un papel secundario, son significativos para la perspectiva del usuario y pueden ser críticos para que el producto sea exitoso.

La usabilidad se estudia desde hace más de treinta años, cuando los estudiosos del diseño empezaron a relacionar las interacciones usuario – producto, poniendo al usuario como el eje central de todos los procesos que se realizan en el diseño de productos (Abrás, 2004). Se debe tomar en cuenta desde la concepción del producto y cuando se recolectan los requerimientos para su desarrollo.

El autor Nielsen (1993) plantea en su libro *Usability Engineering* que la usabilidad es una característica de calidad dependiente de los usuarios, de las acciones que se ejecuten y del lugar donde se realizan; también ayuda a medir la facilidad en el aprendizaje, el manejo de errores y la eficiencia cognitiva.

El concepto de usabilidad que se ha extendido con mayor amplitud ha sido el del *Used-Centered System Design: New Perspectives on Human- Computer Interaction* de Norman and Draper, (1986). En dicho trabajo, los autores reconocen las necesidades e intereses de los usuarios y centran su atención en las limitaciones y capacidades de los posibles usuarios para lograr mayor facilidad de uso; esto deriva en que los productos terminados deberían ser manipulados sin necesidad de seguir instrucciones desde la primera vez que se accede al producto: El diseño debe de ser tan intuitivo que el usuario no tenga problemas para ponerlo en funcionamiento, si el diseño no es así será un fracaso (Norman, 2011).

Con la sistematización de la metodología de diseño centrado en el usuario apareció una descripción de usabilidad, según la norma ISO 9241-210:2010 *Human- centered design for interactive systems* (ISO 9241-210, 2010), que la considera como: La medida de eficacia, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos con un contexto de uso específico.

La norma nos menciona cuatro fases para el proceso de diseño (ISO 9241-210, 2010):

- Entender el uso: Se refiere a identificar el tipo de personas para las que va dirigido el producto, con que fines lo usarán y bajo qué condiciones.
- Hacer una especificación de requisitos: Aquí se interrelacionan los objetivos últimos del usuario y del proveedor del producto, los cuales se busca satisfacer.
- Elaborar soluciones de diseño: Esta fase se divide en etapas sucesivas. Las primeras soluciones al reto de diseño aparecen en la etapa de conceptualización y, posteriormente, se presenta la solución final, apoyándose en la construcción de prototipos.
- Evaluación: Se etiqueta como la faceta más importante del proceso de diseño. En ella se valora el grado de satisfacción de los requisitos a partir de las soluciones de diseño o, por el contrario, se detectan fallas en la usabilidad. Se apoya en gran medida de pruebas directas con los usuarios

Con base en lo anteriormente expuesto, se puede decir que el objetivo primordial del diseño centrado en el usuario es lograr solventar las necesidades de la totalidad de usuarios, adaptar la tecnología a sus expectativas y crear objetos que faciliten su uso.

3.5 Diseño Centrado en el Usuario. Marco Conceptual

En el apartado anterior, se habló de usabilidad y su definición con el fin de comprenderla, pero más allá, la pregunta que emerge es ¿por qué es tan importante que un producto sea usable?

El término Diseño Centrado en el Usuario ha sido utilizado en contextos similares a otros conceptos, como el Diseño centrado en el humano (Norman, 1986) o la Usabilidad (Bevan, 2009), con los cuales se han proporcionado distintas explicaciones acerca su relación y diferencias. Se ha demostrado en la práctica que dicha distinción no aporta nada nuevo (Gulliksen, 2003).

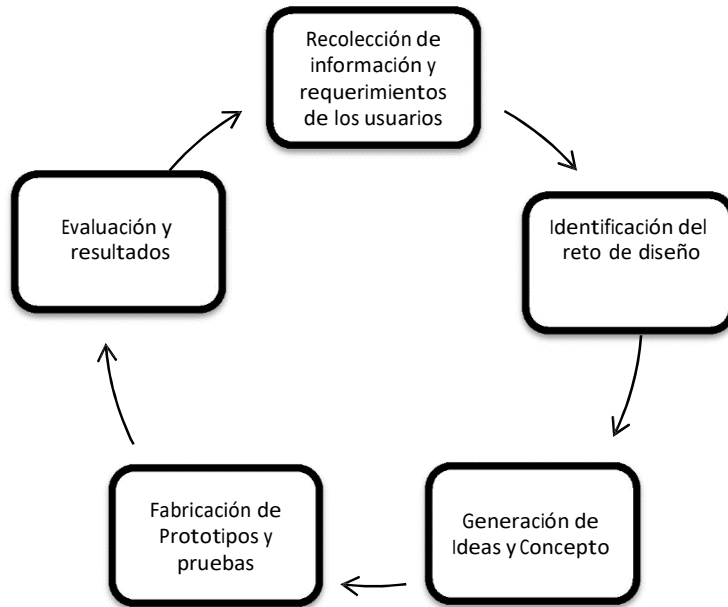


Figura 2 Diseño centrado en el usuario.

El diseño centrado en el usuario y el diseño centrado en el humano son análogos, los usuarios a los que se refiere el DCU en los procesos de diseño son humanos, y los humanos a los que hace referencia el diseño centrado en los humanos son los usuarios del producto.

En este contexto, se puede decir que la usabilidad es el grado en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos con el fin de lograr los objetivos planteados y satisfacer un determinado uso. La norma ISO 9241-210 nos da una definición de usabilidad en términos de efectividad, eficacia y satisfacción, los cuales están vinculados con la calidad que las corporaciones buscan al desarrollar productos. Así, la usabilidad es la cualidad de los productos que se pretende lograr mediante el uso del diseño centrado en el usuario o, dicho de otra forma, el objetivo del diseño centrado en el usuario es obtener productos más usables.

El diseño centrado en el usuario es una buena alternativa ante las prácticas tradicionales de diseño regido por las funciones o la tecnología, aplicadas por expertos que se basan únicamente en sus conocimientos y con las que las necesidades de los usuarios se dejan en segundo plano. Éstas generan productos de difícil entendimiento para los usuarios finales (resultado de diseñar para uno mismo y no para hacer productos usables) e implican un elevado costo de desarrollo, así como un peligro real de fracaso ya que se pueden generar errores en el proceso.

Las ventajas de realizar productos más usables son (Macaulay, 2009):

-Aumento en la productividad: Un producto que siga los principios de usabilidad, acondicionado a la manera de trabajar de la mano con el usuario, tendrá más efectividad, ya que no se perderá el tiempo lidiando con un conjunto de funciones, permitiendo al usuario centrarse en la tarea y no en el objeto.

-Menor entrenamiento: Un producto bien diseñado desde el punto de vista de la usabilidad puede reforzar el aprendizaje, lo que reduce el tiempo de capacitación y la necesidad de un asesor humano.

-Menos errores: Los errores humanos se pueden atribuir a una interfaz mal diseñada. Un mejor diseño, evitando confusiones o incoherencias en la interfaz, repercute en menor cantidad de errores.

Por estas causas surge el diseño centrado en el usuario, ya que tiene la peculiaridad de incorporar la perspectiva del usuario durante todo el proceso de diseño, con el fin de lograr un producto más utilizable.

Los principios básicos en los que se basa el diseño centrado en el usuario son (Goldberg, 2011):

- Participación activa: Se incorpora a los usuarios al proceso de diseño desde el inicio hasta el final, hay mejor entendimiento del producto ya que siente que ha sido diseñado tomando en cuenta sus necesidades y no que ha sido impuesto.

- La iteración: Implica recibir bastante retroalimentación por parte de los usuarios finales sobre el producto, en distintas etapas del proceso y mediante elementos que van desde simples maquetas hasta prototipos funcionales. Los resultados de cada iteración sirven para mejorar el diseño en las etapas subsecuentes. Lo que se quiere lograr es imitar las condiciones a las que estará expuesto y el desenvolvimiento de los usuarios con el producto.

- Formación y utilización de equipos multidisciplinarios: El diseño centrado en el usuario es un proceso colaborativo para el cual es favorable la participación de diversas ramas del conocimiento, por lo que el equipo de desarrollo podría incluir distintos especialistas, entre ellos ingenieros, usuarios finales, diseñadores industriales, sociólogos, antropólogos y personal de apoyo.

En resumen, el Diseño Centrado en el Usuario -surgido en la década de los ochenta en la Universidad de California en San Diego, dentro del departamento de psicología cognitiva-

se trata de una práctica basada en las necesidades y requerimientos del usuario, cuyo objetivo es realizar productos que sean de fácil comprensión y utilizables.

Históricamente, se fue incrementando de manera exponencial el número de variables y datos que un desarrollador (y los propios usuarios) podían llegar a tener disponibles, lo que ocasionaba fallas periódicas. El diseño centrado en el usuario es una opción que se emplea para disminuir los errores y la complejidad durante el proceso de diseño de productos, logrando un desarrollo más efectivo al reducir la variabilidad entre los datos que se encuentran disponibles y la información que es realmente necesaria.

Por propia experiencia, es de lo más apropiado para aplicarse al desarrollo de productos innovadores y/o complejos ya que, en ellos, los usuarios buscan una variedad de objetivos y no un conjunto de acciones preestablecidas. En este tipo de productos, las interfaces de interacción son diseñadas para que exista retroalimentación desde el usuario y, por ende, son dinámicas.

En esta investigación se ha considerado al diseño centrado en el usuario como una herramienta valiosa para poder conocer y conectar la información que es originada por los diseñadores al llevar a cabo procesos de diseño.

El conocimiento que genera favorece el proceso cognitivo del diseñador, ya que esta metodología apoya en el manejo de la gran cantidad de información producida y en la concepción de posibles soluciones al reto de diseño.

3.6 Conclusión

Las herramientas que se presentan como propuestas estructuradas nos dan la ventaja de actuar con orden y objetivos definidos, sin que esto implique que se rigidiza el trabajo que realiza el diseñador.

El uso de un método resulta conveniente para la conducción de los procesos de diseño hacia soluciones que puedan ser novedosas, y es de gran ayuda para encaminar el conjunto de la información adquirida. Sin embargo, para tener una estructura efectiva, se necesita promover la constante revisión de los requerimientos y las necesidades durante el desarrollo.

La mayoría de las propuestas o procesos que se emplean regularmente para generar nuevos productos, involucran una perspectiva en la que el diseñador resuelve los problemas que se encuentra culminando en un diseño final que satisface sus propias necesidades. Esto implica dificultades de uso para el consumidor y menor eficiencia.

Por ello, se presentó como alternativa el diseño centrado en el usuario, que tiene una visión con soluciones multidisciplinarias más amplia, enfoque sistematizado y la perspectiva incluyente de los usuarios.

Utilizarlo como herramienta básica para el proceso de diseño que se seguirá, tendrá como fin recolectar información valiosa sobre los requerimientos de diseño para, posteriormente, transformarlos en características estético-funcionales manejables durante la etapa de diseño conceptual.

Capítulo 4: Diseño y realización del experimento

Introducción

La revisión inicial de la investigación en diseño, como se mostró en el capítulo dos, nos da pie a considerar su posible utilidad como estrategia que asista al diseñador en la fase inicial del proceso de desarrollo de nuevos productos.

Se podría definir una estructura coherente, o identificar qué características serían de utilidad, con el acercamiento meramente teórico, que permite entender los principios de funcionamiento y características globales, pero no nos posibilita llegar a conclusiones finales válidas. Por ende, ha sido útil únicamente para fines de conocimiento general, de clasificación y entendimiento.

Tal situación plantea la necesidad de definir un proceso de estudio objetivo, que lleve a resultados aplicables. Es por ello que se decidió llevar a cabo una fase experimental para recabar información. Abordar la investigación desde el punto de vista experimental significa entrar en un complejo sistema de correlaciones, en el que se encuentran involucrados el diseñador -incluyendo su inherente complejidad como persona-, el ambiente en que se desarrolla la actividad, el reto a resolver, los medios disponibles, el tiempo, etc.

El diseño, como actividad, en sí mismo encierra habilidades cognitivas difíciles de abordar, tales como la creatividad y la capacidad de síntesis del ser humano.

Se han realizado muchas propuestas para enfrentar este reto, que van desde métodos teóricos como son razonamientos filosóficos, hasta experimentos controlados como los que propone Cross (1992). Sin embargo, los métodos que con más frecuencia se usan en temas de investigación de diseño son los planteados por Shah y Vargas (2003): estudios de protocolo, pruebas controladas y casos de estudio.

Se decidió utilizar como método central para esta fase del experimento el estudio de protocolo, con un antecedente de casos de estudio, que nos permitirá precisar elementos importantes.

En este capítulo se presentan las razones para dicha elección y los detalles de su ejecución, comenzando con los objetivos de la fase experimental y, posteriormente, las características del experimento desarrolladas en cinco secciones:

La primera parte, consiste en la definición de las particularidades del experimento, lo cual se realiza mediante un caso de estudio y con la definición del problema. A continuación, se explica el método de análisis de protocolo y las variaciones que se realizan para esta investigación, justificando su utilización ante otras alternativas de evaluación.

Como tercer punto, se describirá el experimento incluyendo su diseño, los factores a controlar, las condiciones de dicha prueba, el tamaño de la muestra, el tipo de información que se necesita y la forma de post procesamiento de los datos.

La cuarta etapa presenta la preparación del experimento, lo cual conlleva los siguientes aspectos: la definición de problema, la selección de los participantes y la realización de pruebas preliminares. La última parte corresponde a la ejecución del experimento.

4.1 Objetivo de la fase experimental

Lo que se busca es identificar y cuantificar de forma objetiva las características procedimentales y protocolos que se ejecutan durante el desarrollo del proceso de diseño, en la fase de diseño conceptual. Asimismo, se busca diferenciar concordancias y desacuerdos en las acciones que ejecutan los diseñadores cuando abordan el reto de diseño.

Esta comprobación permitirá conocer cuáles características son las que mayormente benefician al proceso de diseño, sustentando la estrategia que se pretende desarrollar con una base de resultados.

No toda investigación requiere sustentarse en una fase experimental, cuando puede apoyarse en resultados de investigaciones previas con excelentes bases teóricas que garanticen sus resultados. Hasta el momento no se ha encontrado una investigación previa que permita definir con certeza las características del proceso de diseño, que potencie la fase de generación de conceptos en el desarrollo de productos tal como ha sido expuesta en el marco de esta investigación.

Por ende, la realización de experimentos es necesaria para la verificación de la hipótesis.

Los planteamientos que se requiere validar son:

- La generación de ideas en la etapa de conceptualización del proceso de diseño de productos puede ser asistida por una estrategia que ayude a obtener soluciones creativas, apropiadas y fluidas, de manera que se generen opciones de solución más viables y de mejor calidad.
- Con las evaluaciones aplicadas a la resolución de los retos de diseño, la experiencia, conocimientos y métodos de trabajo de diseñadores, así como resultados de investigaciones sobre diseño conceptual, es posible identificar elementos destacados y características propias, para utilizarse en el diseño de productos centrados en el usuario.
- La efectividad de las metodologías de diseño puede ser evaluada mediante una fase experimental, que buscará identificar y cuantificar de forma objetiva los procesos resultantes de las evaluaciones aplicadas.
- Es posible desarrollar una estrategia que asista al diseñador en la etapa de generación de conceptos, que mejore la eficacia con respecto al tiempo, durante dicho proceso.

A partir de esta identificación y de los valores obtenidos se puede definir un modelo para apoyar al diseñador en el desarrollo conceptual de nuevos productos. La propuesta de la metodología para este fin estará sustentada en resultados, por lo que será más coherente.

Se puede observar que todas las cuestiones implican respuestas complejas. Algunas de ellas serán de tipo descriptivo, más que numérico, pero otras pueden caracterizarse cuantitativamente, por lo que son de especial interés y constituyen el objetivo principal de la fase experimental.

4.2 Determinación de condiciones experimentales

Para la determinación de las condiciones experimentales se plantea, como primer acercamiento, el método de casos de estudio. Éste se basa en el diagnóstico profundo de un ejemplo o reto que represente un fenómeno para su análisis, con el fin de que se logren comprender de manera puntual y clara las causas por las cuales tuvo ese comportamiento. Por tal razón se puede decir que el método nos ayuda a generar hipótesis de trabajo.

Algunos investigadores en diseño han utilizado este método para sus investigaciones, ya que es preferible a otros que convierten el fenómeno estudiado en algo artificial. Por el control que provoca la gestión del experimento, Yin (1996) menciona que es el más adecuado cuando se quieren tratar temas contemporáneos en un entorno de la vida real.

Davey (1990) ha distinguido seis tipos de casos de estudio, de los cuales, el que nos interesa para esta investigación es el caso de estudio exploratorio, el cual se refiere a un análisis condensado que es desarrollado antes de aplicar una investigación en gran escala. Es de gran ayuda cuando existe inseguridad sobre acciones, objetivos y resultados, siendo un auxiliar para identificar qué preguntas realizar y seleccionar mediciones.

Como herramienta preliminar se ha considerado aplicar este método exploratorio, con el objetivo de poder determinar particularidades importantes que nos garanticen una correcta realización del experimento en su conjunto, basado en el estudio de protocolo.

Con esto, se procura definir condiciones que tiene el experimento, adicionales a las que tiene el método, y se busca eliminar errores que puedan obligar a desechar sesiones del experimento de protocolo ya que, dada su complejidad en cuanto a organización, capacitación de participantes y realización, evita pérdidas de tiempo.

4.2.1 Estudio exploratorio

La finalidad de realizar un caso de estudio es reconocer cómo el diseñador aborda problemas de diseño elegidos, para tratar de identificar sus carencias y ventajas de forma global.

Con esto, se buscan las mejores opciones para llevar a cabo con el análisis de protocolo -la metodología del experimento principal-, prestando especial atención en las limitaciones de dicha metodología, encontradas en la literatura.

Como aspectos que interesa identificar en la fase experimental, se pueden señalar los siguientes:

- Identificar las particularidades del problema asignado.
- Definir la conveniencia de desarrollar el trabajo en equipos o individualmente.
- Observar cómo reaccionan los participantes al utilizar el método de pensar en voz alta.
- Determinar el tiempo necesario para llevar a cabo el experimento.
- Precisar la logística del experimento: número y ubicación de cámaras y grabadoras de audio, documentos imprescindibles, cantidad de colaboradores, etc.
- Establecer características del problema en que se requiera profundizar.
- Identificar inquietudes que los participantes puedan tener sobre el experimento.

4.2.2 Los participantes

Para recabar mayor información para la implementación adecuada del experimento, se trabajará principalmente con estudiantes de Licenciatura y Posgrado de la Universidad de Caldas y de la Universidad Católica de Manizales en Colombia, durante los meses de Agosto a Diciembre del 2018 y con profesionales del área de diseño.

Y con grupos de estudiantes de la Licenciatura de Diseño Industrial de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Los grupos serán divididos en equipos compuestos por mínimo cuatro personas y máximo seis.

4.2.3 Retos de diseño

Cada equipo selecciona de forma libre un reto de diseño, desarrollado como proyecto de curso, entre los siguientes:

- Sistema para cirujano: Consiste en diseñar un sistema para que un cirujano ortopedista, que acaba de quedar parapléjico, pueda seguir operando.
- Ayuda para bombero: El objetivo es ayudar a un bombero a llegar a alturas de 12m con algo ligero que pueda cargar solo, junto con su equipo regular.
- Lavar WC: Se tiene que diseñar un producto para lavar el inodoro de los hogares, que permita realizar la tarea en forma rápida y sencilla.

- Pupitre: El equipo debe proponer un diseño que sea su pupitre, mesa de estudio o, simplemente una silla según lo requiera, y que un estudiante pueda llevar consigo en medios de transporte público.
- Dispositivo para higiene bucal: Aquí deben proponer un producto que ayude al aseo bucal de los alumnos que se encuentran en el campus universitario todo el día, considerando que algunos no se sienten cómodos con los medios tradicionales de higiene.

4.2.4 Actividades para su realización.

El proceso de exploración es realizado en dos partes, la primera es con clases teóricas y la segunda es totalmente práctica.

Sesiones teóricas

La parte teórica se ejecuta en dos sesiones de hora y media cada una. Este tiempo es necesario para ponerles en contexto, de forma muy general, respecto a la metodología de diseño de productos innovadores enfocados al usuario, haciendo énfasis en las técnicas más utilizadas para la generación de conceptos de diseño.

Sesiones prácticas

Se programan tres por cada equipo, una en conjunto con todo el grupo y dos individuales, de hora y media cada una. En cada sesión se les proporciona material para que elaboren los prototipos que requieran.

En los quince minutos iniciales de la primera sesión práctica, se expone a todo el grupo la finalidad: encontrar nuevos conceptos de diseño relacionados con su proyecto. Posteriormente, se hace repaso de la teoría y se les expone la necesidad de comentar en voz audible las diferentes ideas y acciones que realicen.

Una vez dada la explicación, se les deja total libertad para que cada equipo desarrolle su trabajo, solo atendiendo las inquietudes que presenten al ir avanzando en el ejercicio, y se realizan reuniones individuales con el fin de valorar el trabajo de equipo.

En la totalidad de las sesiones, tanto teóricas como prácticas, se toman notas acerca de los comentarios que realicen los alumnos y, en general, se presta atención a todas las impresiones significativas para el diseño durante la fase experimental.

4.2.5 Resultados

Los principales resultados fueron los siguientes:

- La actividad de pensar en voz alta resulta complicada al trabajar en equipo. Al estar intercambiando ideas, los participantes perdían la idea que trataban de transmitir, ya sea por influencia de sus compañeros o por el ruido que se genera en la interacción de varios participantes.
- La estimulación y excitación por realizar la actividad fue decayendo al pasar el tiempo, debido al cansancio acumulado durante la clase teórica y por la distracción de la interacción social.
- Los retos de diseño planteados para su desarrollo fueron bien recibidos, lo cual elevó el interés por la actividad, en especial dos de ellos: ayuda al médico ortopedista y diseño de un objeto auxiliar para los estudiantes de diseño.
- Algunos equipos definieron ideas de solución en corto tiempo, lo que ocasionó que se distrajeran y no avanzaran en sus diseños.
- Surgió la inquietud de utilizar objetos de papelería para poder lograr mejores propuestas de conceptos de sus diseños.

4.2.6 Conclusiones del estudio exploratorio

Los resultados ayudaron a identificar condiciones para el desarrollo de la fase experimental:

- Es preferible que los participantes sean diseñadores de formación, profesionales vinculados a las industrias creativas o con experiencia en el diseño de productos.
- Se requiere realizar un curso teórico con duración mínima de una hora, para poner en contexto a los participantes.
- El experimento se desarrolla mejor en forma individual. En grupo aparecen dificultades para mantener el control de la actividad y se generan sesgos por la influencia de la persona que toma el liderazgo.
- La duración óptima del experimento es de dos horas como máximo. Se puede incluir un receso o proporcionar tiempo para conseguir material.
- Es conveniente proporcionar material de papelería al participante para la realización del trabajo.

- Es conveniente usar sistemas adicionales para la captura de información, ya que los participantes tienen dificultades para realizar la tarea de diseño y pensar en voz alta simultáneamente.

La más funcional de las alternativas consideradas es el sistema de MoCap, basado en varias cámaras para captura de movimientos, proporcionado por la Universidad de Caldas. El sistema de captura de video se centra en grabar las expresiones, gestos, palabras, dibujos, acciones, etc., del participante.

4.3 El método experimental: Análisis de protocolo

4.3.1 Antecedentes

El análisis de protocolo es el método seleccionado como eje de esta investigación, ya que ha sido probado en diversas investigaciones relacionadas con la ingeniería de diseño y el diseño industrial. Apareció en un principio para apoyar a las investigaciones psicológicas durante los años veinte, aunque, debido a las limitaciones tecnológicas de la época para la captura y procesamiento de datos, su uso fue limitado.

En el área de diseño, el análisis de protocolo comienza a utilizarse en los años ochenta y desde entonces se ha extendido su uso, gracias al desarrollo de herramientas que han facilitado su implementación y luego del trabajo realizado por Delf en 1994 titulado “Research in Design Thinking”, en donde el autor lo trató a detalle.

El análisis de protocolo se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas en la investigación de diseño, y a la publicación de sus resultados (Cross y Dorst, 1996) se le ha dado una sustentación teórica significativa.

4.3.2 Cómo funciona el método

El análisis de protocolo permite capturar y observar, en condiciones controladas, las interacciones del diseñador durante el proceso de diseño, lo cual tiene como resultado determinar los comportamientos y las variables que permitan analizar resultados objetivamente.

La base del método es la verbalización de las actividades cognitivas llevadas a cabo por los sujetos de estudio durante su trabajo (en este caso, los diseñadores). Esto significa que, a medida que el diseñador va realizando su proceso, expresa sus pensamientos en voz alta.

Toda forma de comunicación es registrada para su posterior análisis. De este modo, se obtiene un modelo representativo de las acciones cognitivas del diseñador, que permitirá realizar conclusiones sobre las variables de estudio.

El análisis de protocolo puede ser de dos tipos: retrospectivo, que se basa en la descripción verbal de lo que el sujeto ha desarrollado previamente; y concurrente, en que la verbalización se hace en forma simultánea con la actividad.

Asimismo, el método puede tener dos enfoques: orientado al proceso y orientado al contenido (Dorst y Dijkhuis, 1995). El primer enfoque describe el proceso de diseño en términos de una sistematización para la solución de retos de diseño; el enfoque orientado al contenido busca encontrar lo que el diseñador ve y lo que intenta hacer.

La definición de las variantes consideradas para la experimentación se expone en el apartado “Descripción del experimento”, que se encuentra más adelante.

4.3.3 Limitaciones

Si bien existe una buena aceptación del análisis de protocolo como método de investigación, se deben tener en cuenta sus limitaciones Cross y Dorst (1996).

La primera de ellas es la imposibilidad para capturar todos los procesos cognitivos del diseñador. Especialmente se debe tomar en cuenta que la verbalización constituye un elemento extraño al proceso de diseño y, por consecuencia, el método se limita a la adquisición de algunos aspectos de la actividad.

La segunda limitante es el laborioso trabajo post adquisición, que implica la identificación, codificación, representación y análisis de resultados, ya que se debe de hacer un rastreo muy minucioso del trabajo realizado y cada palabra debe ser debidamente interpretada.

Por último, los resultados son influenciados por las particularidades del experimento, ya que es imposible el control de los factores internos y externos que interactúan cuando se lleva a cabo.

Así, las resoluciones y divulgaciones que se basan en este método toman validez bajo las limitaciones que el método conlleva.

4.3.4 Descripción del experimento

En la investigación se emplea el análisis de protocolo concurrente con enfoque orientado al contenido.

El experimento consiste en proporcionar un reto de diseño, a resolver durante una sesión, dentro de un ambiente controlado.

Para lograr un correcto desarrollo del experimento, se deben tomar en cuenta las siguientes particularidades:

- El objetivo es identificar qué estimula al diseñador al proponer una idea o ideas de solución y capturar con todo detalle el proceso cognitivo que lo conduce a ellas.

- Se debe tener cuidado en la fluidez de las expresiones en voz alta de los diseñadores durante todo el proceso. Por ello, es necesario utilizar varias fuentes de captura para los eventos que se presenten, estas pueden ser: 4 videocámaras en sitio, una cámara escondida y grabadoras de sonido, que serán instaladas en puntos estratégicos del lugar para la prueba.

Las particularidades antes mencionadas, con las características primordiales del método experimental aplicado al análisis de protocolo, se pueden resumir de la siguiente manera:

Características	Detalle
Fase experimental	Análisis de protocolo concurrente
Tiempo de sesión	Dos horas
Medio de adquisición	Grabación: audio y video Dibujos y esquemas en papel Prototipos
Sujetos de estudio	Diseñadores Industriales (últimos semestres y graduados) Ingenieros (con experiencia mínima de 1 año) Participación en sesiones individuales
Variables de respuesta	Número de ideas producidas Descripción de ideas verbales y no verbales Dificultades encontradas Acciones del sujeto: gestos, manipulación de objetos, etc. Tiempo de realización de dibujos en papel y número Correspondencia entre dibujo e ideas propuestas Tiempo de realización de prototipos y número

Tabla 3 Descripción del Experimento

4.4 Preparación del experimento

El experimento requiere de tres actividades principales para su correcta preparación: fase teórica, para poner en contexto a los participantes, la definición de los retos de diseño del producto a resolver y la preparación logística.

4.4.1 Fase de teoría

En esta fase se hace alusión a la capacitación requerida para que los participantes tengan las nociones mínimas en los tópicos para diseño de productos. La mayoría de los participantes ya cuentan con experiencia en diseño y son estudiantes de los últimos semestres de las carreras de diseño industrial, diseño visual y licenciatura en tecnología e informática, así como estudiantes de posgrado en diseño, a nivel maestría y doctorado.

La capacitación teórica estara estructurada en tres etapas, para impartirse dentro de los diplomados de pensamiento de diseño y el taller de internet de las cosas, en la Universidad de Caldas Colombia . Las etapas son:

- Presentación y explicación del cómo se desarrollan nuevos productos. Aquí se incluye ideología del desarrollo de productos innovadores, design thinking, diseño centrado en el usuario y diseño sustentable. Se mostraron las características, limitaciones y elementos generales de cada metodología.
- Trabajo individual. Se les plantea un reto de diseño basado en necesidades que pueden aparecer en su ámbito más cercano, con la finalidad de que analizaran su forma de diseñar, evidenciando que se basaban en sus propias necesidades más que en las de los posibles usuarios.
- Trabajo en equipo. Se proporcionan nuevos retos de diseño para la construcción de un artefacto, ayudando a ampliar su perspectiva acerca del diseño.

Desde el comienzo del diplomado y taller, se les debe explicar que serán parte de un experimento, detallando los objetivos y la metodología a utilizar.

4.4.2 Retos de diseño

Los retos de diseño para la realización del experimento no se deben trivializar, ya que tendrán gran influencia sobre los resultados.

El tema es poco reportado. Con las investigaciones y fuentes consultadas solo se pudo encontrar en el trabajo de (Dorst, 1995), que analiza el problema utilizado en el Tecnológico de Delf con (Cross y Christiaans, 1996). Basándose en eso se establecieron las siguientes características para definir los retos de diseño.

- Práctico. La información dada viene del mundo exterior, lo que se interpreta como un problema de diseño en el cual el diseñador es protagonista y puede tomar de forma más sencilla un rol para resolverlo. Por ello, existe algo de ambigüedad en la información suministrada, tal como ocurre en el mundo real, en donde se presentan problemas abiertos o sin estructura. También se le añade presión al diseñador con un tiempo reducido para generar su desarrollo, tal como sucede en la industria.
- Desafiante. En este caso, implica que se busca la resolución de un problema de forma satisfactoria, sin hacer mejoras a un producto (es decir, creando uno nuevo). El reto se describe en forma concreta, pero la idea que genere debe ser abstracta para que el diseñador se desenvuelva en un territorio inexplorado y desafiante.
- Adecuado. Un reto de diseño característico que puede ser planteado por cualquier consultora o despacho de diseño. Los participantes no tienen experiencia de este tipo, pero sí en el trabajo de diseño, por lo que no trabajan rutinariamente si no de un modo distinto, donde entran en juego la creatividad y aptitudes del diseñador.
- Magnitud apropiada. La envergadura del reto de diseño debe permitir la generación de conceptos de solución en un tiempo adecuado. Es conveniente dar espacio para buscar referencias y comparar el problema, lo que ayuda a articular los conceptos abstractos hacia el producto. Se debe evitar que entiendan el reto de manera incorrecta (como mejora o reingeniería) lo que puede coartar la creatividad y, por ende, es necesario tener mucha claridad en lo que se pide.
- Viable. Se pide al diseñador que genere conceptos del producto, con un nivel de abstracción suficiente para servir como base en una discusión del trabajo, pero sin demasiado detalle ya que deben ser desarrollados en el tiempo del experimento.

Con base en lo antes mencionado, para el estudio exploratorio se usaron cinco retos, como muestras iniciales para valorar a los diseñadores cuando se enfrentan a un problema en equipo. A partir de los resultados obtenidos, con la participación de tres diseñadores y un antropólogo, se seleccionaron dos retos que cuentan con los criterios para ser presentados a los participantes en la sesión experimental individual.

Los retos seleccionados hacen referencia a la creación de un objeto útil para la necesidad planteada, consideran usuarios muy específicos y situaciones dinámicas. Los detalles son los siguientes:

Sistema para cirujano

Es bien sabido que un cirujano utiliza gran parte de su cuerpo al realizar operaciones quirúrgicas y que requiere movimientos complejos para aplicar distintas técnicas.

El reto consiste en diseñar un sistema para que un cirujano que ha sufrido un accidente y, como consecuencia ha quedado parapléjico (paralizado en la parte inferior del cuerpo), pueda seguir operando de la mejor forma posible.

Pupitre

A los alumnos de las carreras de diseño y arquitectura de la universidad se les deja realizar distintos trabajos durante todo el semestre. Dichos alumnos presentan los siguientes problemas: a) sus horarios de clase son mixtos (tienen clase durante todo el día), por lo que necesitan hacer tareas y trabajos en mesas especiales, b) la biblioteca de la universidad no cuenta con suficientes mesas.

Por ende, el departamento de arquitectura y diseño ha solicitado la elaboración de un diseño que actúe como pupitre, mesa de estudio o una silla simple, según se requiera, para que los estudiantes lo puedan llevar consigo a cualquier lugar, incluidos los medios de transporte público.

Todos los conceptos realizados se deben mostrar, ya sea con anotaciones o esquemas que permitan una óptima comprensión de los mismos, sin necesidad de diseño a detalle.

4.4.3 Logística del experimento

Realizar el experimento de forma adecuada requiere la preparación de distintos recursos, materiales y humanos. Para los experimentos realizados en Colombia, éstos fueron facilitados por la universidad de Caldas y el centro de ciencia Francisco José de Caldas.

Recursos materiales

- Sistema de captura de movimiento y video MoCap de 4 videocámaras activas, situadas en los cuatro puntos cardinales del espacio a utilizar.
- Computadora de alto rendimiento, equipada con el software MoCap (Arena) y software para captura de pantalla.
- Micrófono de amplio espectro.
- Laptop con acceso a internet.
- Material de papelería: papel de distintos colores, bolígrafos, tijeras, cintas adhesivas, pegamento y lápices de colores.
- Carta consentimiento y hoja de instrucciones para los participantes.

El material de papelería se pone al alcance de los diseñadores, con el fin de que elaboran bocetos o prototipos de acercamiento a la solución real del problema, para favorecer la definición de sus conceptos de solución.

La carta consentimiento y las instrucciones son importantes, aun cuando se proporcione una explicación sobre la finalidad del experimento, para obtener la firma de consentimiento de información y confidencialidad del experimento, con el fin de que los datos de los participantes estén protegidos. El formato se muestra a continuación:

Consentimiento Informado para Participantes de Investigación Doctoral: “Método para desarrollo de productos, orientado a la generación de conceptos de diseño”

El propósito de esta ficha de consentimiento es proveer a los participantes en esta investigación de una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participantes.

La presente investigación es conducida por el M.I David Ibarra González, la Universidad Autónoma del Estado de México y de la Universidad de Caldas. La meta de este estudio es identificar y cuantificar de forma objetiva las características procedimentales y protocolos que se ejecutan durante el desarrollo del proceso de diseño, en la fase de diseño conceptual. Asimismo, se busca diferenciar concordancias y desacuerdos en las acciones que ejecutan los diseñadores cuando abordan el reto de diseño. Esta comprobación permitirá conocer cuáles características son las que mayormente benefician al proceso de diseño, sustentando la estrategia que se pretende desarrollar con una buena base de resultados.

Si usted accede a participar en este estudio, se le pedirá resolver un reto de diseño y contestar una entrevista (o completar una encuesta, o lo que fuera según el caso). Esto tomará aproximadamente noventa minutos de su tiempo. Lo que suceda y lo que conversemos durante estas sesiones se grabará en video y audio, de modo que el investigador pueda transcribir después las ideas que usted haya expresado por ende se le solicita que piense en voz alta durante el transcurso del experimento.

La participación en este estudio es estrictamente voluntaria. La información que se recoja será confidencial y no se usará para ningún otro propósito fuera de los de esta investigación. Sus respuestas a la resolución del reto de diseño y a la entrevista serán codificadas usando un número de identificación y por lo tanto, serán anónimas. Una vez transcritas las entrevistas, las grabaciones digitales se destruirán.

Si tiene alguna duda sobre este proyecto, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación en él. Igualmente, puede retirarse del proyecto en cualquier momento sin que eso lo perjudique en ninguna forma. Si alguna de las preguntas durante la entrevista le parecen incómodas, tiene usted el derecho de hacérselo saber al investigador o de no responderlas.

De antemano agradecemos su participación.

Acepto participar voluntariamente en esta investigación, conducida por el M.I David Ibarra González. He sido informado (a) de que la meta de este estudio es o es reconocer cómo el diseñador aborda problemas de diseño elegidos, para tratar de identificar sus carencias y ventajas de forma global.

Me han indicado también que tendré que resolver un reto de diseño y preguntas en una entrevista, lo cual tomará aproximadamente veinte minutos.

Reconozco que la información que yo provea en el curso de esta investigación es estrictamente confidencial y no será usada para ningún otro propósito fuera de los de este estudio sin mi consentimiento. He sido informado de que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mí persona. De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar al M.I. David Ibarra González al teléfono 8781572 (+52 5533319298).

Entiendo que una copia de esta ficha de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar al M.I, David Ibarra González al teléfono anteriormente mencionado.

Nombre del Participante
(en letras de molde)

Firma del Participante

Fecha

Recursos humanos

Abarca, adicionalmente a los participantes del experimento, una persona que ayuda en la coordinación de las sesiones.

Las funciones de esta persona son: a) orientar a los participantes para evitar extravíos al interior de las instalaciones, b) auxiliar durante la sesión del experimento, en caso de ser requerido, por lo que debe conocer a detalle las características.

Preparación y programación del experimento

De forma general, se definieron las siguientes actividades para la realización del experimento:

- 1.- Preparación del material de captura: Configuración del sistema de cámaras MoCap, instalación de micrófono y de laptop, colocación de papelería en mesa de trabajo.
- 2.- Entrega de la carta consentimiento e instrucciones al participante, para su firma.
- 3.- Descripción de los retos de diseño, mediante una presentación de power point, alojada en la laptop de la mesa de trabajo.
- 4.- Inicio de la sesión.
- 5.- A la mitad de la sesión se le pregunta al participante si quiere tener un receso (de 15 minutos). En caso negativo se continua con la sesión.
- 6.- Concluido el tiempo total (60 minutos), se pide al participante una descripción de los resultados obtenidos.
- 7.- Se transfieren las grabaciones de video y audio, captadas por el sistema MoCap, al disco duro de la computadora de alto rendimiento.

4.5 Información obtenida durante el experimento.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos del tipo de información fue recopilada en las sesiones experimentales.

Principalmente se obtuvieron dos tipos, en función de la fuente:

- 1) Evidencia digital del proceso

Video

Los video captados por el MoCap capturaron la forma en que se manipula el material a disposición, los tiempos de búsqueda con la laptop, tiempos y secuencias en la realización de esquemas y todos los movimientos generados por cada participante, así como las expresiones y gesticulación.

Audio

A través del audio compilado por el MoCap, quedó registrada la voz de los participantes. Con esto, es posible dar seguimiento al razonamiento de cada participante mediante sus explicaciones en voz alta y complementar el énfasis en las expresiones mediante el tono de voz.

La información digital se analizó para establecer las secuencias y los tiempos de las acciones



Figura 3 Espacio para el experimento

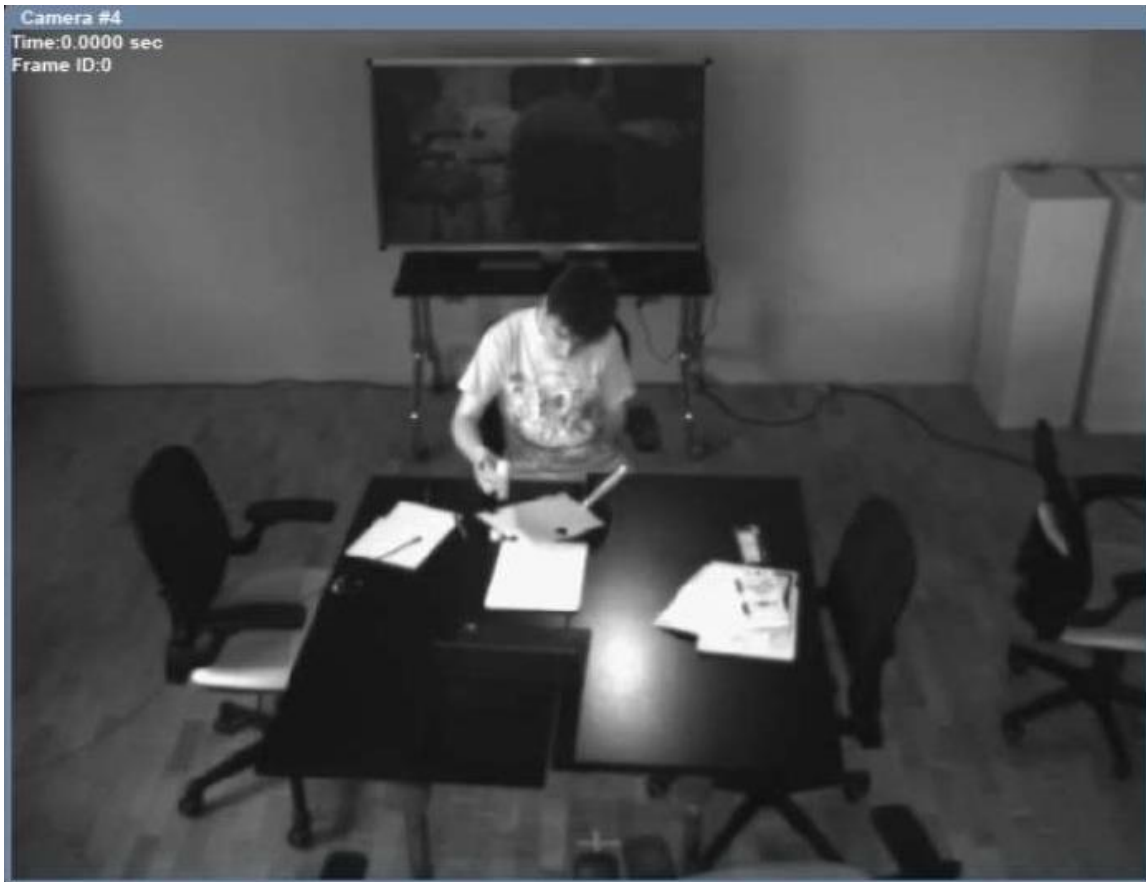


Figura 4 Material físico de apoyo

Los esquemas, anotaciones y prototipos generados durante las sesiones para poder transmitir conceptos de forma más clara.

Para dar contexto y certeza a cada material, se estudió la secuencia que seguían para su ejecución y el tiempo que tardaron en realizarlo, asociándolos al video de cada proceso.

Con esto fue posible generar un registro detallado de los procesos realizados por los participantes y tener claro el protocolo de diseño que desarrollaban.

La información recaba es una buena fuente de datos sobre esta etapa del diseño y posibilita llegar a conclusiones objetivas sobre la toma de decisiones en el diseño de productos.

4.5 Conclusiones

En el capítulo se describió la fase experimental llevada a cabo como parte de esta investigación, la cual quedó conformada por dos etapas:

Estudio exploratorio

Permitió definir las condiciones, materiales y requerimientos logísticos para el experimento final, a partir de los cuales se detalló el diseño del experimento y se precisaron las variables requeridas para poder realizar un análisis cuantitativo que conduzca a conclusiones válidas y objetivas.

Dentro de los resultados de esta etapa, se puede destacar que, gracias a la nueva tecnología de captura de movimiento (en este caso conformada por el sistema MoCap, que incluye gran número de cámaras) se puede obtener información confiable para utilizar el análisis de protocolo -al inducir menores distractores o interferencia sobre los sujetos observados- y generar procesos más apegados a la realidad.

Sesiones experimentales

En esta parte del capítulo se describe la información generada por los participantes durante las sesiones de diseño: video, dibujos y prototipos realizados.

Todo esto se procesó de forma digital para estudiar su sincronización en el tiempo, lo que permitió estructurar en qué momento se realizaron gesticulaciones, palabras, acciones, ideas y esquemas para cada participante del experimento. Esto evidencia los procesos cognitivos que tienen lugar durante el diseño y que sería muy difícil apreciar de otra manera.

Capítulo 5: Análisis de la fase experimental

Introducción

El capítulo anterior se describió a detalle el diseño y la realización del experimento, lo que tuvo como objetivo identificar los procedimientos que se ejecutan en la etapa de diseño conceptual de productos.

El paso siguiente consiste en mostrar los resultados obtenidos, para después analizarlos objetivamente, lo cual será posible con una adecuada representación de la información recabada. Como se presentó en el capítulo anterior, la debilidad del análisis de protocolo como medio experimental es que el procesamiento de la información recabada es difícil, por lo que el uso de nuevas tecnologías resulta fundamental.

En este capítulo se presenta la valoración de los procesos desarrollados con el fin de dar una interpretación de los resultados obtenidos durante el experimento.

5.1 Representar el proceso de diseño

Se puede decir que el análisis de protocolo se ha convertido en las últimas décadas en el instrumento más representativo de la investigación de diseño. Como se ha mencionado, no se ha formalizado aún de una manera estándar para su análisis, no por falta de material realizado, sino por los distintos enfoques que se le ha dado a los estudios hechos con este método, lo que da como consecuencia estructuras metodológicas diferentes.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, para su representación, Cross (1999) nos dice que existen la manera prescriptiva y descriptiva para representar el proceso de diseño, hay autores que mencionan el método cognitivo como Rasmussen, Pejtersen (1995); y modelos que representan al diseño como una secuencia de fases, como son los de Pugh (1990) y Cross (1999). Estos modelos han sido criticados por su rigidez teórica, ya que se dice que en la práctica el diseño no sigue secuencias definidas, sino que es un conjunto de interacciones entre los diseñadores y el entorno donde se desenvuelven, lo cual es difícil de predecir (Rasmussen (1995)).

Pese a que se tienen estas diferencias, existen elementos comunes entre los distintos modelos, en especial en la etapa primigenia de generación de soluciones, donde la toma de decisiones es la base para llegar a un desarrollo exitoso de cualquier producto. Para fines del presente trabajo, esta etapa será llamada “conceptualización del diseño”, siendo el periodo en que los diseñadores crean soluciones y las evalúan hasta llegar a una solución viable, pero sin cerrarse a posibles modificaciones a lo largo del desarrollo.

En esta etapa las opciones de solución son de carácter abstracto y solo representan de forma general la resolución al reto de diseño, pero sin dejar a un lado las solicitudes iniciales de las necesidades que se busca satisfacer. El fin es realizar exploraciones para poder decidir qué opción es más factible desarrollar.

A continuación, se presentan dos modelos de conceptualización para los estudios de diseño, con la finalidad de tener argumentos en la selección de las estructuras e interacciones que suceden durante el desarrollo del diseño.

5.1.1 Necesidad-función-principio-sistema

Este modelo es propuesto por Chen, Zhao, Youbai (2015), representando la etapa de conceptualización en cuatro elementos: necesidad-función-principio-sistema. En este modelo se dice que el diseño conceptual se erige uniendo elementos del mundo físico -los conceptos de: objeto, sistema, estado, comportamiento, acción y estructura- mediante la intención y la mente del diseñador, la cual tiene abstracciones de distintos objetos relacionados con el reto de diseño. En la parte media se encuentran los conceptos de funcionalidad, tipos de acciones, comportamientos y principios.

Se dice que el proceso de diseño conceptual no se centra en el mundo físico sino en modelos que lo representan como son los objetos, los comportamientos y las acciones. Por ende, la conceptualización sería el puente entre el mundo de la abstracción y el mundo de los objetos. El proceso inicia con una necesidad, se transforma en una función, después en un principio abstracto, pasa a ser un semi-objetivo y finaliza en el mundo físico como un sistema.

5.1.2 Evolución funcional

El proceso de evolución funcional (Umeda, Takeda, Tomiyama (1991)) consiste en interacciones evolutivas de cuatro componentes, de los que se conforma el proceso de diseño: funciones, modificaciones funcionales, estructuras y comportamiento.

Las funciones son el elemento medular del modelo, representan la razón del objeto a diseñar y tiene tres papeles importantes: ser un medio interpretativo para obtener las necesidades y la forma de desarrollo del diseño, definir el punto de unión entre necesidades y objetos, así como evaluar la utilidad del diseño.

Al referirnos a los modificadores funcionales decimos que son los que caracterizan la función, dando criterios de valor a las funciones.

Las estructuras son descripciones de las posibles soluciones, se puede decir que son resultado del proceso de diseño. En otras palabras, las funciones son el objetivo buscado y la estructura su solución.

Por último, el comportamiento realiza la descripción de las posibles soluciones, es decir, de la estructura dada y su evolución.

Como dice el autor (Mulet, 2005), el proceso de diseño se manifiesta como la forma en que se pasa de un objetivo (función o funciones) a la solución (estructura) por medio de un comportamiento.

Este modelo, por sus características de complejidad, sustenta que la interacción de los elementos antes descritos se construye mediante el proceso de diseño, lo que da una evolución de los mismos y en especial para las funciones, que definen sus correspondencias en tres clases: relación de causalidad (donde una función es causada por otra), descomposición (las cuales dan origen a subfunciones) y reforzamiento (se definen funciones para que realicen otra función).

Aplicar este modelo nos permite observar las correspondencias entre los elementos que conforman el proceso de diseño y su evolución durante el desarrollo. Para hacerlo, se necesita identificar los elementos antes mencionados, y es donde el análisis de protocolo ayuda a obtener la información lingüística de la totalidad del proceso.

De esta forma, las funciones se identificarán mediante verbos (las acciones que realiza el diseñador), los modificadores serán los adjetivos calificativos de dichas acciones y las estructuras serán los objetos o sustantivos. Es claro decir que la totalidad de la información no es generada por el lenguaje verbal, también aparece mediante gestos y dibujos.

Este modelo históricamente se ha utilizado para analizar el proceso de diseño con especificaciones iniciales, encontrando inconvenientes con la representación del proceso que, dependiendo de su evolución, se torna demasiado complejo para su entendimiento. No obstante, al ser un modelo descriptivo nos ayuda a entender de mejor manera cómo se desenvuelve el diseño.

5.1.3 Decisiones en el diseño

La toma de decisiones en cualquier actividad humana es compleja y en el diseño por experiencia, lo es más debido a las retroalimentaciones que se tienen durante el proceso. Antes de entrar en su estudio, es importante tener un contexto referente a la toma de decisiones.

Empecemos por definirla. Se podría decir, de manera muy simplificada, que consiste en seleccionar una opción dentro de muchas posibles. Los autores (Hatamura 2006) y (López 2007) identificaron tres niveles de decisión: las de selección simple (entre un conjunto de opciones se elige solo una), tomar o dejar (aquí solo hay una para seleccionar) y la decisión con estructura (aquí existen varios caminos con múltiples posibilidades, se selecciona una opción de cada camino lo que da una estructura en la decisión tomada).

El proceso mental que se construye para tomar una decisión se basa en realizar estructuras de trabajo que permiten jerarquizar las opciones, rehacerlas y calificarlas con distintos criterios, ya sean intuitivos o subjetivos, con el fin de llegar a una conclusión que también es calificada y, si no es satisfactoria, se retorna a la estructura para reevaluar otras posibilidades. Hatamura(2006) indica que durante el proceso de toma de decisiones el cerebro trabaja en buscar posibles soluciones ya sean complejas o cambiantes.

Hay que mencionar que existe un fuerte interés por modelar el proceso de toma de decisiones, aunque las bases teóricas aún están en desarrollo. Por eso que es importante generar investigaciones relacionadas con el estudio de toma de decisiones, que tengan como objetivo generar conocimiento sobre técnicas y estrategias que ayuden a los diseñadores en la fase de conceptualización.

Para llevar a cabo un estudio formal de la toma de decisiones, se abordan como parte de esta investigación los procesos de decisión que realizan los diseñadores al diseñar productos, con la finalidad de reconocer qué variables e interacciones forman parte de sus elecciones. La intención es identificar estrategias, métodos y estrategias cuyo fin sea facilitar el proceso de diseño en la etapa de conceptualización de productos.

Según los análisis realizados en el presente estudio, se ha observado que las decisiones se toman ya sea por el nivel de conocimiento o experiencias previas que tengan los diseñadores, la personalidad y la intuición particular. Esto tiene serias repercusiones, no solo en los resultados finales obtenidos, sino también en la motivación y entusiasmo del diseñador.

5.2 Manejo de los datos experimentales

En este apartado se muestran las etapas del manejo de los datos experimentales, suministrados por los análisis de protocolo captados durante cada una de las 33 sesiones experimentales.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los datos que se recolectaron provienen de las siguientes fuentes: video, audio y dibujos de los sujetos de estudio, esta información es la materia prima que se procesa para los análisis que se requieran. El manejo de los datos se realiza de la siguiente forma:

5.2.1 Uniformar las fuentes de información por medio de herramientas informáticas.

Como la información obtenida proveniente de distintos medios, como primer paso se requiere uniformarla, de tal manera que sea posible tener el mismo rango de tiempo para todos los medios. Los medios referidos son el video captado por el MoCap y el audio de la sesión los cuales serán procesados por medios informáticos haciendo que cada momento del proceso sea revisado con ayuda de un software de Inteligencia Artificial (AWS y Google) que permite la sobreposición de los medios para el estudio de cada intervalo. Esto se realiza mediante la captura de audio y video en forma paralela la cual es interpretada por los algoritmos de inteligencia artificial con el fin de darle orden a lo observado plasmándolo como texto.

5.2.2 Interpretación del análisis de protocolo

Para traducir el análisis de protocolo fue utilizado un listado de datos, realizado específicamente para identificar acciones, operaciones y decisiones (llamados actos) que tienen lugar durante el proceso de diseño, los cuales transformaron la situación del diseño con respecto a la generada con anterioridad en forma secuencial.

La información traducida de cada acto de diseño extraído se muestra a continuación:

-Explicación: Se detallan los actos que se realizan.

-Tiempo: Se muestra en segundos y minutos lo que ocurre con los actos.

-Categorización de actos: Se dispusieron una serie de categorías con la intención de identificar los actos desarrollados durante la sesión experimental, para realizar su procesamiento con mayor facilidad:

ACTOS EN EL PROCESO

Revisión de problema planteado.

Uso de información “externa” durante el proceso

Descripción verbal de ideas.

Descripción gráfica de ideas (bocetos).

Preguntas para comprender el problema.

Respuesta a preguntas de aclaración.

Comentarios

Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones.

Propuesta de solución.

Aplicación de solución (construcción de prototipo).

Posteriormente, se genera una Tabla (tabla 4) con la totalidad de los datos recabados de las sesiones experimentales, determinando qué tipo de acto se realizaba, en qué momento, cuánto tiempo se dedicó y que resultado se obtuvo.

	RPP	UIE	DVI	DGI	PCP	RPA	CC	EEP	CP
1	4.5	11.6	11.1	16	5.5	3.6	7.4	3.6	35.3
2	4.2	15.5	12.4	14.3	4.8	4.2	6.7	5.4	30.4
3	7.9	14.8	9.1	11.6	7.9	4.8	6	6	28.5
4	3	18.4	12.6	12.1	7.3	5.4	6.9	6.7	23.1
5	4.2	15.2	11.5	12.8	4.2	4.8	8.5	5.4	26.8
6	2.4	17.9	14.5	18.5	6.4	3	5.4	4.5	25.3
7	3.2	16	10.5	16.8	5.5	4.2	8.5	4	29.5
8	3.9	17.2	11.6	14.2	6.6	4.5	6	3.2	29.9
9	4.4	14.3	9.9	15	3.4	3.2	7.2	7.2	33.4
10	4.7	13.5	12.6	17.8	6.3	4.1	6.3	3.2	30.3
11	5.5	14.3	13.6	16.2	6	2.3	5.6	2.6	25.6
12	3.6	20.6	13.6	14.5	6.8	3.6	6.8	3.4	26.8
13	3.7	13.8	11.6	14.3	6.5	3.5	6.9	4.2	33.8
14	5.4	13.5	14	17.4	3.2	3.4	6.4	4.6	22.3
15	4.6	13.2	11.3	17.3	5.3	4.5	6	5	25.6
16	4.1	19.6	10	16.8	6.3	4.3	7.2	2.2	25.8
17	6	16.8	11.6	13.2	4.7	3.7	5.8	3.8	34.2
18	7.5	17.2	11.8	14.7	5	2.2	4.2	3.6	32.4

19	6.7	11.1	12.6	15	7.8	3.6	5.6	3.2	33.6
20	6.3	16.3	13	14.6	5.2	3.1	5.7	3	30.6
21	4.4	15.4	14.2	13	5.6	3.1	6.4	2.2	29.4
22	5.8	16.8	9.6	13.5	6.1	4.6	6.8	4.5	28.6
23	4.8	17.7	9	12.6	6.8	2.6	8.4	3.8	27.4
24	4.4	17.8	12.5	11.4	5	4.7	8	5.6	27.2
25	3.3	17.4	11	17.2	6.3	3.3	7.2	4.2	28
26	2.3	18.3	10.6	16.3	4.2	3	6.3	4.7	29
27	6.9	15.5	9.4	16.2	4.8	3.4	6.2	4.3	32.1
28	3.4	12	15	16.7	6.2	2.6	5.6	3.3	33.4
29	3.6	13.6	11.5	16	5.6	3.5	7.4	2.8	34
30	4.5	11.3	11	17.2	5.7	2.7	7	4.6	33.4
31	3.2	14.4	12.6	14.2	6.9	5.5	5.3	4.2	32.6
32	3.6	15.6	13.6	17.1	7.1	5.1	8.6	3.3	22
33	4.1	13.7	14.5	16.7	7.5	4.8	8	6.4	21.4

Tabla 4 Información obtenida del experimento.

5.3 Información obtenida de la interpretación

Los datos de la Tabla 4 proporciona los siguientes resultados:

Variables representativas y comportamientos para toma de decisiones: La codificación de los datos ayuda a procesar el conjunto de variables y comportamientos encontrados, para comprender la dinámica del proceso de toma de decisiones e identificar posibles estrategias y metodologías que facilitan del desarrollo de productos en la fase de conceptualización.

Tiempo dedicado: Las acciones durante el proceso de diseño se codificaron como se muestra en la Tabla 4 de “actos en el proceso”. Cada registro en tabla tiene su tiempo de realización, parámetro que facilita el determinar qué acciones fueron ejecutadas por los sujetos de estudio y en qué momento. Al procesar estos datos se posibilita la comparación y la creación de estadísticas.

5.4 Interrelaciones en el proceso de diseño

Resulta poco práctico implementar el proceso de evolución funcional en el diseño, (Takeda, Tomiyama (1991)), por lo que se eligió el *modelo de redes bayesianas*, aplicado en las variables representativas encontradas por medio de la experimentación.

Esto permite la caracterización de la toma de decisiones e identificación de relaciones que se construyen durante el proceso de diseño, mostrando la evolución probabilística del mismo y ayudando a establecer interrelaciones entre las distintas acciones que tienen lugar durante el proceso, para poder expresar todo el conjunto de relaciones en forma esquemática.

5.8 Construcción de la red bayesiana del proceso de conceptualización de diseño

Como se vio en el Anexo 1, las redes bayesianas son una buena herramienta de modelado estadístico cuyo fin es representar a un grupo de incertidumbres relacionadas. Su configuración, plasmada en un gráfico, y sus principios probabilísticos hacen que sean adecuadas para trabajar con sistemas de variables múltiples orientados a la toma de decisiones.

La siguiente parte de esta investigación evalúa y corrobora la gráfica del modelo de red bayesiana, donde se encuentran sus parámetros, se observa el impacto de las variables observadas y se evalúa su ajuste probabilístico utilizando el software UNINET (**LightTwist Software**), creado por el departamento de matemáticas del tecnológico de Delft en Países Bajos para describir el proceso de diseño de productos en la fase de conceptualización.

5.8.1 Construcción Cualitativa

Para construir la red desde la parte cualitativa, es necesario definir las variables y su relación con el fin de cuantificarlas. En este caso, la observación de las variables a incorporar en el modelo fue realizada por medio del análisis de protocolo, mencionado en el capítulo anterior. Para empezar la representación de la red bayesiana se necesita establecer qué tipo de variables incluirá este modelo.

Variables primordiales

Son de las que se tiene información proveniente del experimento y base para toda la red. Se ramifican en las *variables de entorno*, que están antes de que ocurra el problema y pueden tener causales en las variables hijas.

Variables hijas

Son de gran interés, ya que su valor de probabilidad se obtiene dependiendo de las variables primordiales, por lo que regularmente no se puede observar. El resultado de estas variables puede proporcionar predicciones o decisiones.

Variables efecto

Éstas se pueden presentar como consecuencia de las variables de entorno y de las variables hijas.

Variables intermedias

Tienen una función importante, ya que ayudan a determinar de manera correcta las dependencias e independencias de las variables primordiales, hijas y de efecto de toda la red.

Una vez definidas las variables, se proponen las relaciones. En este caso, se parte como base del juicio de expertos y estudios previos, que generaran una estructura gráfica a partir de una base de datos de los promedios de tiempos realizados para cada acción de diseño (Tabla 4). El trabajo de Shenoy (2004) describe como construir, bajo un enfoque causal, redes bayesianas cumpliendo lo siguiente: Las variables de entorno tienen gran influencia en las variables efecto y en las hijas, las variables hijas tienen gran impacto en la variable efecto, si existen variables intermedias serán más influenciadas por las variables hijas y las de entorno.

Los enfoques para realizar la estructura de la red bayesiana, son los siguientes: si ya se conoce la red con anticipación o los datos se obtienen por inferencias en el entrenamiento de la red y si las variables que intervienen en dicha red son o no observables.

En esta investigación se aplican ambos enfoques, ya que se tiene conocimiento previo de cómo se realiza el proceso de diseño y se obtuvieron datos experimentales de importancia aplicativa.

Desde el primer enfoque, se utiliza el conocimiento del proceso de diseño aplicado en la teoría:



Figura 5 Proceso de diseño teórico.

Respecto al segundo enfoque, se tienen las siguientes variables obtenidas por medios experimentales:

Variables (Nodos) Finales

- Revisión de problema planteado. (RPP)**
- Uso de información "externa" durante el proceso. (UIE)**
- Descripción verbal de ideas. (DVI)**
- Descripción gráfica de ideas (bocetos). (DGI)**
- Preguntas para comprender el problema. (PCP)**
- Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA)**
- Comentarios. (CC)**
- Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones. (EEP)**
- Propuesta de solución. (PS)**
- Aplicación de solución (construcción de prototipo). (CP)**

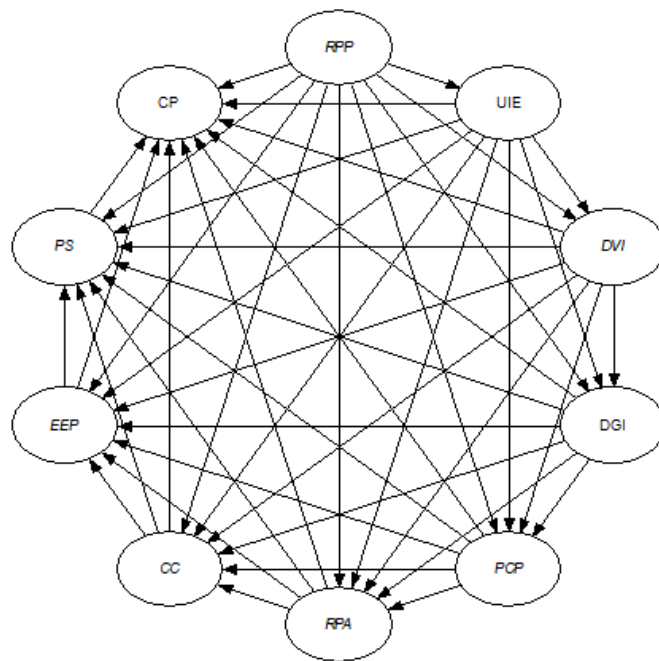


Figura 6 Red con las variables finales, elaboración propia (Software UNINET)

La configuración de la red resultante está dada como una interacción entre todas las variables presentadas durante el proceso de diseño, las cuales se relacionan entre sí en su totalidad ya que en el experimento no se encontró un orden cronológico de aplicación.

5.8.2 Construcción Cuantitativa

Nodos

Para evaluar la parte cualitativa de la red bayesiana se calculan los 10 nodos esquematizados en el punto anterior. La configuración de la red depende de las estimaciones probabilísticas y la interacción entre ellas; por lo que, si el nodo no tiene antecesoros se estima una probabilidad no condicionada, en el caso que el nodo tenga padre la estimación de la probabilidad es condicionada a ese nodo sobre todos sus posibles estados. Para entender los estados, se dice que son las distribuciones de probabilidad en distintos intervalos de la variable, a esto se le llama discretizar.

Lo anterior significa que se necesita compilar la red bayesiana. Este proceso consiste en generar la distribución de probabilidades que van ligadas a cada una de las variables mediante el teorema de probabilidad total (el cálculo de probabilidad condicional es realizado dentro del software UNINET).

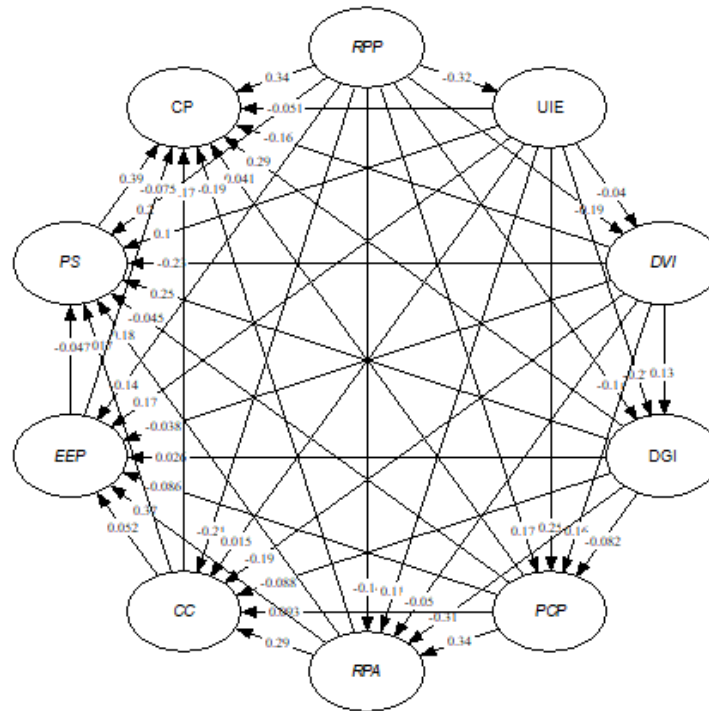
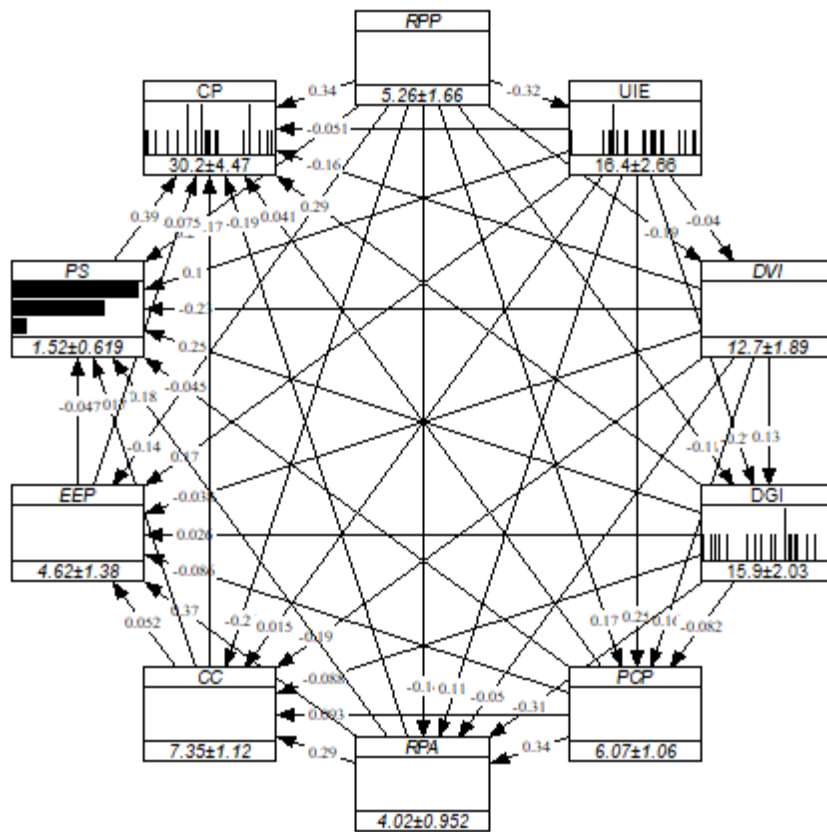


Figura 7 Red bayesiana con probabilidades.

Se puede observar en la ilustración de arriba la red bayesiana con sus respectivos cálculos de probabilidad condicional. De igual forma se muestran las probabilidades condicionadas y sus histogramas.



Bayes Net Rank Correlation Matrix of the Bayes Net

	RPP	UIE	DVI	DGI	PCP	RPA	CC	EEP	PS	CP
RPP	1	-0.318	-0.192	-0.112	0.167	-0.144	-0.208	-0.136	0.197	0.339
UIE	-0.318	1	0.027	-0.212	0.174	0.152	0.0824	0.204	0.0302	-0.158
DVI	-0.192	0.027	1	0.159	0.102	-0.0233	-0.145	-0.0158	-0.26	-0.21
DGI	-0.112	-0.212	0.159	1	-0.139	-0.309	-0.0842	-0.0118	0.145	0.203
PCP	0.167	0.174	0.102	-0.139	1	0.315	0.0271	-0.0671	-0.0313	-0.0311
RPA	-0.144	0.152	-0.0233	-0.309	0.315	1	0.334	0.321	0.0454	-0.292
CC	-0.208	0.0824	-0.145	-0.0842	0.0271	0.334	1	0.174	0.038	0.0125
EEP	-0.136	0.204	-0.0158	-0.0118	-0.0671	0.321	0.174	1	0.0331	-0.154
PS	0.197	0.0302	-0.26	0.145	-0.0313	0.0454	0.038	0.0331	1	0.441
CP	0.339	-0.158	-0.21	0.203	-0.0311	-0.292	0.0125	-0.154	0.441	1

Figura 8 Cálculo de probabilidades de la Red Bayesiana

5.9 Validación de la red bayesiana

En la actualidad existen muchos programas computacionales para crear y analizar redes bayesianas, algunos han sido creados en específico para solucionar redes bayesianas como el Hugin (Hugin Expert) ,el GeNIe (Bayesfusion) o el UNINET (LightTwist Software). **Otros programas fueron creados basándose en plataformas ya existentes (Matlab o R) y son complementos de las mismas.** En esta investigación se emplea UNINET, licencia académica para el sistema operativo Windows, que se puede descargar desde la página web de LightTwist (<http://www.lighttwist.net/wp/uninet-download-page>).

Cabe mencionar no se utiliza ningún procedimiento automático de generación de redes bayesianas con las que cuenta. La creación de la estructura y la estimación de la información se realiza manualmente, en función de la base de datos resultante del experimento llevado a cabo para la obtención de información.

Tomando en cuenta los puntos anteriores y antes de analizar la red bayesiana, es pertinente aclarar que la conformación de la red se lleva a cabo mediante el grafico, las variables, la estructura y las probabilidades condicionales mencionadas en el apartado anterior, donde se compilo el modelo y se obtuvieron las distribuciones de probabilidad para cada variable.

Las redes bayesianas ayudan a la toma de decisiones con dos aspectos específicos:

- Diagnostican. Cuando se les da información a los nodos de la red, de los cuales necesitamos conocer su probabilidad, ayudan a determinar las causales de las variables de dichos estados, por medio del teorema de Bayes.
- Pronostican. Cuando se le da información se puede predecir la variable hija, aplicando internamente en la red el teorema de la probabilidad total. Si proporcionamos información concreta de probabilidad en cierta variable, se asume con cierta certeza el estado de la variable.

Con la red bayesiana ya creada tenemos la facultad de evaluar su comportamiento con el conjunto de variables obtenidas durante el experimento, a fin de realizar una predicción de las acciones cruciales que realizan los diseñadores durante el proceso de diseño mediante inferencias bayesianas. Específicamente, se busca analizar cómo las inferencias bayesianas ayudan al proceso

de toma de decisiones del proceso investigado, algo que no ha sido abordado en la teoría de redes bayesianas, y precisar de manera objetiva la estabilidad de la probabilidad condicional resultante mediante las ecuaciones estructurales finales.

5.9.1 Inferencia bayesiana

El fin de la inferencia bayesiana es obtener resoluciones a partir de suposiciones que permiten hacer predicciones, con base en las probabilidades de la información que se tiene. Este razonamiento ofrece una aproximación de la red bayesiana como se muestra en la figura 8.

Obtenidas por distribuciones probabilísticas, las decisiones óptimas se pueden razonar siguiendo esas distribuciones, en conjunto con los datos obtenidos de forma experimental, proporcionándonos certidumbre cuantitativa del modelo estudiado.

La solución planteada infiere en los valores observados del experimento, para obtener las distribuciones hacia cada variable de la red, lo que proporciona la probabilidad de cada una como resultado de la interacción de todas.

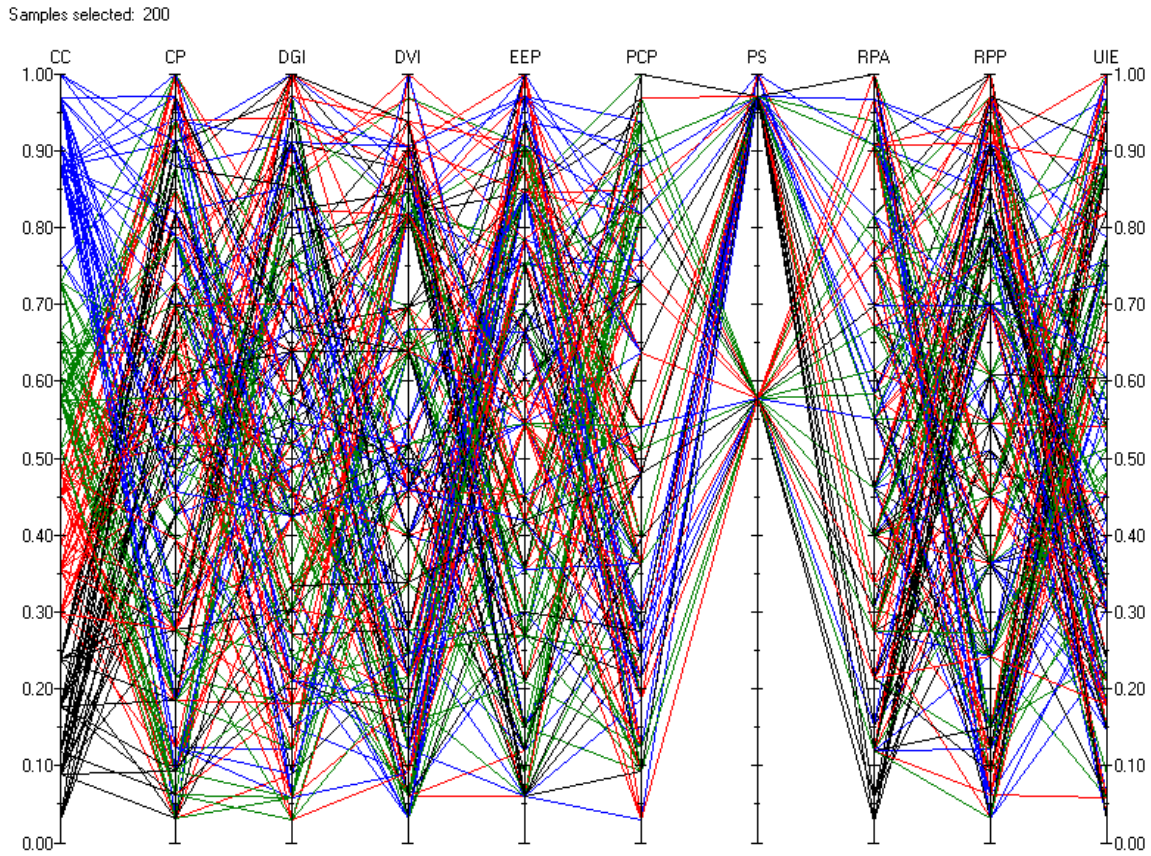


Figura 9 Valor de todas las probabilidades e interacción entre ellas

5.9.2 Ecuaciones estructurales

La finalidad de utilizar técnicas de análisis multivariable es aumentar la capacidad aclaratoria de las variables examinadas. Modelar las ecuaciones estructurales ayuda, ya que se toman en cuenta variables reconocibles y no reconocibles que intervienen en la totalidad de la red.

Al obtener las probabilidades condicionales, y en conjunto con la deducción de sus respectivas ecuaciones estructurales, se obtienen argumentos para analizar el comportamiento del diseñador durante el proceso de diseño.

A continuación, se explican los conceptos básicos de las ecuaciones estructurales, a fin de dar contexto para los resultados obtenidos.

Como se ha visto, en el campo de investigación en diseño y especialmente en las primeras fases del diseño se presentan cuestiones como: ¿Cuántos pasos o acciones son necesarios para generar un buen concepto de diseño? ¿Cuál de estas acciones aporta más al proceso? ¿Cómo se encuentran relacionadas las acciones del proceso para llegar a un buen concepto?

Responder lo anterior es difícil si consideramos técnicas sencillas de multivariadas como la regresión múltiple, o estudios del discriminante, ya que estas técnicas estudian una sola relación a la vez y lo que se necesita para este tipo de preguntas es estudiar las interacciones entre variables o, en este caso, acciones.

La técnica de ecuaciones estructurales es una propagación de las técnicas más sencillas. Con la red bayesiana funciona tomando una variable aleatoria de la muestra que tenemos y aplicando una inferencia para calcular la probabilidad condicional de la información disponible. Este proceso es realizado varias veces, por lo que se hace el cómputo mediante el uso de software (UNINET).

Para obtener una ecuación consistente se realizan miles de iteraciones, cuyo resultado aproxima la media, la varianza y la mediana, teniendo así una función condicional que describe de la mejor manera posible el comportamiento probabilístico.

5.9.3 Resultados de la red bayesiana

Se presentan los resultados, mostrando la gráfica de probabilidades, para las variables de mayor probabilidad condicional y su ecuación estructural.

Para analizar las probabilidades se observa la matriz, donde se conjuntan la totalidad de ellas, y se seleccionan las más altas. Esas probabilidades condicionales son claves para entender el proceso de diseño y realizar su respectivo análisis.

Bayes Net Rank Correlation Matrix of the Bayes Net

	RPP	UIE	DVI	DGI	PCP	RPA	CC	EEP	PS	CP
RPP	1	-0.318	-0.192	-0.112	0.167	-0.144	-0.208	-0.136	0.197	0.339
UIE	-0.318	1	0.027	-0.212	0.174	0.152	0.0824	0.204	0.0302	-0.158
DVI	-0.192	0.027	1	0.159	0.102	-0.0233	-0.145	-0.0158	-0.26	-0.21
DGI	-0.112	-0.212	0.159	1	-0.139	-0.309	-0.0842	-0.0118	0.145	0.203
PCP	0.167	0.174	0.102	-0.139	1	0.315	0.0271	-0.0671	-0.0313	-0.0311
RPA	-0.144	0.152	-0.0233	-0.309	0.315	1	0.334	0.321	0.0454	-0.292
CC	-0.208	0.0824	-0.145	-0.0842	0.0271	0.334	1	0.174	0.038	0.0125
EEP	-0.136	0.204	-0.0158	-0.0118	-0.0671	0.321	0.174	1	0.0331	-0.154
PS	0.197	0.0302	-0.26	0.145	-0.0313	0.0454	0.038	0.0331	1	0.441
CP	0.339	-0.158	-0.21	0.203	-0.0311	-0.292	0.0125	-0.154	0.441	1

Figura 10 Matriz de probabilidades

Probabilidades clave:

Variables (Nodos) Finales

Revisión de problema planteado. (RPP)

Uso de información "externa" durante el proceso. (UIE)

Descripción verbal de ideas. (DVI)

Descripción gráfica de ideas (bocetos). (DGI)

Preguntas para comprender el problema. (PCP)

Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA)

Comentarios. (CC)

Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones. (EEP)

Propuesta de solución. (PS)

Aplicación de solución (construcción de prototipo). (CP)

$$RPP \rightleftharpoons CP = 0.339$$

$$PCP \rightleftharpoons RPA = 0.315$$

$$UIE \rightleftharpoons RPP = 0.318$$

$$RPA \rightleftharpoons DGI = 0.309$$

$$RPA \rightleftharpoons CC = 0.334$$

$$EEP \rightleftharpoons RPA = 0.321$$

$$EEP \rightleftharpoons PS = 0.331$$

$$PS \rightleftharpoons CP = 0.441$$

5.9.3.1 Análisis de RPP ⇌ CP

Revisión de problema planteado. (RPP)

Aplicación de solución (construcción de prototipo). (CP)

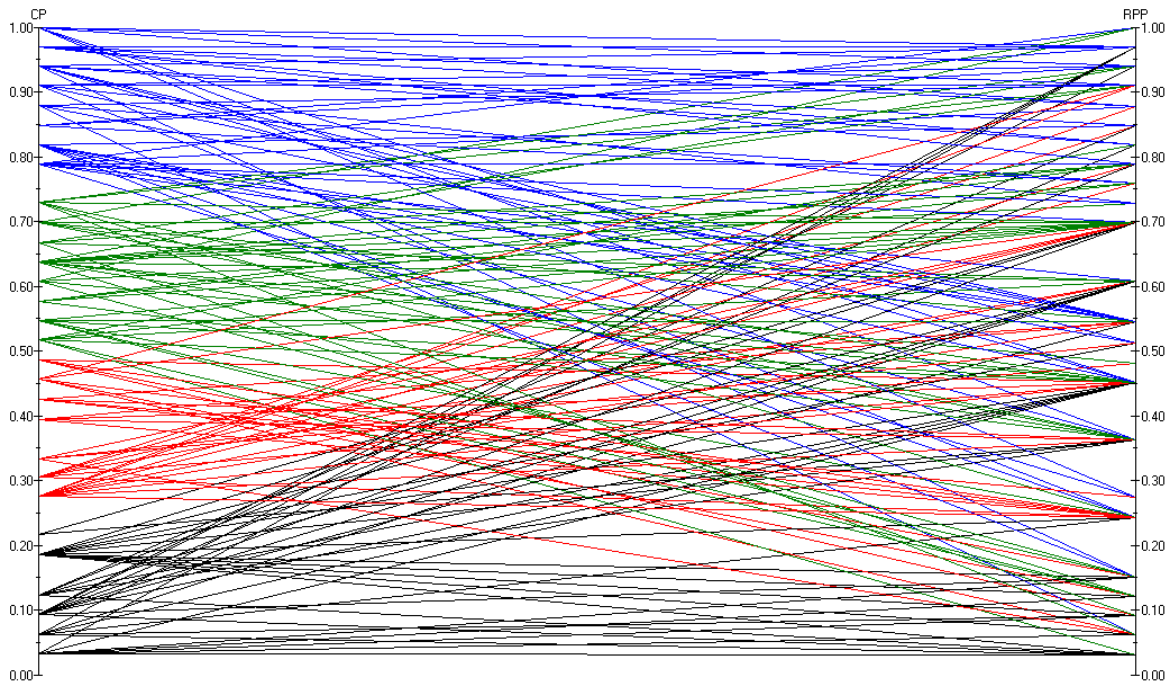


Figura 11 Probabilidades RPP ⇌ CP

La gráfica muestra la relación de probabilidades entre las dos acciones (color azul). Se observa que a mayor probabilidad de que suceda el evento (revisión de problema) el segundo evento (construcción de prototipo) aparecerá con certeza. Esto significa que: si hay tiempo suficiente para la revisión del problema planteado el tiempo de construcción de prototipo será más rápido y eficiente.

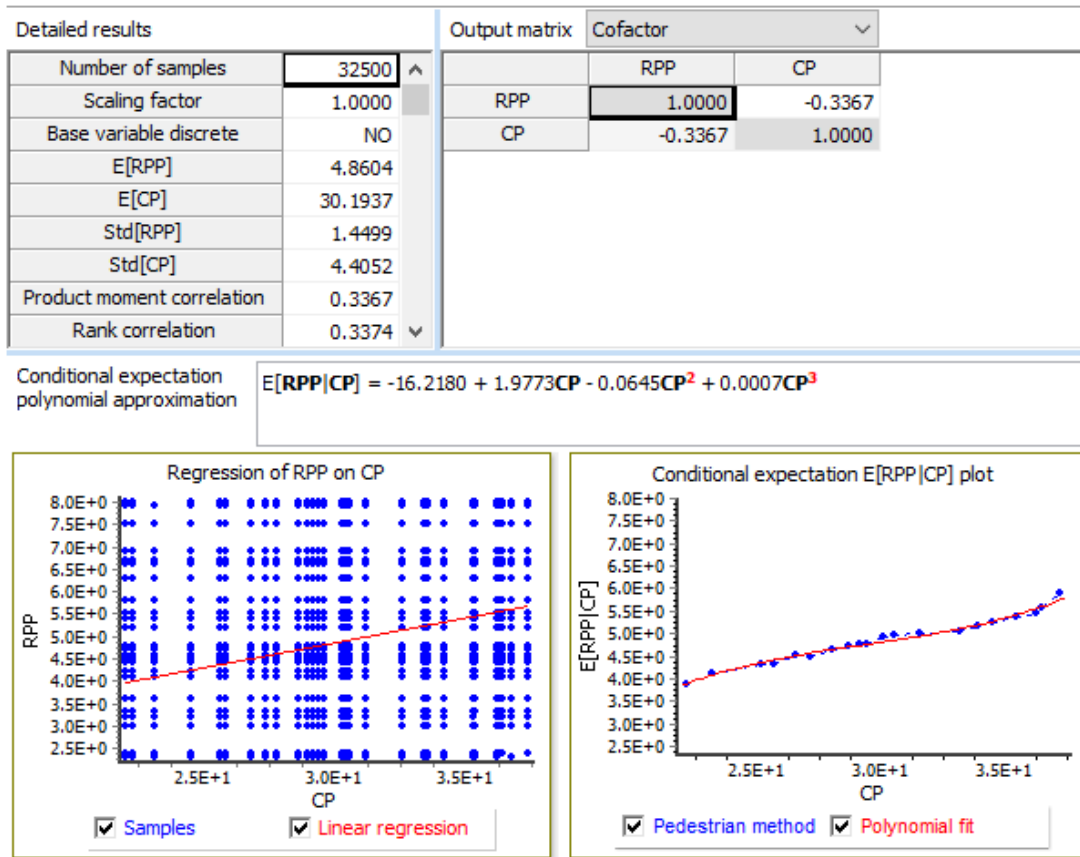


Figura 12 Ecuación estructural de RPP ⇌ CP

5.9.3.2 Análisis de UIE ⇌ RPP

Uso de información “externa” durante el proceso. (UIE)

Revisión de problema planteado. (RPP)

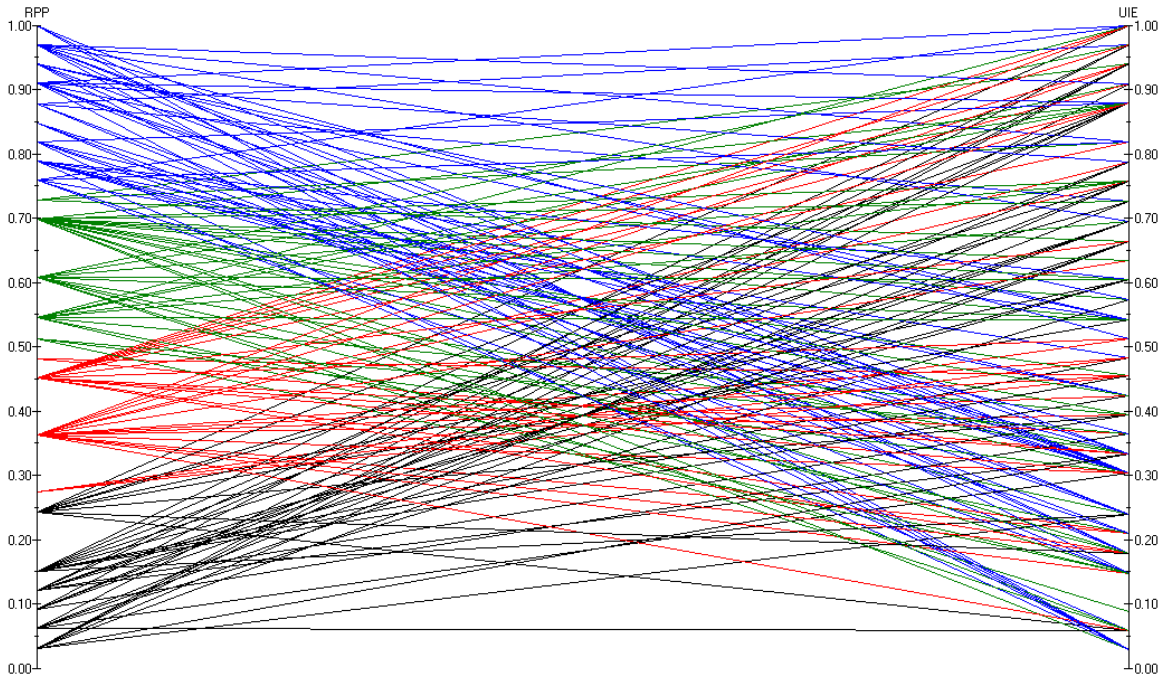


Figura 13 Probabilidades UIE ↔ RPP

La gráfica de probabilidades entre las dos acciones (color azul), permite ver que, a mayor probabilidad de que suceda el evento (uso de información) el segundo evento (revisión de problema) aparecerá con certeza, esto significa que: entre más tiempo se le da a la revisión del problema planteado el tiempo de búsqueda de información es menor.

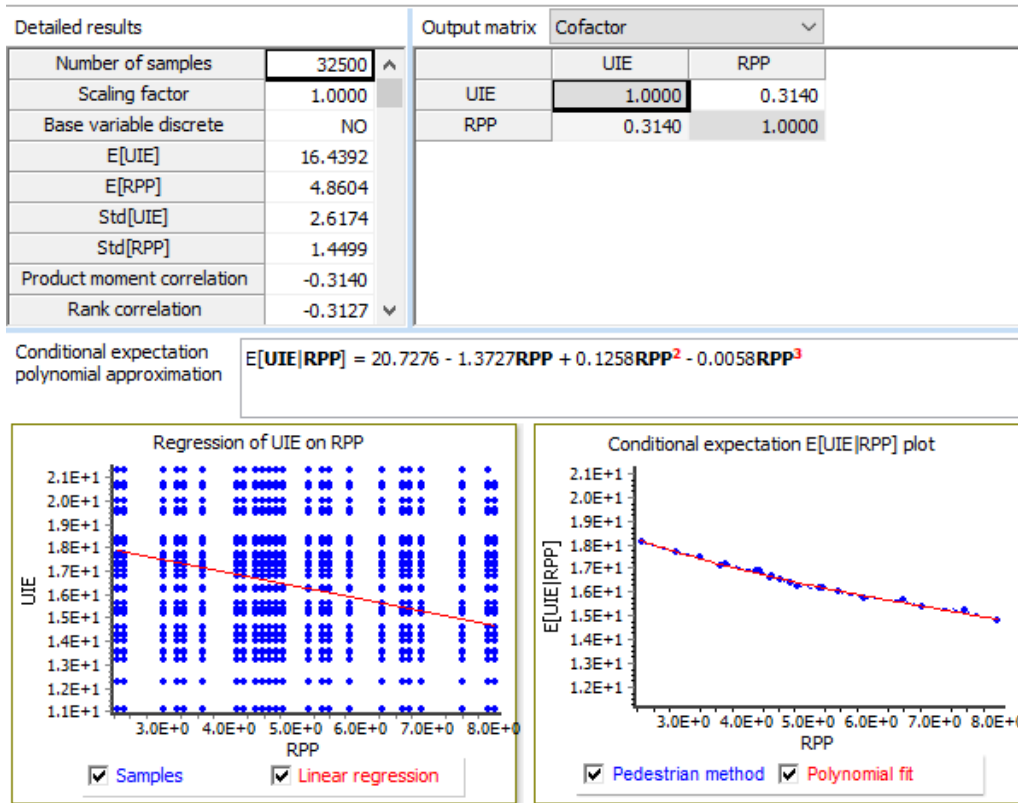


Figura 14 Ecuación estructural de RPP \rightleftharpoons CP

5.9.3.3 Análisis de RPA \rightleftharpoons CC

Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA)

Comentarios. (CC)

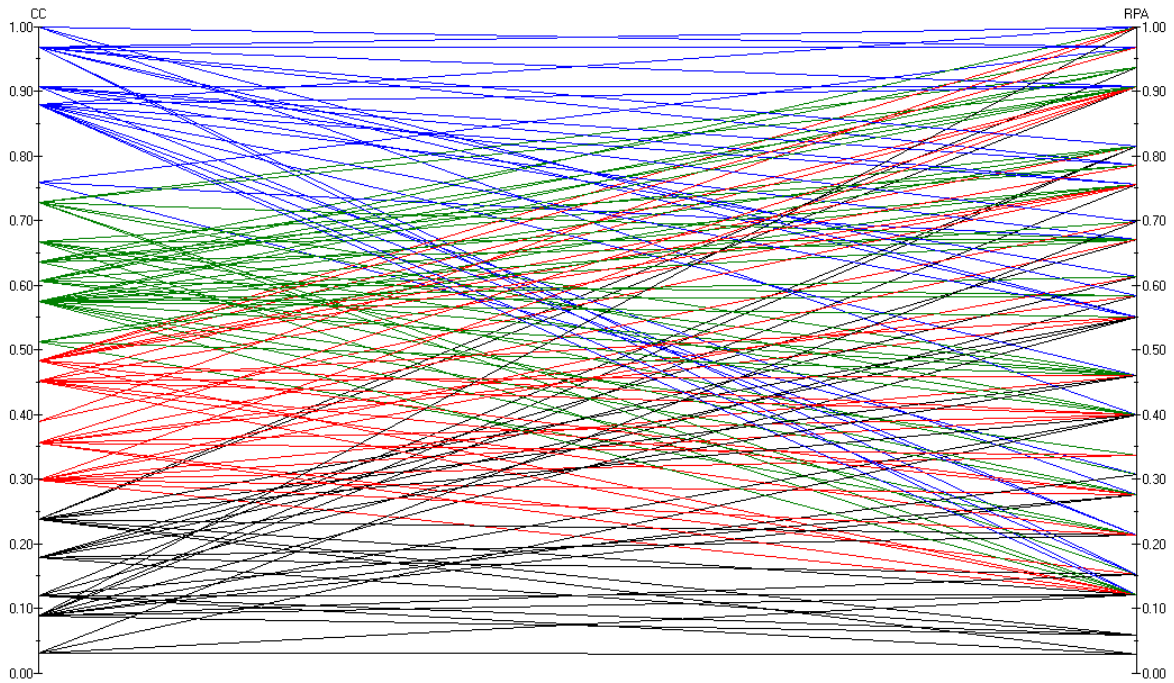


Figura 15 Probabilidades RPA ↔ CC

La gráfica de la relación de probabilidades entre las dos acciones (color azul), muestra que a mayor probabilidad de que suceda el evento (respuesta a preguntas de aclaración) el segundo evento (comentarios) aparecerá con seguridad. Esto significa que, entre más tiempo se le da para responder a las dudas que surgen sobre el reto de diseño, la cantidad de tiempo para comentarios se ve afectada, dando pie a mejores interpretaciones.

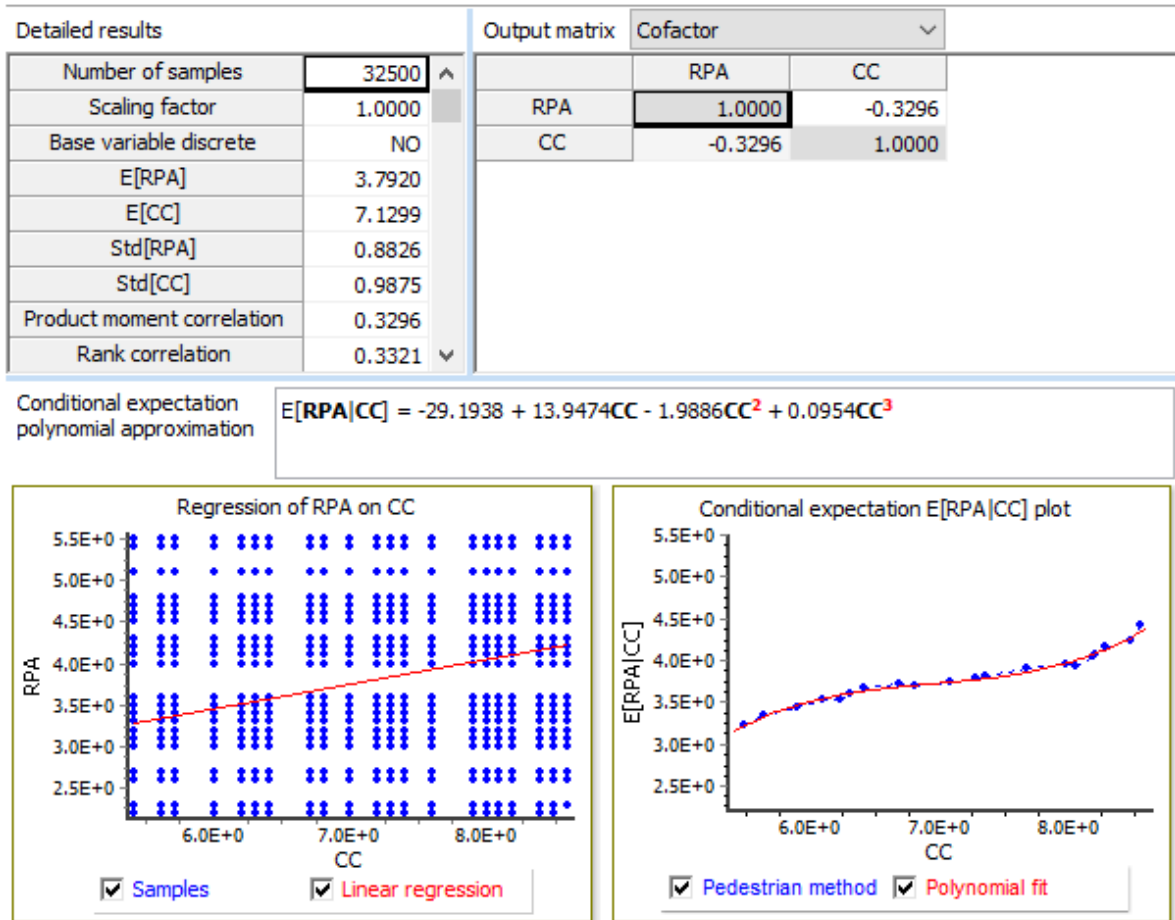


Figura 16 Ecuación estructural de RPA \rightleftharpoons CC

5.9.3.4 Análisis de EEP \rightleftharpoons PS

Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones. (EEP)
 Propuesta de solución. (PS)

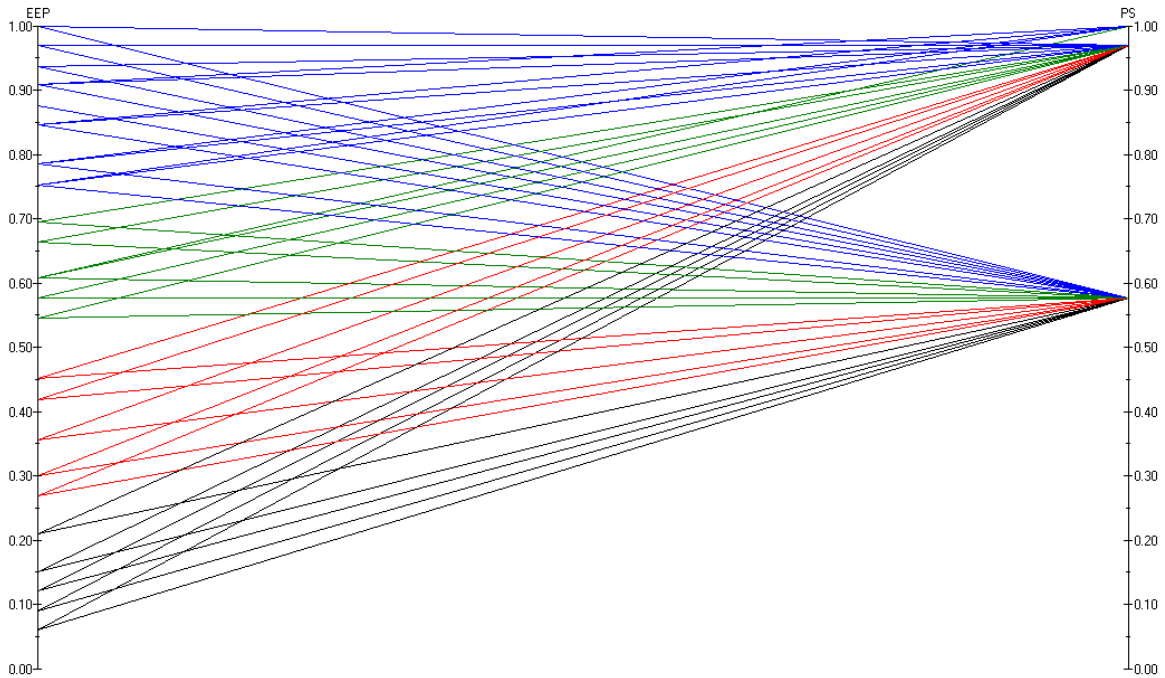


Figura 17 Probabilidades EEP ↔ PS

La grafica de la relación de probabilidades (color azul) indica que, a mayor probabilidad de que suceda el evento (explicación de experiencias previas) el segundo evento (propuestas de solución) aparecerá con seguridad; por lo tanto, entre más tiempo se le da para explicar los conocimientos previos del diseñador con seguridad aparecerán ideas de solución para el reto de diseño y, en sentido contrario, se observa que tener más ideas de solución es consecuencia de mayor tiempo en explicación de experiencias previas.

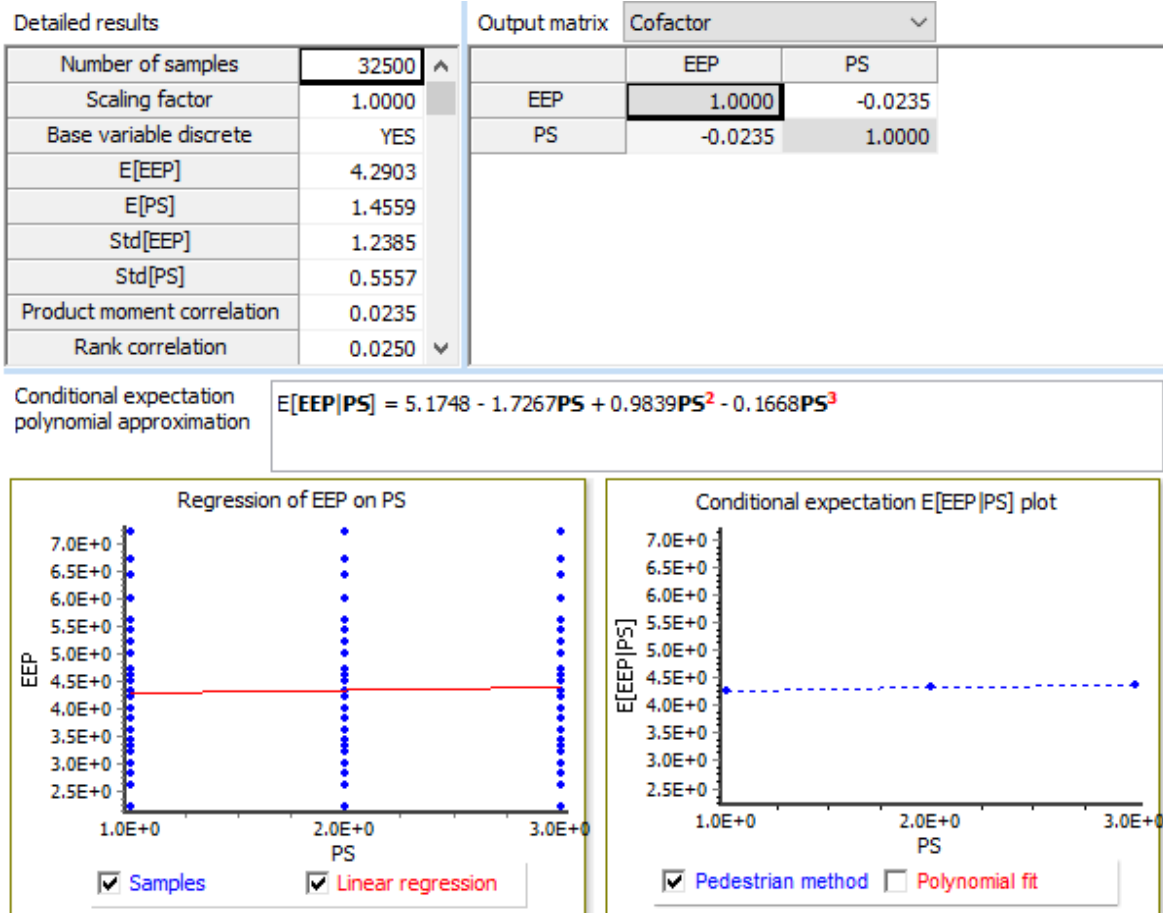


Figura 18 Ecuación estructural de $EEP \rightleftharpoons PS$

5.9.3.5 Análisis de PCP \rightleftharpoons RPA

Preguntas para comprender el problema. (PCP)

Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA)

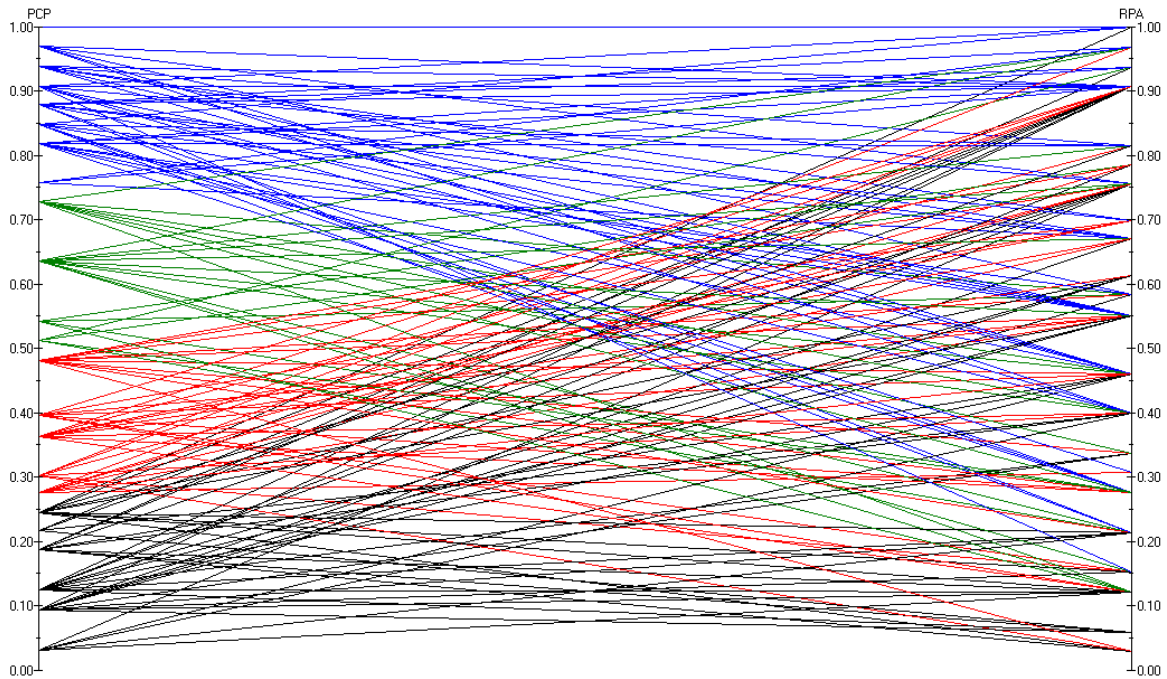


Figura 19 Probabilidades PCP ↔ RPA

La gráfica nos muestra la relación de probabilidades entre las dos acciones (color azul). A mayor probabilidad de que suceda el evento (preguntas para comprender el problema) el segundo evento (respuestas a preguntas de aclaración) aparecerá con seguridad. Se ve con claridad la retroalimentación necesaria para el desarrollo del proceso de diseño (estudio de las necesidades de los posibles usuarios), el tiempo que se le da a responder a las dudas que surgen sobre el reto de diseño depende de la cantidad de tiempo y número de preguntas para su comprensión.

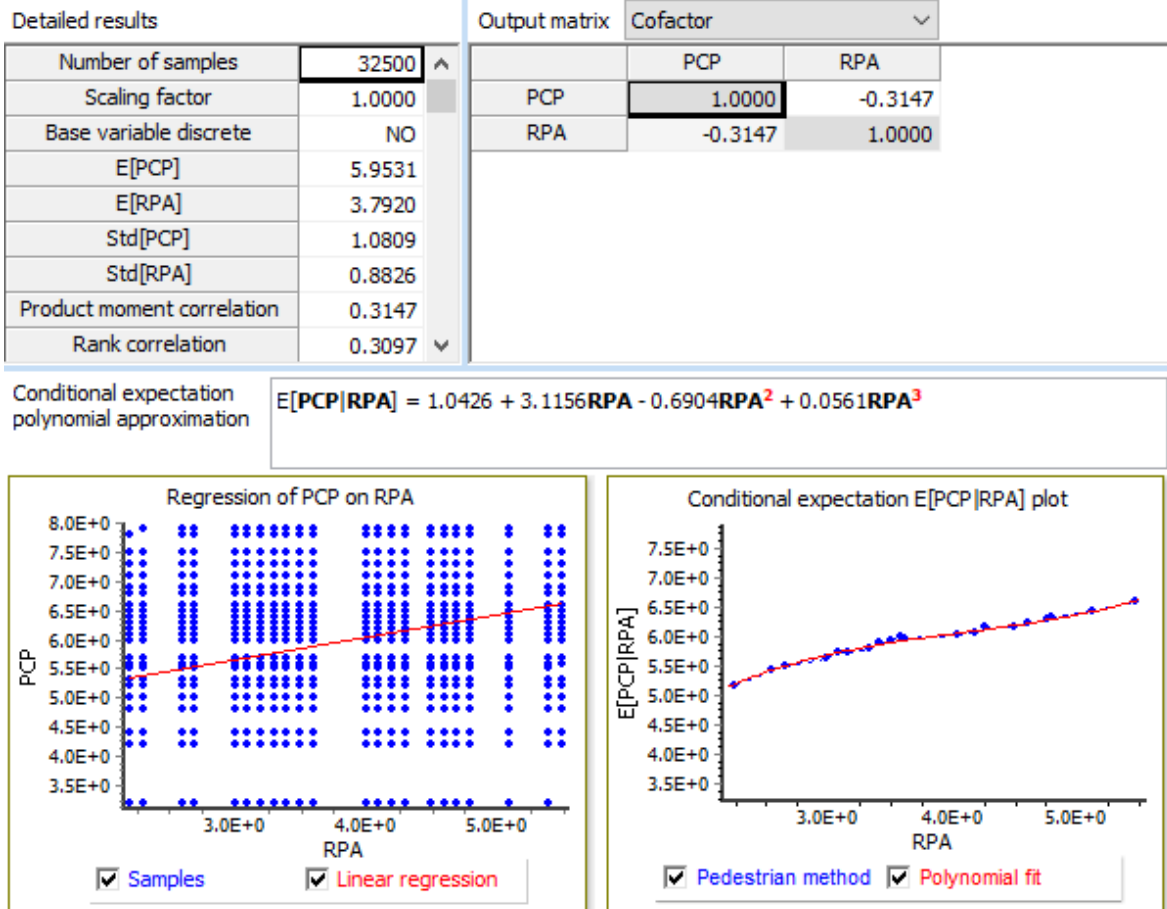


Figura 20 Ecuación estructural de PCP ⇌ RPA

5.9.3.6 Análisis de RPA ⇌ DGI

Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA)

Descripción gráfica de ideas (bocetos). (DGI)

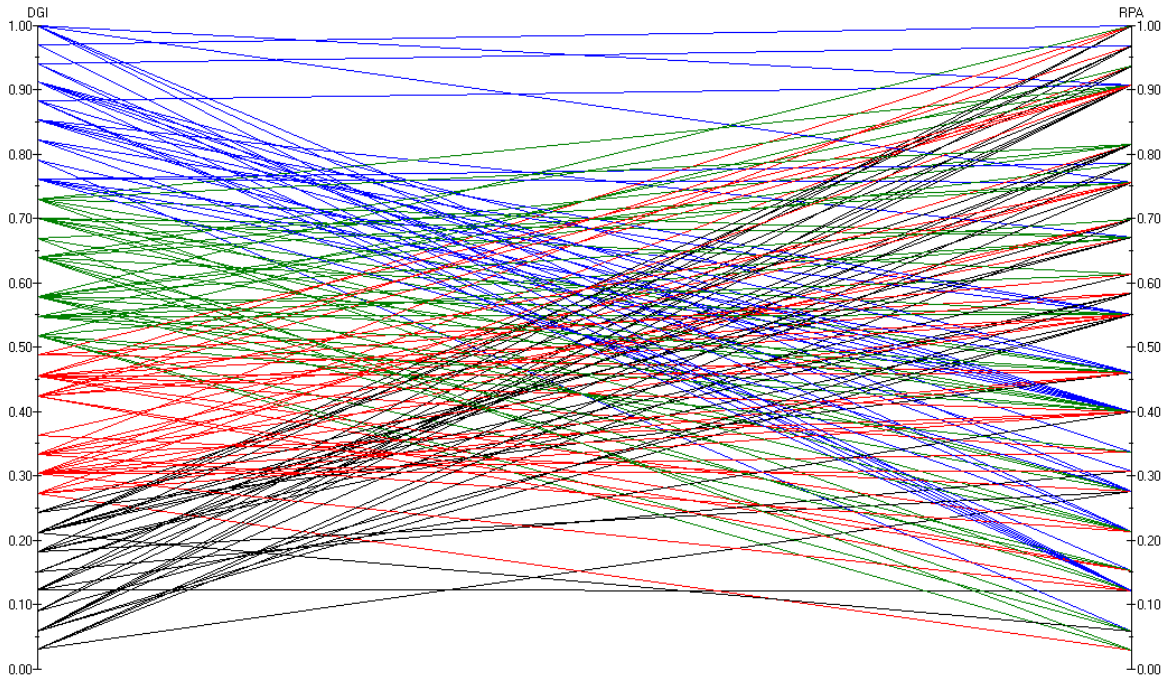


Figura 21 Probabilidades RPA ⇌ DGI

La grafica de relación de probabilidades (color azul) muestra que, a mayor probabilidad de que suceda el evento (respuesta a preguntas de aclaración) el segundo evento (descripción grafica de ideas) aparecerá con seguridad. Al tener claras las necesidades del reto de diseño, el tiempo que se le da para realizar bocetos depende del cuidado que se tiene al responder las preguntas de aclaración. Entre mejor información tenga, más rápida será la descripción gráfica.

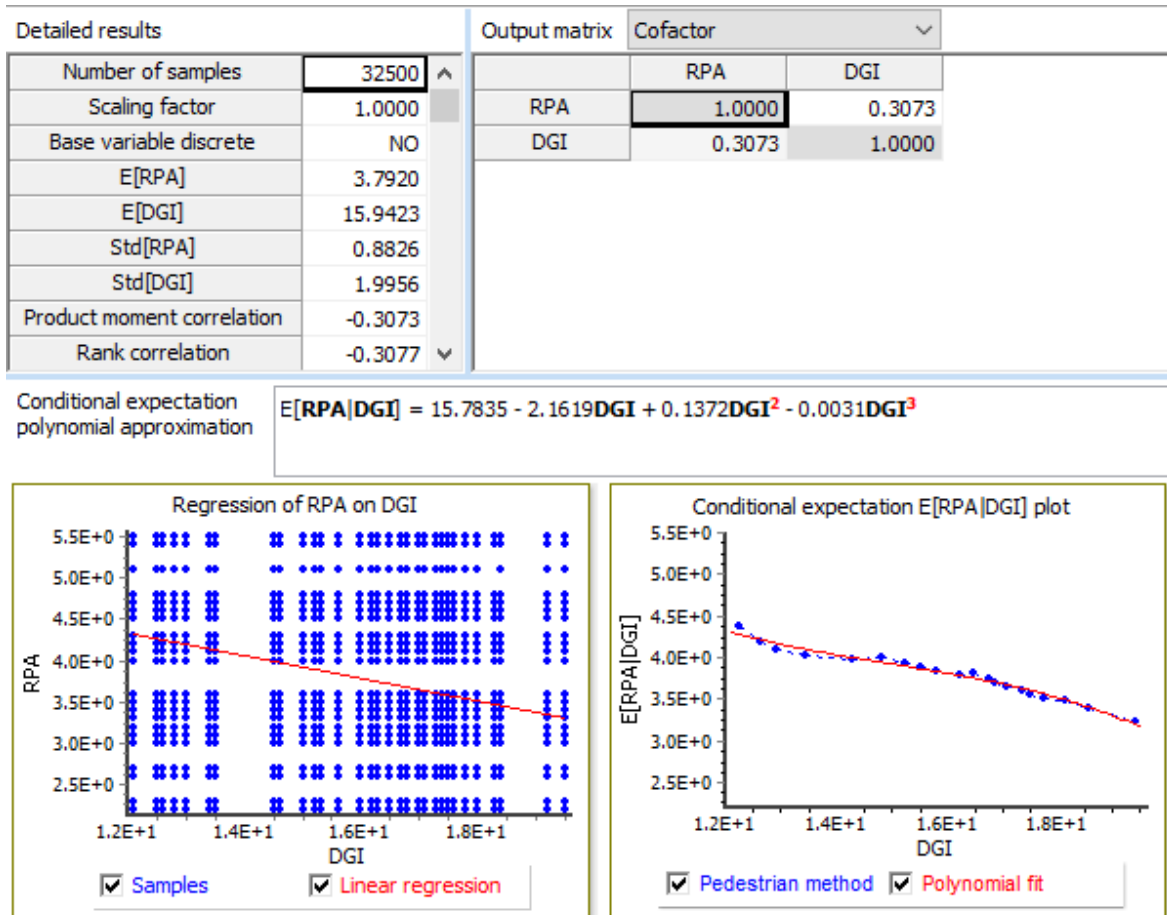


Figura 22 Ecuación estructural de RPA ⇌ DGI

5.9.3.7 Análisis de EEP ⇌ RPA

Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones. (EEP)
 Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA)

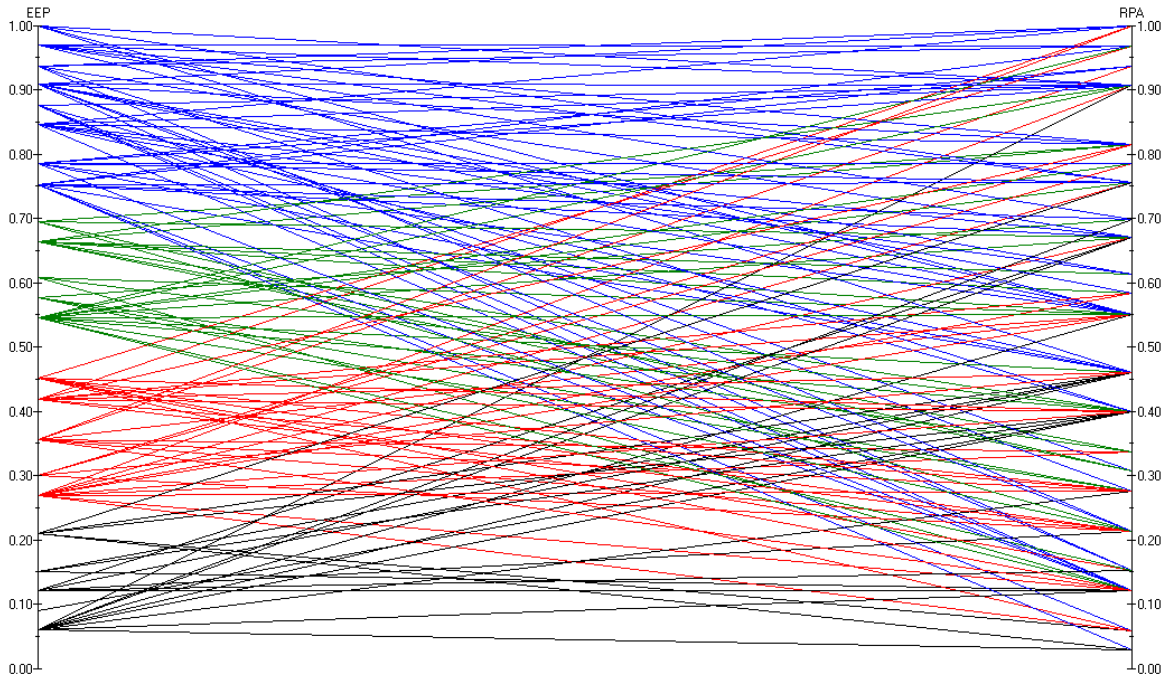


Figura 23 Probabilidades EEP ↔ RPA

En la gráfica de relación de probabilidades (color azul) se observa que, a mayor probabilidad de que suceda el evento (explicación de experiencias previas) el segundo evento (respuestas a preguntas de aclaración) aparecerá con seguridad. El tiempo que tarda el diseñador para explicar los conocimientos previos está condicionado al tiempo que se toma en obtener la información, con el fin de enriquecer la experiencia previa y favorecer que aparezcan ideas de solución más fiables.

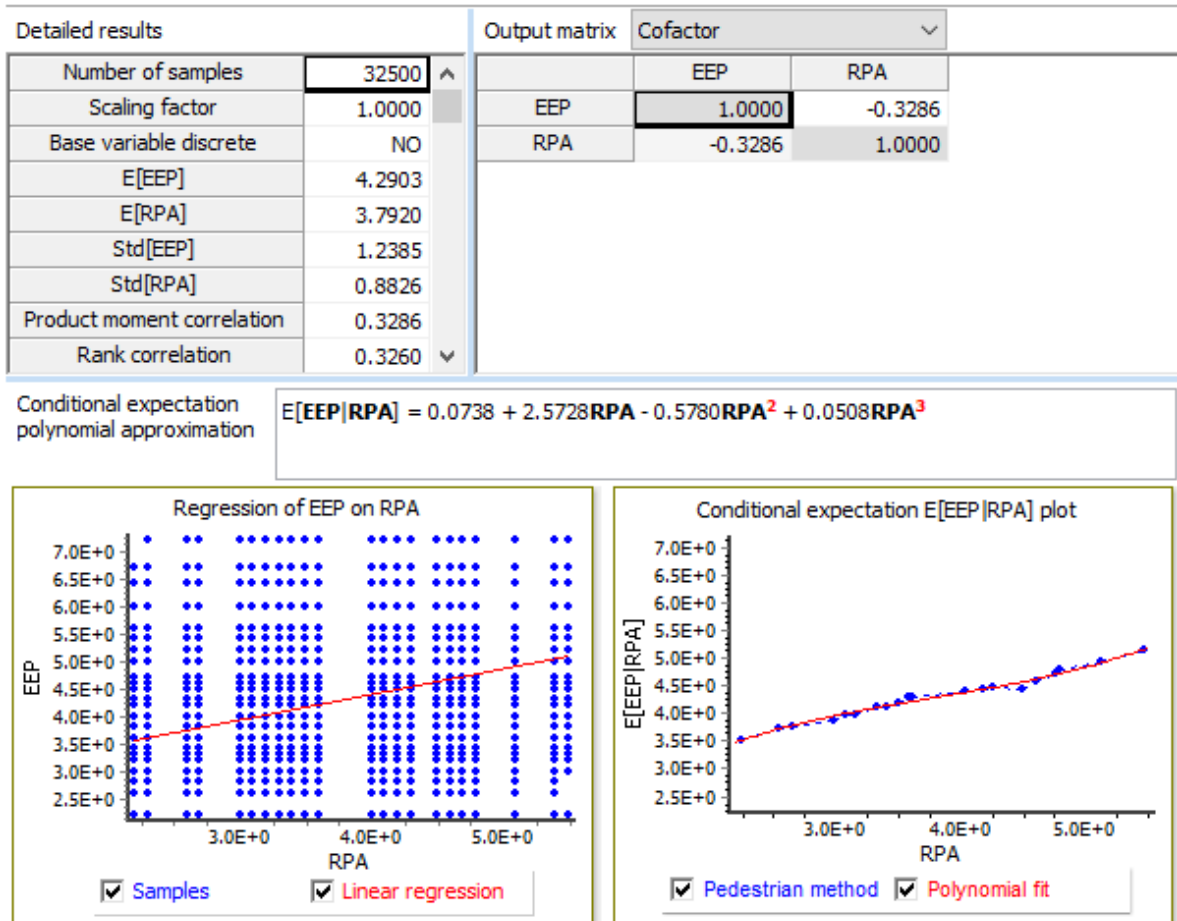


Figura 24 Ecuación estructural de EEP ⇌ RPA

5.9.3.7 Análisis de PS ⇌ CP

Propuesta de solución. (PS)

Aplicación de solución (construcción de prototipo). (CP)

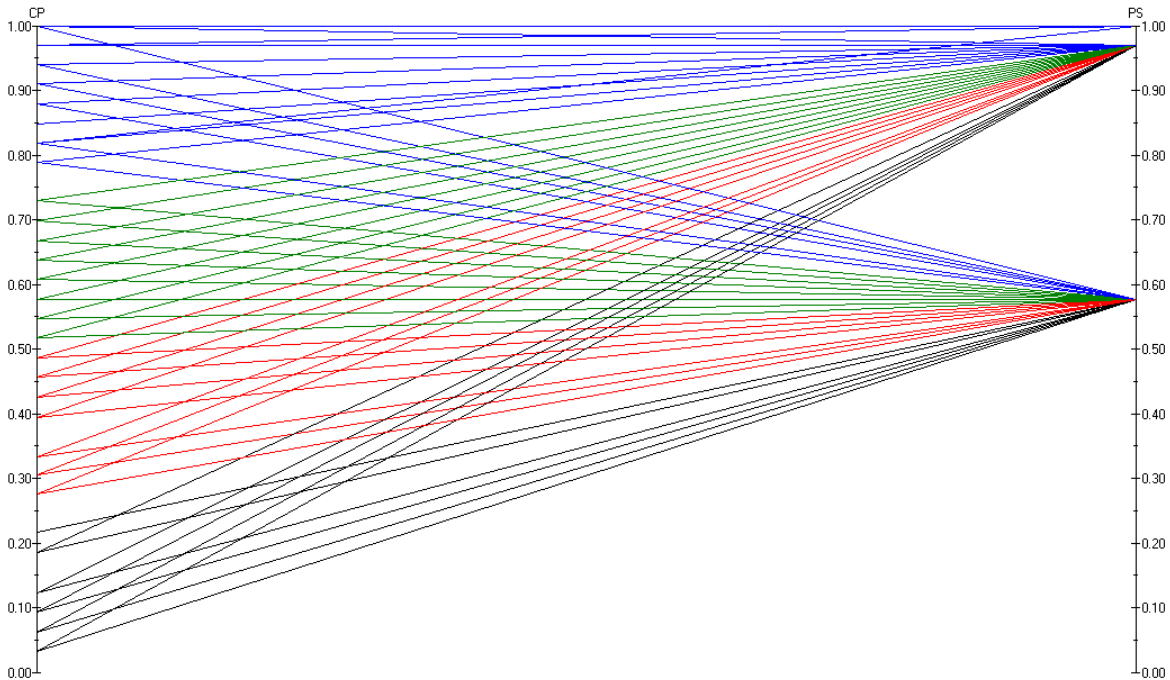


Figura 25 Probabilidades PS ↔ CP

Esta gráfica representa con mayor claridad la relación de probabilidades entre las dos acciones (color azul). A mayor probabilidad de que suceda el evento (propuesta de solución) el segundo evento (construcción de prototipo) aparecerá con toda certeza y viceversa, lo que nos dice que, entre más tiempo se le da para construir el prototipo, con seguridad aparecerán ideas de solución para el reto de diseño planteado y, en sentido contrario, se observa que tener más ideas de solución es consecuencia de un mayor tiempo de construcción de prototipo.

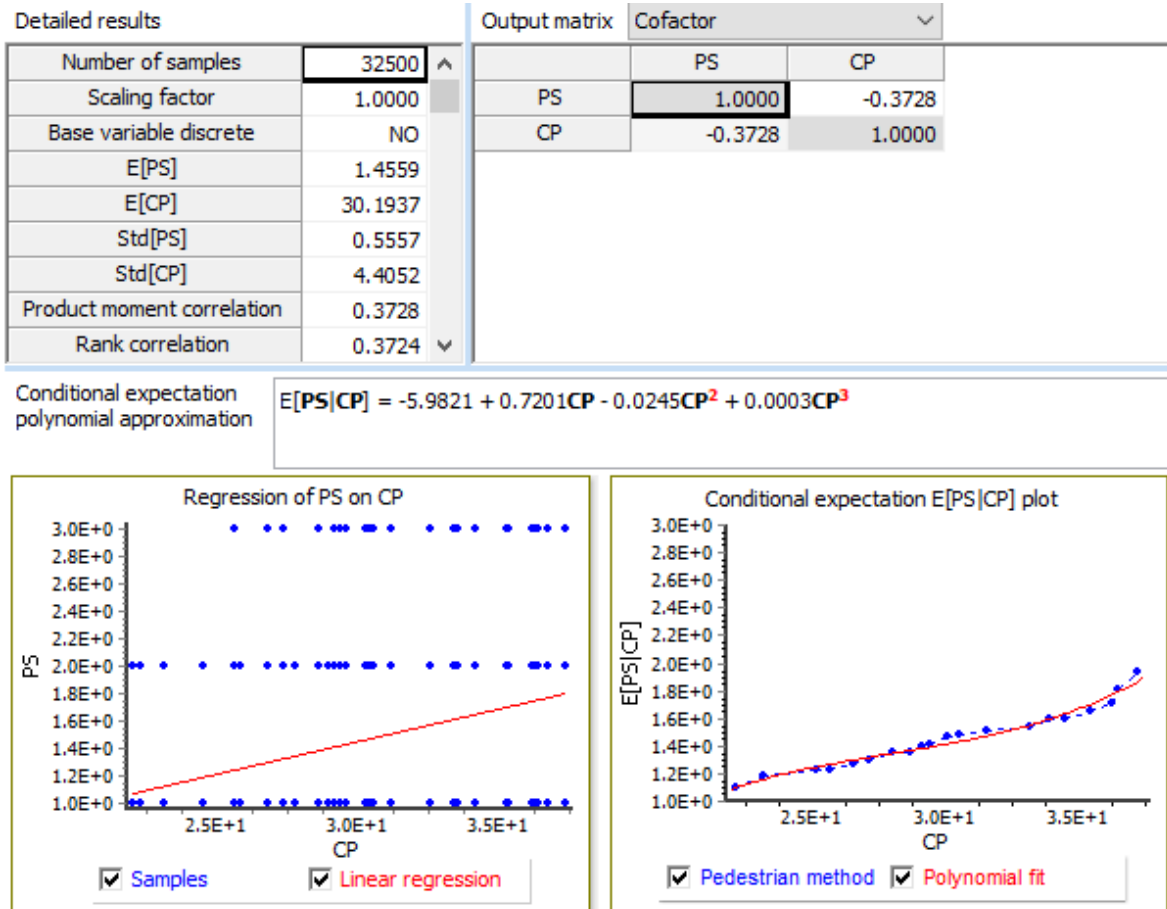


Figura 26 Ecuación estructural de PS ↔ CP

5.10 Discusión

Los resultados del experimento y simulación matemática mostrados en los apartados anteriores indican coherencia de los actos cognitivos que realizan los diseñadores durante el proceso de diseño.

Las acciones observadas se adecuan a un proceso de inferencia bayesiana, indicando que los actos cognitivos operan de una manera causal y que los diseñadores son la clave para su funcionamiento. Asimismo, la aplicabilidad de los modelos causales tiene como prueba sólida la posibilidad de modelar dichos actos mediante la probabilidad bayesiana.

El uso de modelos causales en cuestiones de razonamiento fue estudiado por Hagmayer (2005) demostrando que, ante un cambio en el modelo (variables y nodos) se generan datos distintos. Dicho postulado se corroboró en esta investigación ya que, al realizar

cambios en el número de variables o de nodos de conexión, se obtuvieron resultados muy distintos; esto fue utilizado como mecanismo de control, al corroborar que el modelo generado se mantenía dentro de los parámetros experimentales.

Los resultados de la red bayesiana indican que es posible estimar parámetros del modelo, por lo que pueden ser utilizados como medios de información fidedignos para mejorar procesos del desarrollo de productos. Con base en los resultados del análisis del modelo se puede decir lo siguiente:

- **Todas las variables encontradas durante el experimento intervienen en el proceso de diseño.**
- **Las variables Aplicación de solución (construcción de prototipo) (CP) y Descripción gráfica de ideas (bocetos) (DGI) son de especial relevancia ya que, si no se dedica suficiente tiempo a su realización, la probabilidad de tener éxito disminuye drásticamente.**
- **Las variables Preguntas para comprender el problema. (PCP) y Respuesta a preguntas de aclaración. (RPA) son fundamentales para conseguir información de las necesidades del posible usuario.**
- **El Uso de información “externa” durante el proceso (UIE) y Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones (EEP) impactan en el ciclo del proceso al enfocar los conocimientos y experiencias previas del diseñador.**
- **Las variables restantes aportan información importante para la generación de ideas de solución óptimas, repercutiendo en la posibilidad de alcanzar la mayor factibilidad en el menor tiempo posible.**
- **El buen manejo de las diez variables encontradas permite sistematizar el proceso de diseño y encontrar soluciones viables, basándose en las necesidades requeridas.**

Este modelo resalta la importancia de entender al sistema cognitivo puesto que, con su comprensión, se explican las acciones, eventos y fenómenos observados durante el proceso de diseño en su fase de conceptualización.

5.11 Conclusiones

Se puede decir que el modelo de valoración matemático para el conjunto de acciones realizadas por el diseñador en el proceso de diseño es una combinación de lo siguiente:

- Estudio experimental (Análisis de protocolo), que hace posible recabar información de una actividad cualitativa.
- Redes bayesianas, que posibilitan la descripción objetiva de actividades subjetivas, mediante probabilidad condicional.
- Contribución de la experiencia del autor en el desarrollo de productos, que permite combinar los conceptos teóricos de los primeros capítulos con los resultados experimentales, para definir una forma de esquematizar el proceso de diseño.

Con lo anterior, fue posible identificar los parámetros clave durante la etapa de conceptualización en el desarrollo de productos y desarrollar un modelo matemático que procesara las acciones de los sujetos de estudio para su análisis objetivo.

Capítulo 6: Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Introducción

En este apartado se presentan las conclusiones del trabajo de investigación, retomando las hipótesis que se plantearon en el primer capítulo y contrastándolas con los resultados y hallazgos obtenidos. Esto se desglosará en tres secciones, que se describen a continuación. Recapitulación de las conclusiones de cada capítulo, para verificar la estructura y coherencia del proceso desarrollado. Se espera ver claramente que los resultados de la etapa experimental son el elemento de unión entre la teoría y la aplicación del modelo matemático.

Análisis de hipótesis contra resultados obtenidos. En esta sección se llevará a cabo una comparativa entre las hipótesis enunciadas en un principio y los argumentos surgidos del trabajo de investigación, con el fin de validarlas o refutarlas.

Finalmente, se presenta la conclusión final y se darán algunas sugerencias para el trabajo futuro en la línea de investigación desarrollada.

6.2 Conclusiones de la indagación teórica y el recurso experimental

6.2.1 Indagación teórica

Tras la revisión de la literatura existente sobre investigación en diseño y al ejecutar la verificación experimental, resulta incuestionable que el proceso de diseño en su generalidad es sumamente complejo, al contar con múltiples interacciones del diseñador con su expertise, cognición, habilidades y conocimientos técnicos, así como el entorno social donde se desenvuelve -que es difuso puesto que las fronteras entre la ciencia, medios de comunicación y leyes que lo rigen son dinámicas-.

La abundancia en métodos de diseño que han surgido durante la última mitad del siglo pasado es una demostración del interés en torno a la investigación en diseño. De manera general, con base en el estudio teórico realizado se puede decir que hacer un estudio

detallado del proceso de diseño es un verdadero reto, y que todos los modelos existentes son insuficientes para una descripción detallada.

El método de razonamiento de (Takeda, 1991) es el que más ha representado la integración de conceptos, por lo que resulta una buena base teórica en conjunto con el diseño centrado en el usuario.

6.2.2 Recurso experimental

El estudio previo

Para definir las características del experimento realizado, donde interactúan elementos diversos con relaciones altamente complejas, fue necesario realizar un estudio exploratorio previo. Las conclusiones fueron las siguientes:

- Existe la necesidad de preparación para guiar el desarrollo de un reto de diseño, a fin de satisfacer necesidades específicas del diseño centrado en el usuario.

- Es preferible aplicar el experimento de manera individual para observar las acciones y/o procesos que realiza el diseñador al afrontar un reto de diseño con necesidades específicas, para mantener un ambiente controlado, alejando de influencias externas como distracciones o imposición de ideas ajenas.

- Resulta fundamental contar con papel y artículos para escribir, pues permiten la libre expresión del diseñador durante su proceso.

- La expresión verbal es incompleta, por lo que se requiere un análisis de protocolo más integral que incluya otras fuentes de información, como la esquemática y la visual.

Método experimental

El denominado “Análisis de protocolo” es el método experimental más utilizado actualmente dentro de la investigación en diseño (Cross, 1996). Desarrollado en condiciones controladas, explora las acciones del diseñador durante el proceso de diseño, con el fin de determinar acciones y praxis para análisis posteriores que permitan conclusiones objetivas.

Como limitante, se encuentra la dificultad de capturar toda la complejidad del proceso estudiado, especialmente de las actividades cognitivas no exteriorizadas. Para profundizar en ellas, mediante el análisis de protocolo se extrajeron: acciones realizadas (capturadas en video), lenguaje verbal, gesticulaciones, manipulación de material para la realización de prototipos y esquemas plasmados en papel.

Los datos obtenidos en 33 sesiones experimentales fueron sincronizados, digitalizados y codificados con herramientas de inteligencia artificial para, posteriormente aplicar el modelo matemático con los ajustes pertinentes.

Ya que este método experimental no admite control de efectos colaterales -como son: la tensión provocada por ser videograbados, la presión de contar con un tiempo limitado, las posibles reacciones del ambiente donde se realiza el experimento y, por supuesto, el estado emocional del sujeto de estudio-, el alcance del experimento estuvo limitado a las acciones que se pueden capturar durante el proceso de diseño y los factores antes mencionados se consideran como no controlables.

Análisis de resultados

Para estudiar la conceptualización de diseño primigenia, se identificaron los verbos, adjetivos, adverbios y estructuras lingüísticas que llevan a soluciones, reconstruyendo de forma organizada el proceso y cuantificando los datos resultantes.

Para establecer valores medibles -y como aporte de esta investigación- se propone un procesamiento basado en redes Bayesianas (presentado con detalle en el capítulo 5), fundamentado en la interpretación del análisis de protocolo. Mediante estas redes bayesianas se identifican acciones, operaciones y decisiones (llamadas actos) que se realizan durante el proceso de diseño.

Con este modelo de representación se posibilita analizar en cada momento del proceso de diseño, comprenderlo de mejor manera (ya que se cuantifican los pasos intermedios que lo componen) y evaluar las condiciones para hacerlo más eficiente.

6.3 Análisis de hipótesis

HIPÓTESIS DE POTENCIAL: *La generación de ideas en la etapa de conceptualización del proceso de diseño de productos puede ser asistida por un método que ayude a obtener soluciones creativas, apropiadas y fluidas, de manera que se generen opciones de solución más viables y de mejor calidad.*

El modelo propuesto ofrece una alternativa para la solución de retos de diseño. La valoración de las acciones muestra el nivel de efectividad de los procedimientos que se realizan, lo cual se capitaliza con una propuesta de solución más eficiente.

Con los resultados conseguidos, se observa que la generación de ideas de solución durante la conceptualización del proceso de diseño puede ser impulsada con el uso de un procedimiento ordenado, lo que verifica la hipótesis.

HIPÓTESIS DE CONFIGURACIÓN: *El método orientado a apoyar la etapa de generación de ideas conceptuales debe incluir al menos tres componentes: organización y generación de ideas, clasificación de conocimientos y un modelo para medir la viabilidad del desarrollo del producto.*

El estudio de los resultados experimentales de los distintos sujetos de estudio nos permitió darnos cuenta de la importancia del uso de técnicas y/o modelos que ayuden a generar ideas novedosas de solución de diseño de productos. Se observó que: i) en etapas primigenias del proceso de diseño hay una gran generación de ideas, pero estas se pierden al transcurrir el proceso y la posibilidad de generar nuevas ideas disminuye en consecuencia los diseñadores se centran en sus ideas primarias, ii) al utilizar las técnicas y/o modelos la estimulación creativa la generación no cesa, de tal manera que los ciclos de convergencia son más eficaces, iii) esto originó la necesidad de crear prototipos manipulables para corroborar las ideas que se iban generando, con el fin de obtener información oportuna para el buen fin del proceso.

Como se vio en el experimento, respecto a la usabilidad, se deben poner de manifiesto las necesidades del usuario, ya que pueden generarse errores de concepto que impiden satisfacer con éxito los criterios básicos.

La viabilidad del modelo está sustentada en los resultados obtenidos en el Capítulo 5.

HIPÓTESIS DE PROCESO: Con las evaluaciones experimentales aplicadas a la resolución de los retos de diseño, la experiencia, conocimientos y métodos de trabajo de diseñadores, así como resultados de investigaciones sobre diseño conceptual, es posible identificar elementos destacados y características propias de los componentes mencionados en la hipótesis anterior, para utilizarse en el diseño de productos centrados en el usuario.

La investigación realizada atendió los elementos establecidos en esta hipótesis durante los primeros capítulos, pero el eje principal fue el estudio experimental, de cuyos resultados se han deducido los principales componentes del modelo matemático de redes bayesianas. El estudio exhaustivo de la teoría sobre modelos y métodos de diseño fue de gran ayuda para la formulación de la red bayesiana y su interpretación. Por consiguiente, se puede decir que esta hipótesis es válida, pero es importante mencionar la restricción del estudio experimental, ya que no se incluyeron aspectos sentimentales que podrían haber aportado al modelo final.

HIPÓTESIS DE EFECTIVIDAD: La efectividad de las metodologías de diseño puede ser evaluada mediante una fase experimental, que buscará identificar y cuantificar de forma objetiva los procesos resultantes de las evaluaciones aplicadas. A partir de esta identificación y de los valores obtenidos se definirá un modelo para apoyar al diseñador en el desarrollo conceptual de nuevos productos. La propuesta de la metodología para este fin estará sustentada en resultados, por lo que será más coherente.

En la literatura se encuentran varios modelos y metodologías para analizar el proceso de diseño de productos. Esta investigación se enfoca en el diseño centrado en el usuario, design thinking y diseño sustentable como bases para construir y analizar un modelo.

Dicho modelo fue validado por medio del estudio experimental, cuyo resultado nos da pie a afirmar que puede utilizarse en diversos procesos de diseño y no solo en los retos aplicados.

Se pudieron evaluar las siguientes acciones: **Revisión de problema planteado, Uso de información “externa” durante el proceso, Descripción verbal de ideas, Descripción gráfica de ideas (bocetos), Preguntas para comprender el problema, Respuesta a preguntas de aclaración, Comentarios, Explicación de experiencias previas que sirven de fuente para nuevas soluciones, Propuesta de solución, Aplicación de solución (construcción de prototipo).**

Con estas acciones, objetivamente cuantificadas, se demostró que al analizarlas dentro de un sistema de probabilidad condicional y de toma de decisiones (Redes Bayesianas), el ingeniero de diseño puede aplicar el modelo resultante como una herramienta de asistencia para mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos, a partir del reconocimiento de las acciones clave dentro del proceso, que ayuden al diseñador a mejorar la eficiencia, por lo que la hipótesis es válida.

6.4 Conclusión

El objetivo principal y los objetivos específicos planteados en este trabajo, formulados al inicio de la investigación, han sido alcanzados.

La comprensión de las acciones realizadas por los diseñadores para la toma de decisiones, durante la fase de conceptualización de nuevos productos, se logró gracias al estudio experimental con análisis de protocolo, que detalló las acciones realizadas por los diseñadores. El modelo probabilístico propuesto se sustenta bajo criterios de objetividad.

Los resultados de la investigación, que se presentan a detalle en el capítulo 5, fueron contruidos a partir de la observación meticulosa de las acciones más significativas que realizaban los diseñadores. El modelo probabilístico del proceso de diseño en la fase de conceptualización del diseño, la forma de aplicarlo y su validez quedaron demostradas al final de dicho capítulo, mediante la caracterización de las probabilidades condicionadas de cada acción.

El formato metodológico desarrollado en esta investigación es relevante ya que, por su carácter mixto (estudio cualitativo y cuantitativo), puede ser utilizado en estudios semejantes futuros.

6.5 Trabajo Futuro

En los últimos años se ha visto un creciente interés por la investigación en diseño, muestra de ello es la proliferación de estudios doctorales en diseño alrededor del mundo, que abordan el tema desde diversos ángulos como el social, cognitivo, técnico y comercial. Esta investigación está orientada al aspecto cognitivo-técnico, realizando la conjunción de los estudios cualitativos y cuantitativos.

Esperamos que los aportes de este trabajo alienten el desarrollo de nuevas líneas de investigación, *en especial, orientados hacia la descripción objetiva de fenómenos subjetivos, que proporcionen una mejor comprensión y caracterización de procesos que son poco estudiados.*

Como propuesta para trabajo futuro se recomienda:

Uso de probabilidad condicional (Redes Bayesianas)

Las redes bayesianas son una herramienta poco conocida en el ámbito de la investigación de diseño. En los últimos años ha crecido su uso gracias al avance tecnológico (en especial por el poder de computo matemático), ya que sirven para el desarrollo de sistemas probabilísticos que ayudan a la creación de sistemas expertos enfocados a la toma de decisiones.

Otra investigación que cobrará protagonismo en los años venideros es la aplicación de dichas redes como herramientas de análisis de datos experimentales, para integrar en un solo paradigma las cuestiones cualitativas y cuantitativas de problemas reales.

Mejoramiento teórico

En el caso particular de esta investigación, los resultados obtenidos sobre el proceso de diseño fueron consecuencia de la implementación de redes bayesianas, con información adquirida mediante un recurso experimental objetivo y verificable. Se puede buscar interrelacionar el modelo generado con ciertos modelos teóricos para el desarrollo de productos como la casa de la calidad, donde los resultados pueden utilizarse para enriquecer el funcionamiento del QFD.

Referencias

1. Abras, C. (2004). User-Centered design.
2. Akao, Y. (1990) Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design . Japón
3. Alcaide, Diego y Artacho. (2001) Diseño de Producto. El proceso de Diseño, Valencia España, Universidad Politécnica de Valencia.
4. Bevan, N (2009). International standards for usability should be more widely used. Journal of usability studies.
5. CDR (2017) Center for Design Research, internet, Disponible en <https://me.stanford.edu/research/labs-and-centers/center-design-research-cdr> recuperado en Abril 2017.
6. Clemson Research in Design internet, disponible en <http://www.clemson.edu/caah/departments/architecture/index.html> Recuperado en Octubre del 2016
7. Cooper, R. (1995). Benchmarking the firm s critical success factors in new product development. The journal of product innovation management.
8. Cross, Nigel (1984). Develoment in design Methodology. London, John Wiley and son.
9. Cross, N., Dorst, C. y Rozenburg, N. (1992). Research in design thinking. Delft University Press.
10. Cross, N., Christiaans y Dorst ed. (1996). Analysing design activity, Chichester, England. John Wiley y Sons Ltd.
11. Cross, Nigel (1999). Metodos de Diseño. Estrategias para el diseño de productos .México . Limusa.
12. Cuberos Mejía Ricardo, Métodos de Diseño(2007), Internet, Disponible en <http://es.slideshare.net/ricardocuberos/metodos-de-diseo-clase-4>, recuperado en Marzo del 2016.

13. Dorst, K. y Dijkhuis, J. (1995). Comparing paradigms for describing design activity. *Design Studies*,16.
14. Fung, R.; Popplewell, K.; Xie, J. (1998).An intelligent hybrid system for customer requirements analysis and product attribute targets determination. *International Journal of Production Research requirement patterns. Journal of Engineering Design*.
15. Goldberg, L. (2011) *Usability and Accessibility in consumer health informatics*.
16. González Espinosa & Marvín Eduardo (2001) *Función despliegue de la calidad : una guía práctica para escuchar la voz del cliente*, México, D.F. : McGraw-Hill
17. Griffin, A.; Hauser, J. (1993). *The voice of the consumer*, Marketing Science
18. Gulliksen, J.(2003) *Key principles for used-centred systems design*.
19. Horvath, I. (2000) *Conceptual design: inside and outside*. *Proceeding of 2nd Internacional Seminar y Workshop on Engineering Design in Integrated Product Develoment*, 12-14 October , Poland.
20. Ideas Lab internet disponible en <http://cpdm.iisc.ac.in/cpdm/rdes.php> Recuperado en Noviembre del 2016
21. Imai, M. (1986). *Kaizen: the key to Japan s Competitive Sucess*. MacGraw-Hill.
22. ID Institute of Design internet, disponible en <https://www.id.iit.edu/> Recuperado en Octubre del 2016.
23. Jones, C. (1984). *A Method of Systematic Design*. London, John Wiley and son.
24. Lloyd, Roozenburg, McMahon y Brodhurst (2004).Internet, Disponible en [https://pure.tudelft.nl/portal/en/publications/educating-interaction-experience-and-diversity\(a40f54e7-808f-4c2c-81f0-b96651139acb\).html](https://pure.tudelft.nl/portal/en/publications/educating-interaction-experience-and-diversity(a40f54e7-808f-4c2c-81f0-b96651139acb).html) recuperado en Abril del 2017.
25. Macaulay,C Sloan, D, Jiang, X. *Usability an user-centered design in scientific software development*.
26. Nagamachi, M. (1999). *Kansei engineering: the implication and applications to product develoment*. *Systems, Man and Cybernetics*,
27. Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. AP Professional, Boston.
28. Norman, D. A. (2011). *The design of everyday things*.

29. Norman, D. A. and Draper, S. (1986). User centered system design, Lawrence Erlbaum.
30. Pahl, G.; (1988). Engineering design, a systematic approach., Londres: Springer Cop.
31. Pahl, G. y Beitz, W.(1995). Engineering Design. Springer-Verlag.
32. Pugh, S. (1990). Total design. Integrated Methods for Successful Product Engineering. Wokingham, England, Addison-Esley Pub. Co.
33. Pugh, S. (1990). Total design. Integrated Methods for Succesful Engineering. Wokingham, England, Addison- Wesley.
34. Quarnte, D. (1992). Diseño Industrial 2. Barcelona. Ediciones CEAC.
35. Reunerstein, D. (1998). Developing products in half the time: new rules, new tools.
36. Robertson, S (2012). Mastering the requirements Process: Getting Requirements Right. Addison-Wesley Professional.
37. Santesmases Mestre, Miguel. DYANE. Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados Versión 2, México, Pirámide, 2001.
38. Shah, J.J y Vargas, H. (2003). Metrics for measuring ideation effectiveness. Design Studies 24.
39. Sommerville, I. (1997) Requirements engienering: A good practice guide.
40. Suh, N. (1990). The principles of design. Oxford University Press.
41. Srinivasan, V. (1988). A conjuctive-compesatory approach to the self-exp multiattributed preferences, Decision Studies.
42. Taguchi, G. (1986) Introduction to Quality Engienering:Design Quality into Products and Processes. 1 Ed. Productivity, Inc.
43. TU Delf (2017) Ingeniería en Diseño Industrial , internet, Disponible en <https://www.tudelft.nl/io/over-de-faculteit/afdelingen/product-innovation-management/design-theory-and-methodology/> recuperado en Septiembre del 2016.
44. Tseng, M;(1997). A variant approach to product definition by recognizing functional.
45. Ulrich, K.; Eppinger, S. (2004). Diseño y Desarrollo de Productos, (3ª Ed.). New York: Mc Graw Hill.
46. WDO (2017) (The world design organization) (2017), Internet, Disponible en <http://wdo.org/about/definition/>, recuperado en Abril del 2017.
47. Zangwill, W. (1999). Concurrent engineering: Concepts and implementation. IEEE Management Review.
48. RAE (2017), Diccionario de la lengua Española
49. Rozzenburg y Dorst (1992) Investigación en design thinking.
50. Yin (1996), Metodos de Diseño, Londres.

51. Davey (1990), Aplicacion de estudios de evaluacion y sus practicas.
52. Rasmussen, Petersen (1995), Ingenieria de Sistemas Cognitivos, NewYork
53. Chen, Zhao, Youbai (2015), New model of conceptual design base don scientific ontology and intentionality theory, Design Studies.
54. Umeda, Takeda, Tomiyama (1991), Funtion and Structure, aplicaciones of artificial inteliigence in Engineering, Berlin.
55. Mulet (2005) Descripcion y analisis de la efectividad del proceso de diseño creativo, Universidad Jaume.
56. Hatamura 2006,Realizar decisiones en la ingeniería del diseño, Londres, Springer
57. López 2007, Un modelo de decisión en conceptos de diseño, Paris
58. Quinlan (1992), Conectionism and psychology, Universidad de Cambrige.
59. Carlson (2001), Fisiologia de la Conducta, Barcelona
60. Martin (2003), Estudios de las redes bayesianas, Journal of Human-Computer Studies.
61. Martinez y Rodriguez(2003) Modelos graficos, técnicas estadísticas aplicadas al análisis de datos,Universidad de Almeria.
62. Edwards (1998) Tools for and experiences with bayesian normative modelling, american Psychology.
63. Herskovitz (2001) Aplicacionde de las redes bayesianas en la salud, Baltimore
64. Lopez (2006), Las redes Bayesians en Psicologia, Granada.
65. Rios (1995), Modelizacion, Madrid Alianza Universidad.
66. Morris (2004) Modelacion probabilistica con redes bayesianas, Sage Publications.
67. Cowell, (1999) Redes probabilísticas y sistemas expertos, Harrisonburg, Springer.
68. Ronald (1988) Teoría de Grafos California, Cummings.
69. Scheines, (2000) Causation, prediction and serach, Cambrige, MIT
70. Xiang, (2002)Probabilistic reasoning in miltiagent sustems, Cambrige University.

71. Gámez (1998) Abducción en modelos gráficos, Sistemas expertos probabilísticos, Universidad de Castilla, Madrid.
72. Huete (1998) Sistemas expertos probabilísticos: modelos gráficos, Universidad de castilla la mancha.
73. Takeda (1991) Modeling Design Process. AI magazine 11
74. Shenoy (2001) A bayesian network approach to making inferences in casual maps. Eurpean Journal of Operational Research.
75. Heckerman, 1995 Tutorial sobre redes bayesianas, Microsoft research
76. Shenoy (2004) A casual mapping approach to contructing bayesian networks, Decision Sipport Systems

ANEXO 1

Antecedentes de las redes bayesianas

Para finales del siglo XX y principio del siglo XXI surgió la necesidad de utilizar modelos para el estudio de los procesos cognitivos.

Se encontró que las redes bayesianas, como metodología matemática no cuenta con refutaciones internas, ya que permite representar de manera formal lo que el investigador desarrolla en su cotidianeidad, asimilando información previa que puede venir de otras investigaciones. Está enfocada en situaciones que tienen estudios con muestras pequeñas o de casos únicos de estudio y las bases matemáticas involucradas no son más complejas que las modelaciones y el análisis de datos comunes.

La interpretación bayesiana se ha “facilitado” gracias al avance tecnológico para almacenar y disponer de la información, ya que para una correcta aplicación se necesita manipular gran cantidad de datos que pudieran estar relacionados, optimizados y con posibilidad de evolucionar en modelos representativos de distintas investigaciones científicas.

Las redes bayesianas son herramientas de la estadística emanadas de la Inteligencia Artificial, lo cual permiten afrontar investigaciones con un gran número de variables y relaciones, lo cual es convertido en un esquema donde se muestran las probabilidades de las estadías y sus relaciones mediante la regla de Bayes.

Para contextualizar, a continuación se describe porque la inteligencia artificial es importante para la modelación de los procesos cognitivos.

Los primeros estudios sobre inteligencia artificial fueron los de Alan Turing, llamado Computing machinery an Intelligence, y el de Claude Shannon, nombrado Análisis simbólico

y conmutación. El objetivo primordial de la inteligencia artificial era crear sistemas que emularan los procesos mentales que realizaban las persona.

El modelado de los procesos mentales se ha podido realizar gracias al desarrollo de los sistemas de cómputo, ayudando a cerrar brechas entre disciplinas, evolucionando a la inteligencia artificial y a las investigaciones de procesos cognitivos hacia la denominada filosofía de red, que surgió en el entorno del asociacionismo y el conexionismo cuando McCulloch y Pitts desarrollaron la primera neurona artificial (Quinlan 1992).

La posterior tendencia hacia el conexionismo derivó en la estructura de las redes neuronales artificiales. Bajo esta perspectiva, se ha tratado de desarrollar sistemas que modelen la red neuronal humana mediante procesos de cómputo.

Las redes neuronales artificiales tienen como principio la estabilización selectiva (Carlson, 2001), la cual es una generalización del aprendizaje, aplicada a la estructura química y fisiológica de la sinapsis de las neuronas.

La idea de las redes neuronales empezó a perder importancia en los años setenta, cuando se observó que mecanismos de cómputo artificiales se desbordaban cuando se les probaba con problemas lineales (Quinlan, 1992). No obstante, en la década de los ochentas del siglo pasado se reanimó el interés por esta herramienta estadística. Ejemplo de esto son el desarrollo de los mapas auto organizativos de Kohonen, que tienen como finalidad simular procesos de aprendizaje mediante una reestructuración de conexiones sinápticas.

A finales del siglo XX las redes neuronales se estancaron, ya que no surgieron algoritmos de propagación de información que tuvieran algún efecto considerable en la comunidad científica, por lo que los métodos que utilizaban redes neuronales artificiales fueron homologados a técnicas estadísticas clásicas (Martin,2003).

En la actualidad, las redes neuronales artificiales han resurgido, ya que el poder de cómputo ha mejorado en forma exponencial, lo que llevó a mejorar y agilizar los cálculos necesarios para que las redes neuronales sean aplicadas en distintos campos de la ciencia.

Ejemplo de lo anterior son las redes Bayesianas, que surgieron hace cuatro décadas como una alternativa a los sistemas expertos clásicos orientados a la predicción y toma de decisiones bajo incertidumbre en términos probabilísticos (Edwards, 1998).

La red Bayesiana denominada como red causal probabilística, herramienta estadística que simboliza a un conjunto de incertidumbres con relaciones de independencia condicional, forman parte de los sistemas estocásticos altamente estructurados y son técnicas de modelación gráfica (Martinez y Rodriguez, 2003). También se podría definir, tomando lo que dice (Herskovitz, 2001), como el conjunto de variables codificadas probabilísticamente de forma gráfica en las cuales dichas variables están conectadas en términos de independencia condicional y por distribuciones de probabilidad condicional, las cuales pueden ser modificadas por medio del teorema de Bayes.

Para mostrar y divulgar el formalismo y rigor de las redes bayesianas en el contexto de investigación de procesos cognitivos, en especial para el proceso de diseño de productos, a continuación se describirán los principios matemáticos que sustentan las redes bayesianas, después se señalarán las ventajas de estas técnicas estadísticas, particularmente cuando son para análisis de datos multivariantes.

Posteriormente, se construirá y validará la red bayesiana del proceso de conceptualización de diseño, con el fin de observar posibles usos potenciales para aportar a las técnicas de investigación en diseño.

Bases teóricas de las redes Bayesianas

Para describir la estructura de las redes bayesianas se utilizan los elementos que son visibles del grafo o esquema (Lopez, 2006). Tomando esto en cuenta, una red bayesiana está compuesta por cuatro partes: la parte superior de la red sería una amalgama de variables que son representadas por nodos y flechas que unen a las variables dependiendo de su influencia, en la parte inferior se encuentran los niveles conocidos como espacio de estados (Shenoy,2004) de los cuales pueden apropiarse las variables; como tercer parte se

tiene un grupo de funciones de probabilidad condicional, donde a cada nodo le corresponde una (ahí se representa la probabilidad de ocurrencia de cada variable condicionando posibles valores de las variables) y, finalmente, se tiene al cúmulo de algoritmos que hacen que la red calcule todas las probabilidades para todas sus partes.

En la literatura (Edwards, 1998) se menciona que las redes bayesianas se describen invariablemente con dos componentes, uno cuantitativo y otro cualitativo. Los principios teóricos de estos componentes se basan en dos fundamentos de la modelización matemática: la teoría de la probabilidad y la teoría de grafos (Ríos, 1995).

En los siguientes puntos se describe en qué consisten los componentes cualitativos y cuantitativos de las redes bayesianas.

Componente Cuantitativo

Para poder comprender el componente cuantitativo de las redes bayesianas se requiere explicar sus tres elementos: el concepto de probabilidad subjetiva relacionada al evento, el teorema de Bayes y un grupo de funciones de probabilidad condicional.

Para entender la probabilidad hay al menos cuatro formas: clásica, axiomática, empírica y subjetiva.

Laplace fue quien generó el concepto clásico, el cual dice que la probabilidad de que ocurra un evento en un espacio muestral está dado por la razón que es establecida entre el número de casos a favor, asociados a un suceso, y el número de casos que son posibles. El problema es que este razonamiento lleva a resultados falsos en situaciones específicas, especialmente cuando la muestra es reducida. Con el fin de resolver este problema se originó otra definición de probabilidad que fuera compatible con la de Laplace, la cual nos dice que la probabilidad de algún evento se entiende como una función del número de

ensayos cuando tienden a infinito; sin embargo, siguen surgiendo problemas cuando no es factible repetir algún evento infinitamente.

Con esto en mente, Kolmogoroff desarrolló otra forma de interpretar a la probabilidad en la que propuso un acervo de principios que tienen por objeto hacer más manejable el concepto de probabilidad, llegando a la comprensión de que toma valores entre 0 y 1, que la suma de las probabilidades es resultado de la unión de eventos incompatibles y que la probabilidad de que un evento seguramente suceda es 1.

La probabilidad estudiada desde el punto de vista subjetivo, se puede ver como el grado de convencimiento que se tiene de que suceda algún evento. Dixon, en 1970, entendió a la probabilidad como “algo que está en nuestra mente y no en el mundo físico real”. Esta noción de probabilidad viene ramificada del principio de incertidumbre y se denomina bayesiana/frecuentista. Se pueden reconocer tres tipos de aspectos bayesianos que se diferencian del concepto de probabilidad física: un campo que la considera inexistente, otro campo la rechaza y un campo que la usa como si existiera pero sin justificación filosófica (Morris, 2004).

Tomando en cuenta los conceptos anteriores, se puede decir que la probabilidad es una forma de cuantificar la incertidumbre que aparece cuando sucede algún evento y, para el caso de las redes bayesianas, la probabilidad se entiende de forma subjetiva, esto significa que sería una creencia cuando sucede algún evento.

La regla básica para la ejecución de las creencias de una red bayesiana es el teorema de Bayes, que se deduce del principio que relaciona la probabilidad de la intersección de eventos y su probabilidad condicional.

$$[p(A \cap B) = p(A|B) \times p(B) = p(B|A) \times p(A)]$$

Lo anterior hace que sea posible aplicarla de manera más eficiente con la transmisión de probabilidades en modelos de grafos, en términos de independencia y dependencia condicional (Cowell, 1999). La utilidad de la regla de Bayes es la facilidad de actualización de las probabilidades asociadas a cualquier modelo, del que se reciben evidencias de cambios sobre las variables contenidas. A grandes rasgos, una red bayesiana actualiza las

probabilidades dentro de un gráfico direccionado, no cíclico, donde se toma en cuenta la independencia condicional en el momento que se incorpora algún cambio al modelo.

La red bayesiana necesita un grupo de funciones de probabilidad condicional, que se asignan a cada variable que se encuentra dentro de la red, a los cuales se aplica el teorema de Bayes. Particularmente, cada variable de esa red es descrita por una tabla de probabilidad condicional donde se representan los valores de la variable, condicionados a cada una de las posibles combinaciones que se establecen entre los valores de las variables madre. A todas las variables madre se les asigna una probabilidad y con estas se trabaja el teorema de Bayes.

Resumiendo, las redes bayesianas usan el teorema de Bayes y los principios de la independencia condicional entre las variables de un modelo gráfico, con el fin de extender probabilidades sobre los eventos del mismo tipo.

Componente Cualitativo

El punto de vista teórico del componente cualitativo de las redes bayesianas es la teoría de grafos, la cual estudia cómo crear modelos gráficos (grafos) que plasmen desde un punto de vista holístico todos los elementos que componen algún problema. Esta teoría fue propuesta por Euler con el fin de dar solución al problema de puentes de Königsberg (Rios,1995). La teoría de grafos ha sido utilizada para diversos problemas, que van desde representar la formación de moléculas hasta estructuras comerciales (Rios, 1995; Ronald, 1988).

Para describir una red bayesiana, la cual es un gráfico, se usará la terminología de (Ronald, 1988; Scheines, 2000; Xiang, 2002), los términos para su descripción puede variar dependiendo de los autores.

Se empieza definiendo a un par $G=(V,E)$, donde V es una agrupación finita de vértices, nodos o variables y E es un subgrupo de la agrupación $V \times V$ que son pares ordenados de vértices

llamados aristas. Se puede decir que una red bayesiana es un tipo particular de gráfico llamado “gráfico direccionado no cíclico”.

Direccionado significa que los enlaces de los vértices del gráfico tienen dirección concreta. Se puede explicar de la siguiente manera: se tienen dos pares ordenados (A, B) y (B, A) que pertenecen a G . Se dice que se tiene un enlace no direccionado entre A y B , representado como $A \sim B$ y, por otro lado, se dice que A y B son adyacentes, la agrupación de adyacentes del vértice A se designa como $Ady(A)$; por lo tanto, si $(A,B) \in E$ pero $(B,A) \notin E$, se dice que hay un enlace direccionado entre los nodos y se representan como $A \rightarrow B$; asimismo, se puede decir que A es la variable madre de B y que B es variable hija.

Cuando se refiere a no cíclico, esto significa que no es posible que existan loops en el gráfico; es decir, cuando se comienza a recorrer por un camino direccionado nunca se podrá regresar al punto de partida.

Cuando aparecen arcos entre nodos, estos tienen la función de codificar información esencial, por lo que son auxiliares en la red. En caso contrario, cuando hay ausencia, la información que aportan es explicada por la independencia condicional (Edwards, 1998).

Para entender mejor la independencia condicional, se explica el principio de independencia de la siguiente manera: Sean las siguientes agrupaciones X , Y y Z de variables; X e Y son condicionalmente independientes dado Z , si:

$$P(x/z) = P(x/yz)$$

También existe otra forma de enunciar dicho principio: dos variables X e Y son independientes en probabilidad de una tercera Z , si y solo si:

$$P(x y/z) = P(x/z) \times P(y/z)$$

Como consecuencia de este principio, la probabilidad de X es igual condicionada a Z y condicionada también a Z e Y ; en otras palabras, si conocemos el estado de Z , el conocimiento del estado de Y es intrascendente para conocer algo de X . Otro dato importante es que el principio de independencia condicional es simétrico; esto significa que, cuando X es independiente de Y , Y es independiente de X . Esto es importante ya que

permitirá factorizar la distribución conjunta de las variables del modelo de una red bayesiana, de tal manera que se transmiten los cambios a través de la totalidad del modelo

$$p(x) = \prod_{v \in V} p(x_v | x_{pa(v)})$$

Donde X_v se refiere al nodo de estudio y $X_{pa(v)}$ a sus padres, respectivamente (Gámez,1998; Huerte, 1998; Shenoy,2001).

Las conexiones que existen en las redes bayesianas son de tres tipos: seriales, divergentes y convergentes. Cada conexión tiene características cualitativas que ayudan a la transmisión de probabilidades cuando surge un cambio en el modelo.

Las primeras conexiones, en serie, denotan la dependencia entre las variables $A \rightarrow B \rightarrow C$, donde se puede ver que B depende de A y la variable C de B; en términos comunes se diría que A es causal de B y que B es causal de C. Cuando tenemos estos casos y, como sabemos la dependencia de las variables, podemos modificar la certidumbre de C al conocer la información de A, lo que también aplica a la inversa. Ahora, se debe tener cuidado porque, si se tiene información de B, el conocimiento de A o C no necesariamente modificará a B; en forma matemática se dice que la transmisión de información se corta y vemos que A y C son independientes de B conocido.

Las conexiones convergentes realizan un direccionamiento de varias variables hacia una variable objetivo $A \rightarrow B \leftarrow C$, esto significa que las variables convergen en una variable hija. En este tipo de conexiones, las variables madre son independientes entre sí pero la variable donde convergen tiene la capacidad de influir sobre sus variables origen. La propiedad más importante que se usa con estas conexiones es al transmitir la información ya que, cuando se tienen datos de la variable donde convergen las variables de origen, se vuelven dependientes y la información se transmite por todas; se diría que A y C son dependientes de B conocido.

Con respecto a las conexiones divergentes, se tiene una variable madre de la cual salen direccionamientos hacia varias variables hijas $A \leftarrow B \rightarrow C$. Aquí, cuando no se conoce la información de la variable madre, hay dependencia entre las variables de forma idéntica a

las conexiones seriales; pero, cuando se conoce la información de la variable madre, las variables hijo se hacen independientes y, por consecuencia, la información no se trasmite si se le da información a las variables hijas, resultando que A y C son independientes si B es conocido.

Las características de las redes bayesianas

La característica más importante que nos proporcionan las redes bayesianas, en comparación con otros métodos de análisis probabilístico multivariable, es que permiten conjuntar los componentes cuantitativos y cualitativos de un reto en un entorno gráfico comprensible para su estudio (Heckerman, 1995).

Otra característica, ya en la operatividad de las redes bayesianas, es que se puede trabajar con datos perdidos o desconocidos obtenidos del mundo real (Shenoy, 2004). El inconveniente que pueden presentar es que, si una variable tiene datos perdidos, su probabilidad sería cero; esto también ayuda a reducir el sobre ajuste de los datos, aplicando el conocimiento previo en conjunto con datos experimentales, teniendo como resultado la técnica estadística bayesiana (Heckerman, 1995).

Otra bondad de las redes bayesianas es que permiten revelar las estructuras causales de un grupo de datos (Scheines. 2000), lo que significa que se puede realizar un modelo gráfico, basado en probabilidades, a partir de datos recabados por observaciones experimentales.

Las redes bayesianas son más robustas cuando se utilizan para toma decisiones, con respecto a los sistemas expertos clásicos que se basan en reglas ya que, las redes bayesianas presentan la totalidad de información en forma gráfica y probabilística (lo que hace más sencilla su interpretación), permiten acceder a datos obtenidos con antelación que no podrían ser razonados por cambios a los datos últimos del modelo y nos dan un

panorama general para estructurar grupos de alternativas que facilitan las conclusiones (Huete,1998). Asimismo, cuando se realiza una red bayesiana basándose en datos de un experto para orientar en la toma de decisiones, la generación o distribución de probabilidades es más sencilla, ya que las redes bayesianas trabajan con conceptos de la teoría de decisiones como son valor o valor esperado (Martínez y Rodríguez, 2003).

En el ámbito de las inferencias en las redes bayesianas es posible utilizar inferencias bidireccionales (causa a efecto y efecto a causa) e inferencias abductivas, que permiten encontrar la mejor explicación para cualquier grupo de datos (Gamez, 1998).

Ahora bien, la característica crucial de una red bayesiana, en el entorno de inferencias estadísticas, es que se pueden realizar operaciones locales (Xiang. 2002), con lo cual es posible actualizar efectivamente las probabilidades sin tener que calcular todas las posibles combinaciones de las variables que se encuentran, tanto en niveles inferiores como superiores, evitando así un incremento exponencial en el número de cálculos cuando se ingresan datos nuevos al gráfico. Con esta característica, que se deriva de los principios de independencia y dependencia condicional, las redes bayesianas son un buen instrumento para tareas que requieren actualizaciones rápidas.