

FORMACIÓN EN DISEÑO DE INGENIERÍA EN LA UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO E INICIATIVA CDIO ¹

TRAINING IN ENGINEERING DESIGN AT UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, CDIO INITIATIVE

Diego Fernando Jaramillo Patiño²

Recepción: Marzo 18 de 2013

Aceptación: Junio 16 de 2013

Cómo citar este artículo: Jaramillo P. Diego F. (2013). Formación en diseño de ingeniería en la Universidad del Quindío e iniciativa CDIO³. *Sophia*, Vol. (9), 155-168.

Resumen

Este trabajo tiene por objeto recoger la experiencia en la formación en Diseño de Ingeniería en el Programa de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío, como insumo para la implementación de la iniciativa: concebir, diseñar, implementar y operar (CDIO). En primer lugar, haremos una presentación de lo que constituye esta propuesta. En segundo lugar, mostraremos tanto que la formación en Diseño de Ingeniería ha venido a ser en el tiempo un área completamente constituida, así como, la estructura curricular de esta. Seguidamente, haremos referencia, en términos generales, a los fundamentos epistemológicos asumidos como guía para la acción técnica. Para ocuparnos, finalmente, de exponer los fundamentos metodológicos del área, tanto a nivel de la metodología de diseño como de la didáctica adoptadas.

Palabras clave

CDIO, currículo, diseño de ingeniería, formación de ingenieros, metodología.

Abstract

This work is aimed to collect the training experience in Engineering Design from the Electronic Engineering Program, Engineering Faculty, Universidad del Quindío, as an input for the implementation of the CDIO Initiative (conceive, design, implement, operate). Firstly, we will make a presentation of the proposal. Secondly, we will demonstrate that Engineering Design training has been evolving throughout time as a completely well constituted area as well as its curricular structure. Next, we will make reference to the epistemological foundations assumed as technical guidelines in general terms. Finally we will address the issue of the methodological grounds of the area both in terms of the design methodology and the teaching methodology recently adopted.

Key words

CDIO, curricula, engineering design, engineering training, methodology.

1. Este trabajo representa el producto de la primera fase culminada del proyecto "Implementación de la Iniciativa CDIO en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío". El proyecto está pensado para llevarse a cabo en dos fases: la fase de formulación, la cual parte de identificar las experiencias existentes en la formación en diseño, en sensibilizar en el modelo y en capacitar en su kit de implementación y la fase de implementación, la cual consiste en la reforma curricular propiamente dicha según el modelo CDIO.

2. Mg. Filosofía de la Ciencia y Epistemología, Profesor de Metodología del Diseño en Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad del Quindío, integrante del grupo de investigación GAMA, diegojaramillo@uniquindio.edu.co Universidad del Quindío Carrera 15 Calle 12N, Armenia, Quindío, Colombia.

Introducción

La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, (ACOFI), se comprometió desde la primera década de este siglo a la modernización curricular de la formación de ingenieros en Colombia. La idea fundamental detrás de esta reforma profunda de la educación en ingeniería es que es preciso y urgente vincular el contexto del ejercicio profesional de la ingeniería con el de formación de ingenieros, hasta hoy en día disociados. Esta no es un fin en sí mismo y, por lo tanto, debe poder rebasar las fronteras de las aulas y dar respuesta a los desafíos que las nuevas condiciones de la globalización imponen al ejercicio de la profesión de ingeniería. Es así como se propone la consideración de llevar a cabo esta reforma mediante la adopción del modelo curricular contenido en la iniciativa.

La iniciativa curricular CDIO define que la función fundamental de los ingenieros graduados es la de concebir, diseñar, implementar y operar sistemas de ingeniería dentro de un ambiente basado en el trabajo en equipo. Para lograrlo, se adoptan 12 estándares los cuales definen los aspectos diferenciadores de un programa CDIO y sirven como guía para la reforma y evaluación del programa educativo, generan puntos de referencia y metas de aplicación global, y suministran un marco para el mejoramiento continuo. Los doce estándares CDIO orientan: la filosofía del programa (estándar 1), el desarrollo curricular (estándares 2, 3 y 4), los talleres y las experiencias que incorporan el diseño (estándares 5 y 6), los nuevos métodos de enseñanza aprendizaje (estándares 7 y 8), el desarrollo del profesorado (Estándares 9 y 10), y la evaluación y valoración (estándares 11 y 12). De estos 12 estándares 7 se consideran esenciales puesto que distinguen los programas CDIO de cualquier otra iniciativa diferente de reforma, los 5 restantes se consideran suplementarios y contribuyen al enriquecimiento del programa CDIO a la vez que reflejan las

mejores prácticas en la educación en ingeniería. Entre los estándares esenciales, dos son de interés especial como criterios para evaluar la formación en diseño de ingeniería. El estándar 1, el cual orienta la filosofía del programa y que reza:

“Estándar 1 --CDIO como Contexto: La adopción del principio de que el desarrollo y despliegue del producto y del ciclo de vida del sistema –Concebir, Diseñar, Implementar y Operar— son el contexto para la educación en ingeniería.”⁴

Puesto que supera la formación de meros ingenieros calculistas y nos pone en camino de formar ingenieros diseñadores. Y el estándar 5, el cual reza:

“Estándar 5 – Experiencias Estructuradas de diseño: Un currículo que incluya dos o más experiencias estructuradas de diseño, una en un nivel básico y otra en un nivel avanzado.”⁵

Que nos permite valorar, recoger y apropiar nuestras propias experiencias de formación en diseño en ingeniería como insumo importante para implementar la iniciativa CDIO⁶. En el año 2011, la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío se compromete seriamente con la iniciativa CDIO y echa a andar un proyecto en dos fases para su implementación, a saber: una fase de formulación y una de ejecución. La primera fase, incluía la identificación, valoración y descripción de las experiencias existentes en el ámbito de la formación en diseño de ingeniería. Sin embargo, de los cuatro programas de ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío, solo el programa de Ingeniería Electrónica posee un componente curricular dedicado expresamente a la formación en diseño de ingeniería, razón por la cual este trabajo se limita exclusivamente

4. Consúltese: <http://www.cdio.org/implementing-cdio/standards/12-cdio-standards#standard1>

5. Consúltese: <http://www.cdio.org/implementing-cdio/standards/12-cdio-standards#standard5>

6. Para un acercamiento más detallado y completo a los elementos de la Iniciativa CDIO, pueden remitirse a la página web <http://www.cdio.org>

a considerar las experiencias en la formación en diseño de ingeniería en el Programa de Ingeniería Electrónica con el fin de determinar en qué medida representan un verdadero insumo para la implementación de la iniciativa CDIO.

No obstante, en el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío la formación en diseño ha sido un propósito pedagógico de gran importancia. Para alcanzarlo, se ha venido consolidando, desde hace ya ocho años, una cultura del diseño, mediante la inclusión en la malla curricular de un área de formación en diseño de ingeniería. La experiencia partió de la primera reforma curricular adelantada en el Programa de Ingeniería Electrónica en el año 2005 para dar cumplimiento al Acuerdo del Consejo Superior 018 de 2004, la cual reforma el Plan Curricular 209 e implementa el C64. La diferencia fundamental entre ambos planes curriculares lo constituye el concepto de diseño, el enfoque metodológico y los contenidos. En este trabajo se pretende mostrar que, con el objetivo de formar ingenieros diseñadores, el plan curricular C64 constituye una experiencia epistemológicamente estructurada y metodológicamente orientada para tal fin.

Finalmente, vale la pena anotar que la experiencia en la formación en diseño de ingeniería descrita en este trabajo tiene, al menos, dos utilidades prácticas inmediatas. De una parte, contribuye a la superación de la cultura de la tarea y su reemplazo por una cultura de la satisfacción de requerimientos, más pertinente para la formación de ingenieros diseñadores y, de otra parte, servirá de base o como insumo para la implementación de la iniciativa CDIO, con miras a la futura reforma curricular del Programa de Ingeniería Electrónica de dicha institución, puesto que aporta los elementos ganados a lo largo de una experiencia de ocho años en la formación de ingenieros diseñadores la cual coincide con los estándares CDIO adoptados.

Materiales y métodos

Este proyecto se desarrolla, al menos en su etapa de formulación, a través de la metodología

de investigación evaluativa, en la cual el proceso de información está orientado a la emisión de juicios de mérito o de valor respecto de algún objeto. En nuestro caso, respecto de los componentes dedicados al diseño en los dos planes curriculares que ha tenido el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío a lo largo de su existencia, a saber: el Plan Curricular 209, vigente desde 1997 hasta 2005, y el C64, vigente desde 2005 hasta la fecha, el cual será sujeto de reforma curricular según los lineamientos de la iniciativa CDIO.

Los juicios evaluativos derivados serán de carácter criterial, es decir, permitirán establecer estrategias de mejora curricular ya que se identifican claramente los grados de dominio en cada contenido evaluado, esto es, en el conjunto de espacios académicos denominados Diseño en ambos planes curriculares.

Estos juicios evaluativos criterios serán utilizados para determinar la eficacia de cada uno de los componentes de diseño en ambos planes curriculares y para determinar el grado de éxito de cada uno con respecto al objetivo de la formación de ingenieros diseñadores.

El modelo a utilizar será propiamente el basado en objetivos. En la fase de identificación, hemos reconocido plenamente los objetivos operativos de cada espacio académico con denominación Diseño en ambos planes curriculares. En la fase de seleccionar instrumentos de medición, hemos adoptado los estándares CDIO 1 y 5, a saber, el enfoque del diseño como contexto para la formación de ingenieros y la existencia real de mínimo dos experiencias estructuradas de diseño, en dos niveles diferentes uno básico y otro avanzado. Y finalmente, en la discusión de los resultados, hemos analizado en detalle la estructura del área de formación en diseño de ingeniería presente en el Plan Curricular C64, mostrando que cumple con ambos estándares y que, por lo tanto, sirve como insumo para la implementación de la iniciativa CDIO.

Resultados

En sus 16 años de existencia, el Programa de Ingeniería Electrónica ha tenido hasta la fecha dos planes curriculares. El primero de ellos, con el cual nació, conocido como el Plan Curricular 209 y el C64, surgido posteriormente con la reforma curricular del año 2005. Aun cuando ambos planes de estudio contienen asignaturas o espacios académicos denominados Diseño, estos son completamente diferentes en cuanto a su concepción del diseño, su orientación metodológica y sus contenidos.

El Plan Curricular 209

Antes de describir los espacios académicos con denominación Diseño en el Plan Curricular 209, vale la pena hacer algunas consideraciones preliminares en torno a la asignatura denominada Metodología de la Investigación, debido a que esta se transforma en el espacio académico denominado Fundamentos de Diseño en el Plan Curricular.

Metodología de la Investigación es una asignatura cuya importancia en el proceso de formación es crucial. Presente en casi la totalidad de los planes curriculares de los más diversos programas es, pese a todo, una asignatura cuya naturaleza suele ser ignorada o malinterpretada, tanto por quienes la imparten como por quienes la cursan. Son dos, en principio, las razones de esta situación: La concepción que de ella se tiene y que orienta su enseñanza, una; y, la inadecuación de sus contenidos a las condiciones y circunstancias de los saberes propios de los diversos programas de formación.

En cuanto a la primera razón, la metodología de la Investigación es concebida desde un punto de vista instrumental, no como Teoría del Método y tampoco como Lógica de la Investigación, sino como algoritmo del modo de proceder en la investigación, como listado ordenado de los pasos del procedimiento. Así concebida, pues, la metodología es enseñada como el recetario seguido en la ciencia para el descubrimiento

de la verdad; la lógica del descubrimiento y la dinámica del aumento del conocimiento, son remplazadas por el formalismo vacío del procedimiento. En consecuencia, la Metodología de la Investigación pierde su sentido y su efectividad. No es de extrañarse el que sea considerada como una asignatura costura, la cual es solo una pérdida de tiempo.

Respecto a la segunda razón, la inadecuación de los contenidos impartidos en la asignatura de Metodología de la Investigación a la índole de los saberes propios de los diversos programas de formación, es el resultado de un razonamiento cuyas premisas son solo prejuicios: se parte del presupuesto de la existencia de un único método científico; luego, se afirma la naturaleza científica de los diversos saberes propios de cada programa de formación superior; para, seguidamente, asumir que la tarea metodológica es la formación de investigadores. En consecuencia, es la conclusión: el contenido adecuado de la asignatura Metodología de la Investigación es el método científico, ya que resulta pertinente para todos los saberes. No obstante, la solidez de tal razonamiento es bastante dudosa. El primer prejuicio, es producto de la ausencia de una teoría crítica del método. El segundo, de la ignorancia de los criterios epistemológicos mínimos de demarcación del conocimiento científico, tecnológico, técnico, profesional, humanístico y artístico. El tercer prejuicio, es una consecuencia lógica de la adopción de los dos anteriores y se fija una tarea, desconociendo el compromiso de la educación no solo con la formación de investigadores científicos, sino también con la de profesionales.

Así, pues, a la luz de lo dicho, ni los contenidos de la asignatura Metodología de la Investigación pueden ser homogéneos ni las didácticas, equivalentes. La pertinencia es el resultado de una estricta diferenciación de los saberes, de una clara visión del producto de la formación y de una adecuada correspondencia entre contenido y método. En ello consiste su sentido y de ello depende su efectividad.

Resulta así, pues, el que al orientar la metodología a la investigación científica

exclusivamente se diluye la tarea metodológica de formación de profesionales en sus propias metodologías y prácticas, dejando con ello un vacío profundo en la formación y una confusión en la naturaleza misma de lo que significa y es la profesión de ingeniero que, por lo demás, supera con mucho el miope enfoque de la ciencia aplicada. En virtud de la necesaria diferenciación entre las ciencias y las profesiones, se justifica la existencia de un espacio curricular para la formación metodológica de nuestros ingenieros en las metodologías propias de la solución de problemas en ingeniería, sobre todo, orientando su aprendizaje y aplicación a problemas generales relacionados con el diseño de ingeniería.

El Plan Curricular 209 contenía tres asignaturas denominadas Diseño I, II y III ubicadas en los tres semestres finales del plan, los semestres VIII, IX y X pero cuyo contenido tiene muy poco que ver con la formación metodológica en diseño de ingeniería mediante la enseñanza de métodos robustos y enfoques sólidos de diseño, ya que están orientados a aspectos financieros, de costos y mercados. Veamos un poco.

El curso de Diseño I tenía por objetivo general: “Brindar al estudiante las herramientas necesarias para elegir, plantear y ejecutar un proyecto en el área de la electrónica, teniendo en cuenta consideraciones de índole técnico para la realización del mismo”; y como objetivo específico: “Plantear, diseñar e implementar un proyecto en el área específica de la electrónica, incluyendo la metodología de presentación para la presentación de los informes de avance y finalización”. Entre los temas se encontraban: Método de selección de un proyecto de investigación; diseño de circuitos impresos; descargas electrostáticas y efectos en el cuerpo humano; presentación del informe final y evaluación de resultados. Puede verse que el curso no tiene una unidad conceptual, ni temática, ni metodológica, toda vez que no define precisamente la noción de proyecto, confunde la investigación con el diseño y no muestra ni cuál es el producto esperado ni cómo llegar a él.

El curso de Diseño II tenía por objetivo general:

“Establecer claramente una metodología para el manejo de proyectos, bien sean de tipo de inversión económica o de rentabilidad social.”. Los objetivos específicos estaban formulados en correspondencia con los contenidos temáticos, pero igualmente ajenos al diseño y a las metodologías de este. Los temas nodales del curso eran: formulación de proyectos, análisis de mercados, planeación en ingeniería –métodos como el Pert o la ruta crítica- y sistemas de costeo. Nuevamente, un curso sin un norte metodológico, sin un producto claro, carente de un soporte en el diseño de ingeniería.

Finalmente, el curso Diseño III tenía por objetivo general: “Establecer un criterio para seleccionar la mejor alternativa de ejecución de un proyecto, desde su perspectiva financiera con el fin de maximizar la rentabilidad de la inversión realizada”, el cual se pretendía alcanzar mediante contenidos temáticos tales como: La cuantificación del dinero en el tiempo, los sistemas crediticios, la rentabilidad y los sistemas de financiamiento. Este desolador panorama de confusión en torno al diseño: su naturaleza, sus prácticas y sus productos, ve una luz al final del túnel en el Plan Curricular C64 que lo reemplaza pues, aun cuando se reducen a dos cursos de diseño, estos se reorientan, esta vez sí, hacia un enfoque metodológico verdaderamente de diseño de ingeniería y se abren espacios curriculares nuevos dedicados exclusivamente a la formación en gestión de proyectos y análisis financiero. A continuación veremos cómo está constituido actualmente el componente curricular del área de diseño de ingeniería.

El Plan Curricular C64

El área de formación en Diseño de Ingeniería presente en el Plan Curricular C64 está compuesta por tres espacios académicos de carácter metodológico, a saber: Fundamentos de Diseño, Diseño I, Diseño II; y un espacio académico no convencional: Proyecto de Grado, ubicados en orden consecutivo en los semestres VII, VIII, IX y X, en la malla curricular del Programa de Ingeniería Electrónica de

la Universidad del Quindío. Su estructura representa un modelo simplificado del proceso de diseño cuyo presupuesto pedagógico fundamental es la formación de ingenieros diseñadores a través del ejercicio reflexivo y gradual del método propio de la ingeniería.

Dado que es importante guiar las prácticas por principios epistemológicos, cada una de las asignaturas que conforman el área de formación en Diseño de Ingeniería consta de un componente teórico y un componente metodológico. El primero, consiste en un sólido corpus de principios epistemológicos como marco para comprender la racionalidad de la ingeniería, el cual está dividido en dos partes: una en donde se intenta desmontar la visión de la ingeniería como ciencia aplicada mediante una serie de argumentos de carácter metodológico, epistemológico y ontológico. Otra, en donde se reflexiona acerca de la naturaleza de la ingeniería, de sus prácticas y de sus productos. El componente metodológico consiste en un enfoque del proceso de diseño como guía de la acción metodológica.

En esta área se ha adoptado el enfoque sistemático del proceso de diseño, profusamente desarrollado por Pahl & Beitz (2005), sin desconocer la existencia de otros enfoques y su pertinencia, tales como el enfoque axiomático (Suh, 1990, 2001), el diseño total (Pugh, 1991), el diseño paramétrico (Simon, 1996), el diseño reflexivo (Schön, 1983), por citar algunos. La razón de ello es que el mencionado enfoque permite representar el proceso de diseño mediante un modelo simple en tres etapas de gran utilidad para fines pedagógicos, a saber: Diseño Conceptual, Diseño Preliminar, de Materialización o de Incorporación y Diseño de Detalle.

Con base en lo anterior, cada uno de los espacios académicos que conforman el componente de Diseño del Programa de Ingeniería Electrónica se ocupa de una de las fases del modelo del proceso adoptado.

El componente se inicia con la asignatura Fundamentos de Diseño, la cual se encarga de introducir a los estudiantes en las tareas y técnicas del método de diseño constituyendo así la “caja de herramientas” con la cual los estudiantes abordarán las siguientes etapas. Seguidamente, la asignatura Diseño I tiene a su cargo la etapa del Diseño Conceptual, la asignatura Diseño II se ocupa de la etapa del Diseño Preliminar o de Incorporación y, finalmente, el espacio académico no convencional Proyecto de Grado, antes Diseño III, se encarga de la etapa de Diseño de Detalle.

El espacio académico Fundamentos de Diseño tiene como objetivo operativo “Elaborar un marco epistemológico de fundamentación del diseño de ingeniería y un marco metodológico preliminar que aporte la caja de herramientas básica y la forma de su uso para llevar a cabo el proceso de diseño de manera racional, es decir, sistemática y metódicamente de un artefacto a escala cuya forma y función satisfagan los requerimientos para la solución de un problema de ingeniería propuesto.”, constituyendo así una experiencia estructurada de diseño de nivel básico.

El espacio académico Diseño I tiene como objetivo operativo “Aplicar las herramientas de diseño a la elaboración de un concepto de diseño y a su posterior comprobación experimental, de tal manera que a través de formular un problema de diseño en ingeniería, aplicar las herramientas del método para producir una representación conceptual nítida del diseño en cuestión y elaborar, entonces, arreglos experimentales con el fin de realizar una comprobación de concepto de diseño.”, constituyendo así el primer momento de una experiencia estructurada de diseño de nivel avanzado, a saber: Concebir y Diseñar.

El espacio académico Diseño II tiene como objetivo operativo “Aplicar las herramientas de diseño a la obtención de una descripción detallada mediante especificaciones, que permita la incorporación en un prototipo funcional de un concepto comprobado de un artefacto de diseño.”, constituyendo así el segundo momento

de una experiencia estructurada de diseño de nivel avanzado, a saber; Implementar y Operar. El espacio académico no convencional Proyecto de Grado, no se encuentra articulado de manera integral al área de formación en Diseño de Ingeniería.

Discusión de los resultados

Tal como resulta claro en la sección anterior de este trabajo el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío ha tenido hasta la fecha dos planes curriculares, el plan curricular 209 y el C64. Ambos contienen asignaturas o espacios académicos denominados Diseño, sin embargo, son completamente diferentes, con el fin de la formación de ingenieros, en cuanto a su concepción del diseño, su orientación metodológica y sus contenidos.

Ahora bien, a la luz de los criterios de evaluación propuestos, es decir, de los estándares CDIO 1 y 5, es evidente que el Plan Curricular 209 no los satisface, debido a que carece de una concepción clara de lo que es el Diseño de Ingeniería, de una metodología adecuada y de unos contenidos pertinentes. En este plan curricular es imposible visualizar el principio de que el desarrollo y despliegue del producto y del ciclo de vida del sistema –Concebir, Diseñar, Implementar y Operar—son el contexto para la educación en ingeniería, es decir, aun cuando contiene espacios curriculares con denominación Diseño, CDIO no es el contexto y, podemos decir, que ni siquiera el diseño mismo es en modo alguno el contexto. De igual manera, ninguno de los tres espacios académicos con denominación Diseño constituye, siquiera de lejos, una experiencia estructurada de diseño básica o avanzada. La realidad es que el enfoque económico y financiero del diseño en el Plan Curricular 209 impide el cumplimiento de ambos criterios.

No es este el caso del C64. El hecho mismo de que los espacios académicos con denominación diseño se encuentren estructurados en el marco de un área de Formación en Diseño de Ingeniería, muestra la existencia de una

concepción del diseño, de unas metodologías y de unos contenidos orientados al propósito de la formación de ingenieros diseñadores. En lo que sigue de esta sección del trabajo, mostraremos los fundamentos epistemológicos y metodológicos del área de formación en Diseño de Ingeniería en el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío, de manera que resulte evidente el hecho de que el C64 cumple con los estándares CDIO 1 y 5 y que, por tanto, sirve como base o como insumo para la implementación de la iniciativa CDIO en la futura reforma curricular del programa.

Fundamentación epistemológica del área de formación en Diseño de Ingeniería

En la Crítica de la Razón Pura, Kant expresa la interacción entre teoría y práctica mediante la siguiente frase:

Pensamientos sin contenido, son vacíos; intuiciones sin concepto son ciegas. De aquí que sea tan importante y necesario sensibilizar los conceptos, como hacer inteligibles las intuiciones. KdrV A51-B75 (Kant, 1998).

En igual forma, nosotros señalamos la innegable interacción en el proceso de diseño entre la teoría y la práctica, parafraseando al filósofo de la siguiente manera: Los principios sin prácticas son vacíos; las prácticas sin principios son ciegas. De aquí que sea tan importante y necesario hacer prácticos los principios, como guiar las prácticas por principios. Porque es importante guiar las prácticas por principios epistemológicos es que cada uno de los cursos, que constituyen el área de diseño incorpora un componente teórico introductorio con el cual se pretende dar sentido, orientar y guiar las prácticas metodológicas.

El marco epistemológico al cual nos referimos, es elaborado mediante el componente teórico presente en cada una de las asignaturas del área. Este está dividido en dos partes. En una de ellas, abordamos la discusión de la visión de la ingeniería como ciencia aplicada con el exclusivo fin de desmontarla a través de una

serie de argumentos de carácter metodológico, estructural, lógico y epistemológico. En la otra, abordamos la reflexión en torno a la naturaleza de la ingeniería, a la de sus prácticas y a la de sus productos.

El asunto relativo a la discusión acerca de la visión de la ingeniería como ciencia aplicada, tiene que ver con la restitución de su dignidad como una de las tres actividades de la racionalidad humana orientadas según fines, del mismo nivel e importancia que la ciencia y la tecnología. Asumimos que cada una de las tres es una actividad en sí misma con su propia naturaleza, a saber: que las ciencias son sistemas teóricos de explicación de dominios fenoménicos, las tecnologías de control de la acción y las ingenierías de reglas exitosas de transformación. Aceptamos que, aun cuando existen entre ellas estrechas relaciones de interacción cada una es independiente, es decir, aunque mutuamente relacionadas son independientes entre sí. Admitimos, además, la inconveniencia de la hipótesis nula, según la cual la ingeniería es una actividad epistemológica y ontológicamente cero-beneficio (Houkes, 2009a). Esta discusión se lleva a cabo en diferentes momentos a través de todo el componente de diseño, introduciendo en cada asignatura del mismo los diferentes argumentos esgrimidos para el desmonte de la visión de ciencia aplicada. En general, adelantamos la discusión estableciendo las relaciones entre ciencia, tecnología e ingeniería. Las conexiones entre las dos primeras están profusamente ilustradas y estudiadas en la bibliografía especializada (Brooks, 1994), (Shapere, 1998), (Idhe, 1991). Ellas no presentan problema alguno para nosotros. No podemos decir lo mismo de la relación entre tecnología e ingeniería, pues ha sido aceptado más o menos acríticamente el punto de vista de que esta disciplina es propiamente el modo cómo se hace la tecnología (Bucciarelli, 2003), quizás el único trabajo en esta línea lo constituya un inaccesible artículo de un académico chino el cual propone identificar la interface entre la tecnología y la ingeniería en la relación entre la invención y la generación (Xiao, 2005). Lo que resulta, pues, de interés para nosotros es la relación entre

la ciencia y la ingeniería, específicamente, las diferencias entre ellas.

En el caso de Fundamentos de Diseño, con respecto a la primera parte del componente teórico, introducimos los dos primeros argumentos en contra de la visión de la ingeniería como ciencia aplicada que hemos denominado 'Argumento metodológico' y 'Argumento estructural'. En el primero, partimos de establecer los dos sentidos en los cuales puede darse una relación entre la mente y la materia. El sentido de afuera hacia adentro, mediante la percepción, y el sentido de adentro hacia afuera, mediante la acción técnica. Este análisis nos lleva a reconocer que ciencia e ingeniería son actividades que requieren, ambas, metodologías diferentes específicas (Eekels, 1991). Sin embargo, dado el isomorfismo evidente entre el ciclo de diseño y el ciclo de investigación, el Argumento metodológico podría resultar incidental, razón por la cual, introducimos el llamado Argumento estructural.

El Argumento estructural busca establecer un criterio de demarcación claro entre ciencia e ingeniería. Determinar una diferencia constitutiva de la ingeniería respecto de la estructura de la ciencia (Poser, 1998). Luego de revisar algunos de los criterios de demarcación usados tradicionalmente y constatar que no constituye ninguno un verdadero criterio estructural, optamos por buscar la diferencia en la naturaleza de la acción técnica, análisis que nos lleva a una conclusión que no deja de resultar chocante para muchos ingenieros y es que la ingeniería se encuentra más cercana en naturaleza y semejanza de las ciencias de la cultura que de las ciencias naturales.

Con respecto a la segunda parte del componente teórico, Fundamentos de Diseño se ocupa de explorar la naturaleza de la ingeniería. Las condiciones de la globalización y el cada vez más evidente colapso e insostenibilidad del paradigma de reproducción material de la sociedad, afectan el ejercicio profesional de la ingeniería e introducen cuestiones nuevas tales como: los asuntos de la responsabilidad y la

sostenibilidad. De igual manera, la desbordante explosión de nuevas ingenierías “antes impensables” en las últimas dos décadas, solo comparable con la revolución científica del siglo XIX (Goldberg, 2010), ha generado una crisis al interior de la ingeniería haciendo obsoleta su definición decimonónica. En consecuencia, en esta parte del contenido teórico abordamos dos asuntos principales, a saber: la así llamada inadecuación filosófica de la ingeniería (Mitcham, 2009) y la nueva definición de la ingeniería en el contexto del ejercicio global de la profesión (Davis, 2009).

En el caso de Diseño I, con respecto a la primera parte del componente teórico introducimos un tercer argumento en contra de la visión de la ingeniería como ciencia aplicada que hemos denominado ‘Argumento lógico’. En este nos ocupamos por establecer una diferencia entre ciencia e ingeniería desde el punto de vista de sus racionalidades (Kroes, 2002), esforzándonos por mostrar que tanto la racionalidad de la ciencia como la de la ingeniería son distintas y particulares, lo cual, la diferencia a la una de la otra. De una parte, debido a la distinción entre el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación y a la idea de que no hay algo así como una lógica del descubrimiento o, en todo caso, que la lógica de la ciencia no es una lógica del descubrimiento sino de la justificación, entonces la ciencia es susceptible solo de una reconstrucción racional ideal. Contrariamente, debido a la estrecha relación existente entre la metodología de diseño y la naturaleza de los productos que se diseñan es posible afirmar que es lo mismo diseñar y aplicar el método con lo cual resulta que la ingeniería es susceptible de una reconstrucción racional real. Así pues, al ser la metodología de diseño de carácter normativo respecto del diseño y estar en gran medida orientada al proceso, y al ser la metodología de la ciencia de carácter descriptivo y estar fuertemente orientada al producto, podemos argumentar que sus lógicas son diferentes y por tanto diferentes ellas mismas.

Con respecto a la segunda parte del componente teórico, Diseño I se ocupa de la reflexión en torno al carácter de la práctica de la ingeniería, es

decir, del diseño. En primer lugar, consideramos la naturaleza, las actividades (Cross, 2002) y los problemas de diseño (Cross, 2002), (Koen, 2000) y, en segundo lugar, comparamos la visión irracionalista del diseño (Antonsson, 2010), según la cual el diseño es un acto puro de la mente caracterizado por la creatividad, con la visión racionalista (Dym, 2002), (Kroes, 2009), (Kroes et al., 2009), que considera el diseño como un proceso pensado que puede ser entendido y enseñado, cuyos métodos formales sirven para encontrar alternativas creativas y eficientes de solución, evaluadas contra un marco de criterios racionalmente establecido en conjuntos de especificaciones. Visto así el diseño como proceso, impone algunas otras consideraciones de carácter teórico, tales como: la elaboración de un marco metodológico, en el cual sea posible representar el proceso de diseño mediante un modelo en fases, tareas, métodos formales y medios de procesamiento de la información, así como un marco estratégico para la administración del proceso, tanto de sus recursos humanos, físicos, de infraestructura y económicos, temporales, de actividades y productos.

En el caso de Diseño II, con respecto a la primera parte del componente teórico introducimos un cuarto y último argumento en contra de la visión de la ingeniería como ciencia aplicada que hemos denominado el ‘Argumento epistemológico’. En este momento de la discusión es preciso formular la hipótesis nula (Houkes, 2009a) según la cual la ingeniería es una actividad epistemológica y ontológicamente cero-beneficio, es decir, la idea de que la esta no produce conocimiento (Houkes, 2009b), (Vermaas, 2011) y de que sus artefactos no son en absoluto metafísicamente interesantes (Thomasson, 2009). Para la ingeniería el conocimiento es de vital importancia, es indudable que los ingenieros se relacionan de una forma estrecha con este y su visión como ciencia aplicada, sostiene que estos se relacionan en todos los casos con un conocimiento acumulado producido por otros, diferentes de ellos, del que hacen uso aplicándolo a situaciones particulares o contextuales en las cuales se trate de la resolución de problemas

técnicos –en particular, se relacionan con y usan conocimiento científico-. Para esta visión, los ingenieros son consumidores, no productores de conocimiento y, por tanto, epistemológicamente hablando la ingeniería es dependiente de la ciencia.

El Argumento epistemológico no niega cuán importante es el conocimiento para los ingenieros y para la ingeniería, sin embargo, sostiene que estos producen conocimiento de dos tipos, tanto de naturaleza teórica como práctica, y que ambos son esencialmente diferentes del conocimiento científico. De una parte, el teórico resulta relevante para desarrollar métodos de cálculo de ingeniería, pero es del todo irrelevante desde el punto de vista científico. De otra parte, el práctico es producido con el objetivo fundamental de obtener información acerca de las especificaciones técnicas, es decir, para obtener información de diseño en ausencia de teorías disponibles (Vincenti, 1990), (Pitt, 2000) (Pitt, 2001).

Con respecto a la segunda parte del componente teórico, Diseño II se ocupa de la reflexión en torno a la naturaleza de los productos de la ingeniería, a saber: los artefactos técnicos. El punto de partida para el análisis de la naturaleza de los artefactos técnicos es el modo en el cual los ingenieros conciben y describen artefactos técnicos, en palabras de Peter Kroes:

The reason for turning to engineering practice is that engineers are experts in designing, making, analyzing and describing technical artefacts and so their way of describing and conceiving technical artefacts may be taken to be a fruitful anchor point in our quest for the nature of technical artefacts. (Kroes, 2010., 51)⁷.

Ahora bien, cuando revisamos el modo en el cual los ingenieros conciben y describen artefactos técnicos encontramos que ellos lo hacen en términos de propiedades funcionales,

físicas y materiales y de las acciones que tienen que llevarse a cabo con el fin de realizar la función del artefacto técnico. Para este análisis nos valemos de la teoría de la Naturaleza Dual de los Artefactos Técnicos (Meijers, 1999), según la cual estos tienen una doble naturaleza: de una parte, son objetos físicos (construcciones humanas) que pueden ser utilizadas para realizar cierta función y, de otra parte, son objetos intencionales puesto que es la función de un artefacto técnico la que lo distingue de los objetos físicos (naturales) y de que esta tiene sentido o significado solamente dentro del contexto de la acción intencional humana (Kroes, 2002) con lo cual, podemos asumir que los artefactos técnicos son objetos con una función técnica y con una estructura física conscientemente diseñada, producida y usada por humanos para realizar su función, es decir, un artefacto técnico es un objeto físico con una función técnica (Kroes, 2002). Así pues, la noción de función técnica viene a ser crucial, puesto que ella sirve como puente entre las estructuras funcional e intencional de los artefactos técnicos en un doble contexto: el del diseño técnico y el de uso. Así pues, el análisis acerca de la naturaleza de los productos de la ingeniería nos conduce al análisis de la naturaleza de la función técnica (Houkes W., et al., 2010).

Fundamentación metodológica del área de formación en Diseño de Ingeniería

En el anterior apartado, hemos perfilado la fundamentación epistemológica del área de Diseño, ahora esbozaremos rápidamente su componente práctico. En el caso de Fundamentos de Diseño, se trata de llevar a cabo el proceso de diseño de un artefacto cuya forma y función satisfagan los requerimientos planteados para la solución de un problema de ingeniería de manera racional, sistemática y metódica. Para ello, comenzamos por plantear un problema tipo de ingeniería, para cuya solución prescribimos

7. "La razón para recurrir a la práctica de la ingeniería es que los ingenieros son expertos en diseñar, fabricar, analizar y describir artefactos técnicos, de tal manera que su forma de describirlos y concebirllos puede considerarse un fructífero punto de partida en nuestra indagación acerca de la naturaleza de los artefactos técnicos."

una serie de tareas a las cuales asignamos un método formal de diseño, respectivamente. Con tal caja de herramientas nos ocupamos de diseñar un artefacto a escala cuya forma y función satisfagan los requerimientos para la solución del problema propuesto, realizando un prototipo funcional del artefacto. Los resultados de la aplicación del método serán comunicados mediante documentación en un cuaderno de diseño y prueba técnica en laboratorio o en campo.

El componente práctico, pues, se abordará como un ejercicio preliminar de la metodología de diseño mediante la aplicación sistemática y ordenada de una serie de métodos formales para llevar a cabo las principales tareas de diseño según el enfoque sistemático. Para lograrlo, se propondrá una didáctica de trabajo semi-desescolarizado. Propuesto un problema de diseño, se conforman equipos de trabajo con el fin de diseñar un artefacto que satisfaga el conjunto de requerimientos del problema; el profesor plantea la tarea de diseño e introduce el método formal para llevarla a cabo, cada equipo se enfoca en realizarla aplicando el método expuesto. Durante el tiempo asignado para esta actividad, cada equipo trabajará por fuera del salón de clases, asistiendo obligatoriamente a una entrevista con el profesor, en la cual se discutirán los aspectos relevantes del proceso consignados de antemano por el equipo en el reporte de estado semanal de diseño de acuerdo con formato suministrado para esto. De esta manera se pretende propiciar un aprendizaje autónomo y responsable, en el cual se incentive la construcción social de medios tecnológicos, se afiance el trabajo en equipo, se promueva la comunicación y se oriente la acción según fines hacia la resolución metódica de problemas mediante el diseño y producción de artefactos. Finalmente, se promoverá entre los equipos el levantamiento de un cuaderno de diseño en el cual se consignen las fases del proceso, en el sentido de una teoría del artefacto (Reddy, 2005), con el fin de estimular las habilidades de comunicación y de gestión de la información.

En el caso de Diseño I, se trata de aplicar las herramientas de diseño adquiridas en el anterior

curso a la elaboración de un concepto de diseño y a su posterior comprobación experimental. Para ello, formulamos un problema de diseño cuya solución se llevará a cabo a lo largo de los espacios académicos Diseño I y Diseño II, con el fin de producir una representación conceptual nítida mediante la aplicación de algunas herramientas del método, particularmente, los métodos formales de diseño relativos a las cinco primeras tareas prescritas por el modelo adoptado del proceso de diseño. Ahora bien, con el fin de llevar a cabo una comprobación del concepto de diseño alcanzado, se realizarán los arreglos experimentales pertinentes. Igualmente, los resultados de la aplicación del método a la producción de un concepto de diseño serán comunicados mediante documentación en un cuaderno de diseño y prueba técnica en laboratorio.

En la parte práctica, pues, del curso de Diseño I, los equipos de diseño conformados en la tercera semana lectiva y consolidados desde entonces hasta hoy, se involucrarán en una experiencia real de solución de problemas de ingeniería, mediante la aplicación rigurosa del método de diseño, fundamentado e ilustrado en las precedentes unidades del curso. Por constituir una práctica de aplicación de principios metodológicos a un caso real problemático, y teniendo en cuenta que es solo gradualmente como los equipos de diseño lograrán hacerlos significativos, es que tenemos que adoptar otra metodología completamente diferente de aquella que traíamos. Ahora no nos proponemos construir marcos, sino hacer uso de ellos. Por tanto, debemos propiciar la práctica y guiar la aplicación. Abandonamos, entonces, la clase presencial y expositiva, y la reemplazamos por sesiones de trabajo dirigido con acompañamiento. Dado que todos los estudiantes se han agrupado en equipos de diseño perfectamente diferenciables por su recurso humano y perfectamente diferenciados por los problemas de que se ocupan, el curso ha cambiado su constitución.

En el caso de Diseño II, el objetivo general del curso es el de aplicar herramientas de diseño

a la obtención de una descripción detallada mediante especificaciones, que permita la incorporación en un prototipo funcional de un concepto comprobado de un artefacto de diseño. En consecuencia, el insumo del cual parte el curso de Diseño II lo constituyen las especificaciones, razón por la cual es indispensable realizar una revisión a fondo tanto de los árboles de atributos como del análisis de funciones. Se trata de determinar de forma precisa los aspectos que caracterizan el artefacto y obtener la información necesaria para producirlos como también establecer el grado de deseabilidad de que alguno aparezca como característica en el artefacto, y hacerlo para cada uno de ellos; así como elaborar especificaciones funcionales y de configuración del producto de diseño. Estas deben incorporarse, pues, en un prototipo funcional, lo cual implica un esmerado trabajo experimental y de laboratorio por lo que es preciso diseñar sistemas de medición con el fin de evaluar el grado de obtención de las características contra el grado de deseabilidad de los aspectos en el artefacto, y realizar arreglos experimentales con el fin de obtener estas mediciones. Con los valores así obtenidos se desarrollan matrices de decisión mediante las cuales se decide acerca de cuál alternativa de solución es la mejor y esta se prototipa.

El curso Diseño II puede parecer principalmente de carácter práctico, dado que representa en el proceso el estadio del Diseño de Incorporación. Sin embargo, no debemos llamarnos a engaño en este aspecto. Consideramos que el curso es en gran parte procesual y en gran parte práctico. La razón de ello es que, consideramos un heurismo de diseño como rector de la acción en el curso, a saber: “No se construye o fabrica nada que primero no se haya diseñado”, es decir, solo se incorpora un conjunto completo de especificaciones. En consecuencia, el curso requiere de un trabajo dirigido con el fin de presentar las herramientas de diseño pertinentes, pero ante todo, un trabajo independiente por parte de los equipos de diseño con el fin de desarrollar un proceso de sucesivas especificaciones de manera racional, es decir, metódica y sistemática, así como un esmerado

trabajo experimental y de laboratorio, el cual se realiza por equipos de diseño tal como fueron constituidos ya desde Diseño I. Ahora bien, coincidimos con Dym y Little en la idea de que “la comunicación es parte central del proceso de diseño.” (Dym, 2002), razón por la cual el componente de diseño culmina con una gran experiencia de socialización y comunicación de los resultados del proceso mediante una presentación de los diferentes prototipos funcionales de los artefactos diseñados dirigida a toda la comunidad universitaria y a empresarios y potenciales inversionistas.

Conclusiones

El Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío ha tenido a lo largo de su historia dos planes curriculares, el plan curricular 209 y el C64. Ambos contienen asignaturas o espacios académicos denominados Diseño, sin embargo, los dos son completamente diferentes en cuanto a su concepción del diseño, su orientación metodológica y sus contenidos.

Los espacios académicos con denominación Diseño, presentes en el plan curricular 209 no satisfacen los criterios de evaluación adoptados, a saber, los estándares CDIO 1 y 5, debido a que carece de una concepción clara de lo que es el diseño de ingeniería, de una metodología adecuada y de unos contenidos pertinentes y, por lo tanto, no puede servir de insumo para la implementación de la iniciativa CDIO.

Ahora bien, hemos hecho un recorrido por la estructura, los fundamentos epistemológicos, metodológicos y didácticos del área de Formación en Diseño de Ingeniería del plan curricular C64 del Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío, presentando cada uno de los cursos del área en su doble componente teórico: el desmonte de la visión de la ingeniería como ciencia aplicada y el análisis de su naturaleza, de la de sus prácticas y de la de sus productos; así como en su doble componente metodológico: el enfoque sistemático del proceso de diseño y las didácticas para su realización curricular. Hemos mostrado

además que el área de Diseño posee una firme sustentación epistemológica, metodológica y pedagógica, constatando de esta manera el cumplimiento de los estándares CDIO 1 y 5 y, por lo tanto, la pertinencia del área como insumo para la implementación de la Iniciativa CDIO en la futura reforma curricular. De esta manera hemos dado a conocer nuestra experiencia y nuestros esfuerzos pioneros en el campo de la formación de ingenieros diseñadores, por espacio de ocho años. El camino recorrido no es poco, pero es evidente que falta mucho todavía para lograr un currículo en el cual la formación en diseño sea verdaderamente integral y transversal. No obstante, estamos caminando firmemente y con decisión, creatividad y responsabilidad en esa ruta.

Referencias bibliográficas

- Antonsson, E. (2010). *Design Quotations*. Retrieved Octubre 25, 2010, from Engineering Research Laboratory. California Institute of Technology: http://www.design.caltech.edu/erik/Misc/design_quotes.html
- Brooks, H. (1967, febrero). Dilemmas of Engineering Education. *Spectrum, IEEE*, 4(2), 89-91.
- Brooks, H. (1994). The Relation Between Science and Technology. *Research Policy*, 23, 477-486.
- Bucciarelli, L. (2003). *Engineering Philosophy*. Netherlands: Delft University Press Satellite.
- Cross, N. (2002). *Métodos de Diseño. Estrategias para el Diseño de Productos*. México, D.F.: Limusa-Wiley.
- Davis, M. (2009, July). Defining Engineering from Chicago to Shantou. *The Monist*, 92(3), 325-338.
- Dym, C. a. (2002). *El Proceso de Diseño en Ingeniería. Cómo Desarrollar Soluciones Efectivas*. México, D.F.: Limusa-Wiley.
- Eekels, J. a. (1991, October). A Methodological Comparison of the Structures of Scientific Research and Engineering Design: Their Similarities and Differences. *Design Studies*, 12(4), 197-203.
- Goldberg, D. (2010). Why Philosophy? Why Now? Engineering Responds to the Crisis of Creative Era. In I. v. Poel (Ed.), *Philosophy and Engineering. An Emerging Agenda* (Vols. Philosophy of Engineering and Technology, vol. 2, p. 259). Dordrecht: Springer.
- Houkes, W. (2009a). Introduction to Part II: Ontology and Epistemology of Artefacts. In A. Meijer (Ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (Vol. 9, pp. 187-189). Amsterdam: Elsevier.
- Houkes, W. (2009b). The Nature of Technological Knowledge. In A. Meijers (Ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (Vol. 9, pp. 309-350). Amsterdam: Elsevier.
- Houkes, W. V. (2010). *Technical Function. On the Use and Design of Artefacts*. Dordrecht: Springer.
- Idhe, D. (1991). *Instrumental Realism. The Interface Between Philosophy of Science and Philosophy of Technology*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- Kant, I. (1998). *Crítica de la Razón Pura*. Madrid: Alfaguara.
- Koen, B. (2000). *El Método de Ingeniería*. Bogotá: Universidad del Valle, ACOFI.
- Kroes, P. (2002, May). Design Methodology and the nature of technical Artefacts. *Design Studies*, 23(3), 287-302.
- Kroes, P. (2009). Foundational Issues of Engineering Design. In A. Meijer (Ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (Vol. 9, pp. 513-542). Amsterdam: Elsevier.
- Kroes, P. (2010). Engineering and the Dual Nature of Techninal Artifacts. *Cambridge Journal of Economics*, 34, 51-62.

- Kroes, P. F. (2009). Rationality in Design. In A. Meijer (Ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (Vol. 9, pp. 565-600). Amsterdam: Elsevier.
- Meijers, A. F. (1999). *The Dual Nature of Technical Artifacts*. Retrieved Octubre 12, 2010, from NWO grant application: <http://www.dualnature.tudelft.nl>
- Mitcham, C. (2009, July). A Philosophical Inadequacy of Engineering. *The Monist*, 92(3), 339-356.
- Pahl, G. a. (2005). *Engineering Design: A Systematic Approach*. London: Springer-Verlag.
- Pitt, J. (2000). *Thinking About Technology. Foundation of the Philosophy of Technology*. New York: Seven Bridge Press.
- Pitt, J. (2001, Spring). What Engineers Know. *Techné*, 5(3), 17-30.
- Poser, H. (1998, Winter). On Structural Differences Between Science and Engineering. *Techné*, 4(2), 81-93.
- Pugh, S. (1991). *Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Wokingham, England: Addison-Wesley Publishing Company.
- Reddy, J. F. (2005). *Design as Building and Reusing Artifact Theories: Understanding and Supporting Growth of Desing Knowlegde*. Retrieved Enero 19, 2007, from <http://www.ices.cmu.edu/ndim/papers/final.really.pdf>
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action*. New York: Basic Books.
- Shapere, D. (1998, Winter). Building on What We Have Learned: The Relations Between Science and Technology. *Techné*, 4(2), 142-151.
- Simon, H. (1996). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Suh, N. (1990). *The Principles of Design*. Nwe York: Oxford University Press.
- Suh, N. (2001). *Axiomatic Design. Advances and Applications*. London: Oxford University Press.
- Thomasson, A. (2009). Artifacts in Metaphysics. In A. Meijers (Ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (Vol. 9, pp. 191-212). Amsterdam: Elsevier.
- Vermaas, P. K. (2011). Technological Knowledge. In *A Philosophy of Technology. From Technical Artefacts to Sociotechnical Systems* (Vol. Lecture #14, pp. 55-66). University of Wetern Autralia: Morgan & Claypool.
- Vincenti, W. (1990). *What Engineers Know and How They Know it: Analytical Studies from Aeronautical History*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Xiao, F. (2005). Interface Between Technology and Engineering -On the Relation Between Invention and Generation. *Journal of Northeastern University (Social Science)*, 01.