

# Índice general

<b>1. Conclusiones</b>	<b>3</b>
1.1. situación de la industria electrónica nacional y de la academia . . . . .	3
1.2. Requisitos para una transferencia tecnológica exitosa . . . . .	4
1.3. Metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos . . . . .	6
1.4. Relación universidad- empresa . . . . .	12
1.5. Estimación del costo del presente trabajo . . . . .	13
1.5.1. Comparación con con un centro de desarrollo tecnológico . . . . .	13



# Capítulo 1

## Conclusiones

### 1.1. situación de la industria electrónica nacional y de la academia

#### Situación de la industria

En Colombia se presenta una sobre-oferta de profesionales en el área electrónica, que han sido formados en programas desactualizados que no tienen en cuenta los avances tecnológicos y metodológicos, lo cual explica la falta de profesionales con la formación necesaria para realizar el ciclo completo de concepción, diseño implementación y operación de sistemas digitales que satisfagan las necesidades de la sociedad; y la escasa demanda de profesionales en el área. Por esta razón no es de extrañar la poca confianza que tienen los industriales en los productos nacionales; por otro lado, el cierre de los departamentos de diseño o investigación y desarrollo en las empresas constituidas y la adopción de productos provenientes del mercado asiático; es una respuesta de la industria a la escasez de profesionales con las habilidades necesarias para crear productos locales que compitan con los importados. Esto unido a la falta de políticas de estado que tracen normas encaminadas a incentivar la inversión en investigación y desarrollo, defina líneas y campos de investigación, proteja los productos locales de la invasión de productos extranjeros (como ocurre actualmente en Brasil y Argentina, donde los productos importados deben pagar altos impuestos), regule la oferta laboral y los programas académicos, crea el ambiente perfecto para que el país dependa casi en su totalidad de productos importados.

Según datos de ASESEL, la contribución de la industria electrónica nacional al PIB es insignificante, razón por la cual no se realizan estudios a esta empresa desde el 2001 y no existe una clasificación industrial internacional uniforme (CIIU) para esta industria lo que dificulta su estudio. En el último balance de las industrias registradas en el país con actividades en las que se encuentran las industrias del sector electrónico realizado por ASESEL en el 2007, se muestra que las exportaciones fueron de 1093.5 millones y las importaciones 13.262 millones; lo que representa claramente el estado de dependencia de la industria electrónica en Colombia hacia los productos importados.

#### Situación de la academia

Ante la situación de la industria electrónica nacional, es necesario cuestionar el papel que las facultades con programas relacionados (área de sistemas digitales) han tenido en el desarrollo de los actuales profesionales y preguntarse por la función que deben cumplir para dar solución a este problema. Un estu-

dio informal realizado en las universidades más prestigiosas de Bogotá y Bucaramanga <sup>1</sup>(Nacional, Andes, Javeriana, Santo Tomás, Distrital, Escuela Colombiana, UIS) demuestra que en casi todas ya se utilizan dispositivos lógicos programables y en algunas se utilizan procesadores ARM de 32 bits; en muchas de ellas no se tratan temas relacionados con el uso de sistemas operativos en el desarrollo de sistemas digitales y no se realizan actividades que generen o aumenten las habilidades de los estudiantes en la implementación física; de conversaciones realizadas con varias empresas del sector (emQbit, SAR S.A, Microensamble S.A., Santronics) se concluye que un gran porcentaje de los estudiantes no poseen la capacidad de generar nuevos conocimientos por ellos mismos, lo que muestra deficiencia en el auto-aprendizaje, razón por la cuál es necesario pagar costosos cursos de capacitación para que ellos puedan aprender nuevos temas, lo que resulta ineficiente, ya que siempre se requerirá por parte de los profesionales capacidades para adaptarse a los cambios de la tecnología (lo que es muy frecuente en el diseño digital).

De la experiencia obtenida al realizar cursos de capacitación en diferentes centros de formación a lo largo del país (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad Industrial de Santander, Universidad de los Andes, Escuela Naval Almirante Padilla, Universidad Santo Tomás, Escuela Colombiana de Ingeniería) y en dos empresas (SAR S.A., Microensamble S.A.) podemos afirmar que los estudiantes/profesionales no cuentan con las habilidades necesarios para absorber y aplicar los conocimientos necesarios para el diseño e implementación de sistemas embebidos, esto, en parte al uso de metodologías de diseño obsoletas y al abandono de la implementación física por parte de los centros de formación; en las empresas, los profesionales no cuentan con la formación necesaria que les permita realizar un proceso de auto-aprendizaje y muestran deficiencias conceptuales en el diseño de sistemas digitales.

Es necesario replantear el método de evaluación y la metodología de enseñanza en las asignaturas relacionadas con diseño en general, el método propuesto en este trabajo ha demostrado su eficacia en la generación de hábitos de continuo estudio y auto-aprendizaje; sin embargo, uno de los grandes inconvenientes para su aplicación son los malos métodos de estudio que poseen los estudiantes; por este motivo, es necesario crear actividades que obliguen a los estudiantes a realizar las lecturas y actividades programadas en el curso; aunque esto no es lo recomendado, es la realidad que vivimos en todas las universidades del país. Esta situación es el resultado de la aplicación de la desafortunada política gubernamental llamada *promoción automática* y la carencia de políticas a nivel de departamento en la universidad para proporcionar medios que generen métodos de estudio adecuados.

Lo anterior, ha generado que un porcentaje considerable de estudiantes no adquieran los conocimientos y habilidades necesarias para concebir, diseñar, e implementar dispositivos que den solución a problemas locales, lo que agravará el problema de la industria electrónica nacional y la desconfianza de los industriales hacia los productos nacionales. La falta de cursos que enfrenten al estudiante con problemas reales es una consecuencia de la falta de relaciones empresa - academia y el desconocimiento de los procesos industriales por parte de los docentes; un porcentaje considerable de la planta docente de las universidades mas prestigiosas del país siempre se han desempeñado en entornos académicos y no entienden las necesidades de la industria, lo que impide, por un lado la creación de habilidades requeridas por la industria y por otro lado dificulta la creación de empresa desde la universidad y la creación de vínculos con empresas constituidas.

## 1.2. Requisitos para una transferencia tecnológica exitosa

La efectividad de los canales tradicionales para la transferencia tecnológica depende de la naturaleza de la tecnología que se va a adquirir, el tipo de organización y de las capacidades de absorción del recipiente. La tecnología es efectiva únicamente cuando la economía del país es capaz de utilizarla; cuando se transfiere una tecnología se debe contar con la capacidad para adquirirla y se deben generar las actividades necesarias

---

<sup>1</sup>Conversaciones con colegas sobre los programas de las carreras relacionadas con la industria electrónica

para mejorar la plataforma tecnológica, incluyendo la educación y la capacitación, de tal forma que el país sea capaz de absorberla y generar nuevos productos que satisfagan necesidades locales. Es por este motivo que iniciativas como la realizada para que Colombia se convierta en un productor de circuitos integrados<sup>2</sup> han fracasado; si el país no cuenta con los conocimientos necesarios para apropiarse esta tecnología y el país no cuenta con la infra-estructura para sostenerla y la necesidad de usarla, no se podrá realizar una transferencia exitosa. La construcción de circuitos integrados se justifica cuando el número de unidades a fabricar supere un determinado umbral (20.000 unidades), muchas empresas electrónicas colombianas no pueden financiar una producción de esta magnitud, por esta razón los circuitos integrados fabricados hasta el momento en Colombia han sido producto de investigaciones académicas.

Para que se presente una transferencia tecnológica exitosa, es decir, para que los elementos técnicos, habilidades humanas, la documentación y la organización asociadas a una determinada tecnología, puedan ser asimilados por personal calificado (disponible y dispuesto) para posteriormente transformar estos conocimientos en la creación de nuevos productos o servicios que suplan necesidades locales es necesario:

**Fomentar la creación de empresas de base tecnológica** El gobierno debe crear facilidades y créditos para que empresas tecnológicas con la capacidad de innovación puedan realizar su actividad comercial (productos o servicios) y de esta forma crear nuevos empleos y aumentar la oferta y demanda de bienes y servicios tecnológicos. Para que el vínculo entre universidad y empresa sea fuerte, las universidades deben crear empresas que comercialicen productos derivados de sus actividades de investigación, acompañando a sus egresados en el proceso de creación y consolidación; a cambio, la academia puede recibir regalías por proyectos conjuntos, servicios más económicos, y ayuda a la formación de sus estudiantes con la modalidad de pasantías y prácticas empresariales.

**Promoción de la transferencia tecnológica** El gobierno y las Universidades deben centrar sus esfuerzos en identificar las necesidades de la sociedad y cambiar sus prioridades para darles solución, las universidades deben realizar proyectos de aplicación que puedan ser utilizados por el sector productivo a corto o mediano plazo; crear políticas que permitan hacer llegar el conocimiento generado a diferentes niveles de la sociedad. Las políticas de gobierno deben desalentar la compra de equipo que solo transfiera conocimiento sobre su operación y no permita la creación de nuevos conocimientos a partir de ellos; así mismo, debe formular políticas que protejan las empresas locales de base tecnológica impidiendo el ingreso de productos similares provenientes del mercado asiático premiando a las industrias nacionales que realicen productos innovadores ya sea con beneficios tributarios temporales o con la adjudicación de créditos condonables destinados al desarrollo de nuevos productos. Universidad, Gobierno e Industria deben trazar políticas que definan las áreas en las que se deben formar los profesionales en el exterior, las cuales deben estar en sintonía con el estado de la plataforma tecnológica, el sector productivo y el entorno social del país, estas políticas deben cambiar a medida que se mejora la plataforma tecnológica local y se presentan cambios en el entorno mundial. Se debe trabajar en la creación de una cultura de la transferencia tecnológica, resaltando su importancia para el desarrollo del país.

**Promover la excelencia académica** Debe existir una evaluación continua de los planes académicos para que se adapten a las necesidades del sistema productivo local, proporcionando a sus profesionales las habilidades requeridas por la industria, en especial las requeridas para crear líderes emprendedores que puedan crear nuevas empresas y que sean conscientes de la importancia del aprendizaje continuo. Por otro lado, es necesaria la creación de maestrías y doctorados que sigan políticas nacionales encaminadas al desarrollo económico orientados a conectar la investigación con el sector productivo local y crear mecanismos de medición que permitan comparar y clasificar las instituciones académicas según las competencias de las habilidades (liderazgo y emprendimiento) de sus egresados y de esta forma determinar que instituciones son merecedoras de créditos, becas, o financiación para desarrollar actividades. Por último, y no menos

---

<sup>2</sup><http://www.iberchip.net/>

importante, difundir habilidades generales para el uso de nuevas tecnologías a los diferentes sectores de la población.

Los centros de educación de diferentes niveles deben trabajar de forma conjunta con representantes de la industria para definir los objetivos y habilidades que requiere el sector productivo a nivel de formación tecnológica y profesional, con el fin de delimitar sus funciones para que no interfieran en el mercado laboral. En la actualidad estos límites no están definidos, debido a que somos un país consumidor de tecnología y productos manufacturados, y las funciones de compra y operación pueden ser realizadas por técnicos e ingenieros; adicionalmente la venta de estos productos también puede ser realizada por cualquier persona, razón por la cual los ingenieros tienen problemas a la hora de conseguir empleo. Adicionalmente, es necesario unificar contenidos de carreras similares y crear programas donde participen diferentes centros de formación con el fin de aprovechar los escasos recursos suministrados por el estado; crear canales de comunicación que permitan compartir resultados de investigaciones para evitar repetirlos.

**Promover la Relación Universidad Empresa** El sector productivo debe invertir en las actividades de transferencia tecnológica e investigación y desarrollo, ya que es uno de los directamente beneficiado con ellas. El gobierno debe desalentar las prácticas comerciales que no generan actividades de I+D, en especial las que solo comercializan productos manufacturados en países asiáticos ya que esto hace que la industria no vea la necesidad de crear productos propios y por lo tanto no invierta en Investigación y Desarrollo ni contrate personal o bienes y servicios especializados. La academia debe proporcionar a la industria herramientas y profesionales que le permitan competir con productos provenientes del extranjero, es una realidad que a corto plazo no podemos competir con la industria manufacturera asiática, pero si podemos utilizarla para construir productos diseñados en el país que satisfacen necesidades locales. Se debe crear consciencia en la industria de las ventajas de tener productos diseñados localmente, resaltando los servicios adicionales que pueden generarse al personalizar estos productos y proporcionar servicios derivados de su uso. Los centros académicos deben trabajar en problemas del entorno local, que aunque no tienen mucho reconocimiento a nivel internacional si refleja un grado de compromiso con el entorno social en donde ellas operan.

Por lo anterior, nuestra aproximación se centra en la educación y entrenamiento como canal para la transferencia tecnológica; una de las razones para esta elección es la dificultad que se presenta en nuestro país para acceder a información especializada que ayude en el proceso de transferencia de conocimientos. Este trabajo suministra: una serie de conocimientos que pueden usarse como punto de partida para el desarrollo de aplicaciones comerciales o como material para la capacitación de personal; un canal de comunicación entre los diseñadores locales y la industria manufacturera asiática; una metodología de diseño basada en el uso de herramientas abiertas lo cual reduce de forma considerable la inversión de capital en herramientas de desarrollo.

### 1.3. Metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos

Este trabajo proporciona una metodología novedosa para la transferencia de los resultados de la investigación a la academia y a la industria; la figura ?? ilustra los pasos de esta metodología.

#### Elección de la tecnología y vigilancia tecnológica

Los primeros pasos están relacionados con la tecnología y el conocimiento a adquirir; la *vigilancia tecnológica* y la *elección de la tecnología*, permiten conocer los últimos avances en el área previniendo

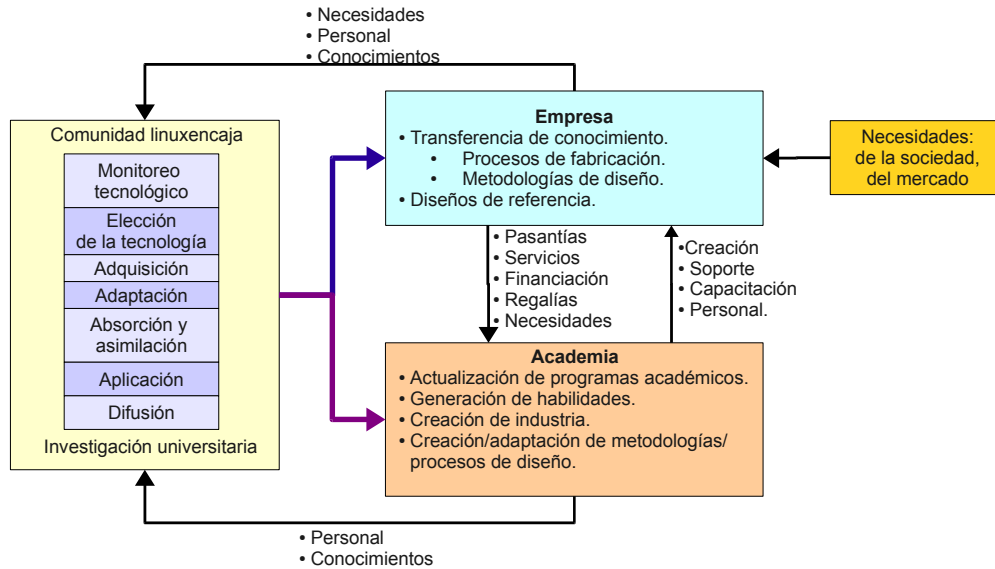


Figura 1.1: Modelo de transferencia tecnológica.

estudiar tecnologías obsoletas o poco utilizadas, así mismo, se evalúa el estado de la plataforma tecnológica existente para identificar facilidades y necesidades; con esta información se busca una tecnología que pueda ser implementada con el estado actual de la plataforma tecnológica; se identificarán los niveles de complejidad de dicha tecnología para determinar una alternativa que pueda implementarse y de resultados a mediano y corto plazo con no muy altas inversiones de capital. En nuestro caso se determinó que la mejor opción a mediano y corto plazo es el desarrollo de sistemas embebidos que utilicen SoCs comerciales, herramientas de desarrollo abiertas (GNU toolchain, Linux, Qt, Android, etc) y (mientras se genera la suficiente oferta local de servicios) los servicios de manufactura de la industria asiática.

Para llegar a la producción necesaria para justificar la realización de un circuito integrado debemos generar una demanda local de productos relacionados con la manufactura de sistemas digitales; pero para ello debemos formar profesionales con las habilidades necesarias para concebir, diseñar e implementar estos dispositivos; la oferta actual de bienes y servicios relacionados con esta actividad es muy pequeña en comparación con la que se encuentra en los países asiáticos, solo dos empresas Microensamble en Bogotá y Colcircuitos en Medellín tienen los equipos necesarios para realizar de forma automática el proceso de fabricación y montaje de placas de circuito impreso; por otro lado, los impuestos que deben pagarse por los productos importados (26 %) hace que el costo de producción se eleve de forma considerable, lo que elevaría el costo del producto final y no se podría competir con productos extranjeros; por este motivo; se concluye que la mejor opción (por el momento) es utilizar la infraestructura de la industria manufacturera asiática para la producción de diseños propios; al aumentar la demanda de este tipo de servicios se espera que aumente la oferta local. Esto no puede ocurrir si no existen profesionales que conciban e implementen nuevos productos y puedan adaptarse a los cambios de esta tecnología; si las empresas no invierten en la creación de nuevos productos y si la sociedad no cree en los productos realizados en Colombia. Por esta razón, las tareas más importantes para que la transferencia tecnológica sea exitosa, es la transmisión de los conocimientos asociados a esta tecnología y la toma de consciencia por parte de la sociedad de la importancia del desarrollo de productos propios para la generación de empleos y el mejoramiento de la calidad de vida.

### Adquisición

Esta elección (uso de system on Chip - SoC) facilita la *adquisición* de productos tecnológicos que los utilizan ya que no es necesario firmar acuerdos de confidencialidad o similares. En la actualidad es posible adquirir dispositivos semiconductores y demás componentes necesarios para la fabricación de sistemas digitales, sin embargo, para poder competir en precios con productos del mercado asiático, es necesario entender la dinámica de su industria manufacturera, y establecer relaciones con los proveedores de bienes y servicios en esta región.

### Adaptación

Haciendo uso de la ingeniería inversa sobre plataformas comerciales se obtuvieron conocimientos sobre: como están contruidos; como funcionan y como se programan dispositivos comerciales; su utilización facilita el aprendizaje del funcionamiento de la tecnología, permitiendo el estudio de metodologías de diseño y la evaluación de herramientas de desarrollo; reduciendo el tiempo y el costo de desarrollo de plataformas propias diseñadas para dicho fin. En este trabajo se realizó un estudio gradual de las características de un sistema digital, comenzando con su arquitectura, siguiendo con su programación y finalizando con las técnicas de fabricación y producción masiva.

### Absorción y asimilación

En la fase de *absorción y asimilación* se realizan actividades que integran nuevo conocimiento para el país pero que no es nuevo para el mundo y están encaminadas al desarrollo o adaptación de metodologías de diseño y procesos de fabricación, desarrollo de productos tecnológicos propios, enseñanza de metodologías de diseño y procesos de fabricación; en esta etapa se diseñaron, construyeron y programaron una serie de plataformas de desarrollo que ayudaron a entender el proceso completo concepción - diseño - implementación - producción; adicionalmente, se ayudó a la empresa Bogotana *Microensamble* a ajustar sus equipos de fabricación de PCBs y montaje automático de placas de circuito impreso; lo que ha resultado muy benéfico ya que es la única empresa Bogotana que presta este servicio y gracias a nuestra ayuda, nuestros estudiantes reciben precios especiales en los servicios ofrecidos por esta empresa. La fabricación de placas de circuito impreso a la medida permite reducir el costo final de un dispositivo digital; en su proceso de diseño y fabricación intervienen personas con diversos niveles de formación, lo que la hace muy atractivo como actividad generadora de empleo. La situación actual de las empresas manufactureras del país (solo 2) no permite la producción a grandes escalas ya que en el país no se cuenta con empresas que suministren componentes electrónicos a precios competitivos (los impuestos locales producen un sobre-costo de cerca del 26 %). En el país se pueden construir prototipos de muy buena calidad, por lo que la mejor opción es la fabricación local del prototipo y la producción en masa en el exterior.

### Aplicación

En la etapa de aplicación se evaluó la eficacia de la transferencia de conocimientos a la industria y a la academia. En la academia, se creó un programa académico que actualizó el contenido y la metodología de las asignaturas del área de electrónica digital de la Universidad Nacional de Colombia utilizando la iniciativa CDIO creada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y los conocimientos adquiridos en las etapas previas. Encuestas realizadas a los estudiantes durante 2 años de aplicación del programa académico demuestran que es adecuado para crear en ellos habilidades de auto-aprendizaje, trabajo en equipo, al tiempo que les proporciona los conocimientos necesarios para crear productos que ayuden a satisfacer problemas de



la sociedad; fomentando en ellos el espíritu empresarial e innovador; adicionalmente, el nivel y calidad de los trabajos de grado relacionados con el diseño de sistemas digitales ha aumentado de forma considerable, pasando de el uso de procesadores de 8 bits, lenguaje ensamblador, placas de proyectos (proto-boards) y software licenciado de forma ilegal a la fabricación de placas de circuito impreso, SoC de 32 bits, sistemas operativos, lenguajes de alto nivel y software abierto legal.

La aplicación de esta metodología al entorno académico reveló la deficiencia de los programas académicos del área de electrónica digital en la Universidad Nacional de Colombia, la cual ha ocupado los primeros puestos en los exámenes de estado *SABER PRO* (antes ECAES), por lo que es de esperarse que algunos programas académicos de otras universidades presenten problemas similares. La falla más notoria que se encontró en este proceso fue la ausencia de una metodología de diseño unificada (o la ausencia de la metodología) durante la enseñanza de las asignaturas que componen el área; cada curso tenía su metodología y no existía una relación entre los contenidos de las asignaturas, lo que dejaba en los estudiantes la sensación de que se trataban de temas diferentes. Por otro lado, el uso de tecnologías obsoletas desviaba el enfoque del estudio a tediosas tareas manuales de minimización e implementación, restando importancia a la concepción y validación del diseño. Errores conceptuales en el diseño de los cursos hicieron que un lenguaje de descripción de hardware como el Verilog o VHDL (los cuales son solo herramientas) fueran el centro de atención, ignorando por completo temas importantes como la arquitectura de computadores.

Los cambios introducidos en estas asignaturas utilizan una única metodología de diseño, los problemas son atacados de la misma forma pero con herramientas cada vez más complejas pero más sencillas de utilizar. El uso de plataformas de desarrollo *hardware copyleft* permite estudiar su arquitectura y entender completamente los flujos de diseño; adicionalmente, pueden ser utilizadas como punto de partida de desarrollos comerciales. Esto unido a la experiencia de diseño de circuitos impresos en 3 asignaturas, hizo cambiar completamente la mentalidad de los estudiantes sobre el uso de estas tecnologías, haciendo que realizaran búsquedas de problemas que puedan ser solucionados con estas herramientas, lo que constituye la base de la innovación. Todo esto representa una transferencia exitosa de esta investigación a la academia ya que fue posible que esta utilizara los conocimientos generados, reemplazando la forma en que realizaban el proceso de diseño y se demostró la importancia del uso de esta tecnología.

Las asignaturas del área de electrónica digital son de vital importancia en el proceso de formación de los ingenieros electrónicos en la Universidad Nacional de Colombia, porque su campo de aplicación cubre todas las actividades de los profesionales en electrónica (control, automatización, comunicaciones, procesamiento de señales y de imágenes, etc) y porque es la única asignatura en el programa que enfrenta a los estudiantes al proceso de implementación de sistemas. *Sería recomendable que todas las asignaturas utilizaran estrategias similares a la propuesta en este trabajo.* Encuestas realizadas a los estudiantes durante los últimos dos años muestran que ellos perciben un grado de exigencia mucho mayor comparando con otras asignaturas; pero al mismo tiempo, que la experiencia en estos cursos es muy útil para su vida profesional y que es la única asignatura que los enfrenta a problemas reales de diseño e implementación de sistemas y trabajo en equipo; entienden que es necesario dedicar tiempo por fuera de aula si se desea asimilar la información, son conscientes de que la responsabilidad de adquirir este conocimiento es de ellos; manifiestan la importancia del uso de esta tecnología en la solución de problemas locales y entienden el estado de la industria digital en el país y su papel para dar solución a sus problemas.

Tanto los temas como la metodología del plan de estudios propuesto representan una forma novedosa de enseñanza enfocada a generar en los estudiantes habilidades necesarias para crear productos novedosos, proporcionando conocimientos actualizados y metodologías de diseño modernas basadas en herramientas abiertas que permiten conocer el flujo de diseño completo, trabajar en equipo y compartir los resultados con quien esté interesado. Se espera que estas habilidades sean utilizadas por la industria para crear una oferta local de bienes y servicios relacionados con el diseño digital y que se genere el interés necesario en algunos estudiantes para crear empresas de diseño digital.

En el campo industrial, se creó una empresa de base tecnológica (emQbit LTda.)<sup>3</sup> a la que se le transfirieron los conocimientos adquiridos en las etapas previas junto con plataformas *hardwrae copyleft*, con esto, emQbit se ha convertido en la única empresa en Colombia que concibe, crea, diseña, fabrica y programa sus propias aplicaciones, ha podido mantenerse durante 4 años y ha realizado proyectos con importantes empresas de Colombia y en el exterior. Lo que demuestra que es posible y necesario tener más empresas de base tecnológica con este tipo de conocimientos y actividades gestadas al interior de universidades como parte de una estrategia para crear vínculos fuertes entre la empresa y la universidad; sin embargo, la sola creación no es importante, lo que realmente importa es que esta empresa pueda mantenerse a lo largo del tiempo y que reciba de forma constante de la academia conocimiento que la ayuden a ser competitiva, este conocimiento puede transferirse ya sea en forma de personal calificado (con conocimientos y habilidades específicas) o a través de capacitación.

Este trabajo proporciona una metodología de diseño basada en el uso de herramientas abiertas que pueden ser utilizadas sin tener que pagar por su licencia; dichas herramientas han sido probadas por estudiantes de las universidades: UNAL, ULA, UIS y por la empresa emQbit, por esto podemos afirmar que ellas soportan todo el proceso de diseño e implementación de un sistema embebido; su naturaleza abierta y gratuita permite ahorrar mucho dinero si se compara con el requerido para comprar herramientas propietarias; el único inconveniente de las herramientas abiertas es que en algunos casos su interfaz no es tan amigable y no cuentan con las funcionalidades de su contraparte comercial. Una ventaja adicional es la no utilización de software ilegal, práctica que ha sido tolerada por la academia durante muchos años; adicionalmente, se le enseña al estudiante una alternativa que le permite ahorrar costos de inversión en el software necesario para comenzar una nueva empresa; con lo que este dinero se puede destinar a compra de equipo necesario para el desarrollo de la actividad empresarial. Aunque este grupo de herramientas pueden ejecutarse en los sistemas operativos mas populares (Linux, Mac OS y Windows) se prefiere el uso de Linux ya que es un sistema operativo gratuito y no es necesario pagar ningún tipo de licencia, lo que reduce aún más la inversión en software.

Encuestas realizadas a los estudiantes y a profesionales indican que: con este grupo de herramientas se pueden realizar todas las actividades necesarias en el diseño, implementación y pruebas de sistemas digitales; son más difíciles de manejar que las herramientas comerciales; pero que se prefiere el uso de alternativas abiertas al de software ilegal; en el pasado no les importaba utilizar métodos ilegales para licenciar aplicaciones software, pero que ahora van a buscar primero las alternativas libres antes de recurrir al uso de software ilegal; el uso de Linux hace que se sientan identificados con él, llegando al punto de realizar un cambio total de sistema operativo. Lo anterior demuestra que la adaptación a estas herramientas se realiza de forma fácil y que se prefieren el uso de software abierto a software ilegal, por lo que el constante uso de herramientas comerciales se puede atribuir a los docentes o profesionales que no están interesados en buscar alternativas abiertas, ya sea porque cuentan con licencias, porque no les interesa que se utilice software ilegal o porque no quieren aprender a manejar nuevas herramientas.

Las actividades de las etapas mencionadas anteriormente se realizan de forma constante para absorber nuevos conocimientos cada vez que ocurran cambios en la tecnología<sup>4</sup>, ya sea porque se quiera investigar en un tema no cubierto en este trabajo o como resultado de la actividad de vigilancia tecnológica.

## Difusión

La última etapa *difusión*, es una de las más importantes ya que permite que el conocimiento adquirido llegue a todos los sectores de la sociedad interesados en él y ayuda a que los diferentes sectores de

<sup>3</sup>Esta empresa está formada por egresados de la Universidad Nacional de Colombia y ha ayudado en la identificación del estado de la industria electrónica nacional y en la detección de obstáculos para el crecimiento de este tipo de empresas.

<sup>4</sup>El último cambio que ocurrió fue la aparición de Android

la sociedad sean conscientes de su importancia. Utilizando los contactos existentes entre la Universidad Nacional y las universidades Distrital, Industrial de Santander, de los Andes, Santo Tomás, Escuela Colombiana de Ingeniería, Escuela Naval Almirante Padilla; se logró que se utilizaran productos derivados de esta investigación en las asignaturas relacionadas con el diseño digital. Se formularon proyectos dirigidos a Colciencias y al SENA para capacitar a empresas de base tecnológica en el diseño, implementación y producción de sistemas digitales, pero hasta el momento no se ha podido realizar este proceso y debido a que los recursos con que contamos no son suficientes no se ha podido realizar esta actividad.

El uso de plataformas *hardware copyleft* permite ahorrar tiempo y dinero en el desarrollo de aplicaciones proporcionando diseños de referencia modificables que pueden ser utilizados como base para futuros desarrollos. La diferencia importante, entre el uso de plataformas *hardware copyleft* y el uso de plataformas de desarrollo disponibles comercialmente es la posibilidad de modificación, lo que permite optimizar los componentes a una aplicación determinada eliminando el costo de los componentes necesarios en la adaptación de estas plataformas genéricas; adicionalmente, se aumenta la oferta de productos generados localmente, lo que puede generar un aumento de la oferta de bienes y servicios en la manufactura de sistemas digitales, como ya ha ocurrido en otros países de la región. Las plataformas suministradas como parte de este trabajo cubren un amplio rango de aplicaciones y pueden ser utilizadas por cualquiera que este interesado para aumentar los conocimientos en el diseño e implementación de sistemas digitales, o para crear productos novedosos que satisfagan necesidades específicas de la sociedad.

Al permitir la utilización de los resultados de esta investigación por quien este interesado y considerar este conocimiento como un bien público, (un recurso con bajos niveles de rivalidad y de exclusión) se aumentan las posibilidades de difusión; lo que va en contravía con las prácticas de los centros de desarrollo tecnológico y de las universidades que proporcionan conocimientos especializados únicamente a quienes pueden pagar por él. Para proteger la propiedad intelectual de los creadores de este recurso y para asegurar el crecimiento del mismo se trabajó con el esquema de licencias *Creative Commons* CC-BY-SA, el cual permite la distribución, replica y modificación (incluso para fines comerciales) de los productos generados de esta investigación sujeto a las condiciones:

- Dar crédito al autor del trabajo original.
- Toda obra derivada de este trabajo debe distribuirse con el mismo esquema de licencias (esquema de licencia viral).

Este esquema de licencias unido a los servicios suministrados para facilitar la descarga y mejoramiento de proyectos existentes y a creación y documentación de nuevos proyectos (repositorio con los archivos necesarios para reproducir y modificar los proyectos derivados de esta investigación, lista de correo, herramientas de creación de wikis, tutoriales en línea y un servicio de control de versiones git) constituyen los recursos de un recurso que sigue la filosofía del proyecto de software libre, pero aplicado al desarrollo hardware y recibe el nombre de *hardware copyleft*.

Para ayudar al proceso de difusión, y siguiendo la metodología de los proyectos de software libre se creó una comunidad conformada por: estudiantes y profesores de las universidades Nacional, Andes, Javeriana, Santo Tomás, Distrital, Escuela Colombiana, UIS, Nacional del Comahue (Argentina); empleados de las empresas emQbit, Santronics, ingeniería inversa (argentina); profesionales y aficionados de diferentes ciudades y países. El ingreso de estudiantes a esta comunidad ha permitido el aumento del recurso, suministrando una nueva plataforma *hardware copyleft* y la creación de proyectos de referencia que están en proceso de convertirse en productos comerciales. La incorporación de centros de formación e industriales a esta comunidad posibilita identificar necesidades de la industria y ofertas de la academia permitiendo la creación de un vínculo entre ambos sectores. Los aficionados, realizan labores fundamentales de vigilancia tecnológica y de mantenimiento y depuración del contenido.

Para coordinar los esfuerzos de este grupo de personas y permitir el acceso a la información generada por la comunidad, se creó el portal web público *linuxencaja* con los siguientes servicios:

- Sistema distribuido de control de versiones <sup>5</sup>: Sistema que permita seguir el avance de un proyecto y los cambios que han sido realizados por otros miembros del equipo, los cuales pueden estar en cualquier lugar del mundo, en este portal utilizaremos *git* ya que permite el seguimiento total del proyecto indicando el autor y un comentario descriptivo con el aporte.
- Wiki <sup>6</sup>: Las wikis son sitios web con facilidades de edición de páginas web utilizando un lenguaje propio (wikitexto). *Linuxencaja* utiliza *Mediawiki* que permite la creación instantánea de páginas web sin la necesidad de permisos especiales por parte del administrador de la máquina; Mediawiki (y demás aplicaciones similares) almacena en una base de datos el contenido de las páginas en texto plano, (este formato se suministra al usuario en el momento de la edición) y genera en tiempo real el código HTML a partir de este texto plano cada vez que se solicita una página; una característica especial es que las páginas pueden ser editadas por múltiples voluntarios, se dispone de un historial de cambios que le permite al administrador restaurar el contenido en un eventual daño voluntario o involuntario.
- Lista de correo <sup>7</sup>: Canal de comunicación directo entre los diseñadores y usuarios con más experiencia, permite resolver dudas en corto tiempo, estas respuestas constituyen una fuente de documentación muy importante y debe ser almacenadas para crear un banco de preguntas/respuestas que ayuden a usuarios con las mismas inquietudes. Por esta razón, se creó una cuenta de correo que permite este intercambio de información y puede ser utilizado por los miembros de un determinado proyecto para discutir temas propios del desarrollo del mismo. La metodología utilizada por un determinado grupo quedará registrada en esta lista y puede ser utilizada como referencia de ese y otros proyectos; adicionalmente, estas listas de correo permiten realizar contactos académicos y laborales entre sus miembros.

## 1.4. Relación universidad- empresa

La creación de vínculos entre Universidad y empresa son muy difíciles de crear en nuestro país, en conversaciones realizadas con el prestigioso economista Clemente Forero ex-director de COLCIENCIAS, nos comentó de los programas que se realizaron en esta entidad para hacer que los industriales fueran a las universidades a buscar y como estos programas fracasaron debido a que las empresas y universidades nunca se pusieron de acuerdo, esto debido a que según Forero hablan idiomas diferentes. Durante la realización de este trabajo se pudieron establecer relaciones fuertes con 4 empresas tres de ellas creadas por egresados de la Universidad Nacional (emQbit, Santronics, Importex, em-electronics) y con dos empresas externas (SAR S.A y Microensamble S.A.), de estas relaciones se han generado pasantías, prestación de servicios a bajo costo y apoyo financiero para adquisición de equipo y manufactura de sistemas de desarrollo digitales; se intentó establecer vínculos con grandes empresas como CODENSA y TES AMERICA, pero este tipo de empresas no están interesadas en el desarrollo de productos sino en productos finales, este conocimiento es valioso ya que para poder establecer contacto con estas compañías es necesario contar con desarrollos en una etapa que permita su producción masiva. De lo anterior podemos concluir que la mejor forma de crear vínculos entre la universidad y la empresa es haciendo que los estudiantes sean los actores principales de procesos de investigación e innovación orientados a la construcción de nuevas ideas de empresa (Spin

---

<sup>5</sup><http://projects.linuxencaja.net/>

<sup>6</sup><http://wiki.linuxencaja.net/>

<sup>7</sup><http://groups.google.com/group/linuxencaja>

Off Universitarias); sin embargo, el objetivo final no debe ser únicamente la creación de la empresa, sino brindar soporte para que esta pueda generar utilidades que puedan suministrar regalías a las universidades o la posibilidad de proporcionar bienes y servicios útiles en el ejercicio académico.

Nuestra experiencia con la empresa *emQbit* nos muestra que es posible inculcar en nuestros estudiantes la idea de generación de empresa, generar en ellos las habilidades necesarias para la producción de productos novedosos, y que con un acompañamiento adecuado por parte de la universidad (en el caso de *emQbit* como asesor externo) es posible que la empresa se mantenga actualizada y sobreviva en el tiempo, *emQbit* ha ayudado en el desarrollo de varios proyectos de investigación proporcionando materiales y equipos a costos reducidos (normalmente la empresas duplican sus precios cuando suministran productos a la Universidad Nacional), financiando parcialmente el desarrollo de plataformas *hardware copyleft*; adicionalmente, ha vinculado a varios estudiantes de las universidades nacional y de los Andes en la modalidad de pasantía lo que les ha ayuda a formar personal para la propia empresa. Aunque este es el único caso que podemos presentar y no es posible generalizarlo, proporciona una referencia en este tipo de relaciones.

Este trabajo presentó una metodología para la adquisición/adaptación/absorción/asimilación/aplicación/difusión de la tecnología y el conocimiento asociado al diseño de sistemas digitales modernos ejecutada inicialmente por los realizadores de este trabajo, y posteriormente por los integrantes de una comunidad formada por estudiantes, académicos e industriales; transfiere conocimientos necesarios para realizar productos novedosos (que satisfagan necesidades de la sociedad) hacia: la empresa, proporcionando metodologías de diseño basadas en herramientas software abiertas y plataformas *hardware copyleft*, procesos de fabricación y contactos con empresas manufactureras locales y asiáticas; y a la academia, actualizando los contenidos de los programas académicos para generar las habilidades requeridas por la industria para cumplir con los requerimientos de la sociedad, utilizando metodologías de diseño y procesos de fabricación resultado del proceso de transferencia. La universidad y la academia interactúan en un intercambio de necesidades y soluciones, la empresa requiere personal calificado para cumplir con sus actividades, y la academia responde ajustando sus programas académicos para formar dicho personal y suministrando soporte técnico y capacitación; a cambio de esto, la empresa proporciona servicios a la academia para facilitar su actividad académica aportando dinero producto de regalías o de proyectos conjuntos. Tanto la academia como le empresa aportan a la comunidad personal y conocimientos para que puedan adaptarse a las nuevas necesidades de la sociedad.

## 1.5. Estimación del costo del presente trabajo

En esta sección trataremos de cuantificar el valor del presente trabajo, primero compararemos los resultados obtenidos en esta investigación con los resultados obtenidos por el único centro de desarrollo tecnológico de la industria electrónica (CIDEI). Por último, se estudiará una oferta de transferencia tecnológica real que está haciendo un centro de desarrollo tecnológico Coreano a la nación y se realizará un análisis del dinero que puede ahorrar la nación gracias a los conocimientos adquiridos en el presente trabajo.

### 1.5.1. Comparación con con un centro de desarrollo tecnológico

CIDEI VS TESIS

AHORRO EN TRANSFERENCIA

Cuadro 1.1: Comparación de los resultados del presente trabajo con el realizado por el CIDEI

Plataforma	CIDEI	Este trabajo
Naturaleza	Privado	Público
Líneas de I+D	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reconversión, modernización y/o actualización tecnológica de productos y servicios</li> <li>■ Informatización de la producción</li> <li>■ Mejoramiento continuo</li> <li>■ Automatización Industrial de Bajo Costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Estudio de metodologías de diseño.</li> <li>■ Técnicas de fabricación de sistemas digitales</li> <li>■ Arquitectura de computadores y sistemas operativos.</li> <li>■ Desarrollo de aplicaciones embebidas.</li> </ul>
Documentación en línea	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plataformas copyleft hardware.</li> <li>■ Diseños de referencia.</li> <li>■ Tutoriales.</li> <li>■ Cursos en línea (en construcción)</li> <li>■ Base de datos de preguntas y respuestas.</li> </ul>
Servicios gratuitos	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Soporte a través de listas de correo.</li> <li>■ Servidores con aplicaciones para almacenar proyectos.</li> <li>■ Servidores con aplicaciones para crear, administrar y desarrollar nuevos proyectos.</li> <li>■ Contactos con empresas manufactureras asiáticas.</li> </ul>
Capacitación en diseño de PCBs	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uso de software con valor de 5000 USD</li> <li>■ Costo del curso 350 USD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uso de software abierto (<i>kicad</i>).</li> <li>■ Auto-aprendizaje utilizando como referencia diseños existentes.</li> <li>■ Solución de dudas a través de las listas de discusión de Kicad y linuxencaja.</li> <li>■ gratuito.</li> </ul>
Capacitación en lenguajes de descripción de hardware	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Costo del curso 350 USD.</li> <li>■ Metodología de diseño.</li> <li>■ Lenguaje VHDL.</li> <li>■ Diseño lógico y secuencial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Metodología de diseño.</li> <li>■ Lenguajes de descripción de hardware.</li> <li>■ Implementación de tareas hardware utilizando máquinas de estado algorítmicas.</li> <li>■ Arquitectura de sistemas sobre silicio (SoCs)</li> <li>■ Implementación de tareas hardware como periféricos de un SoC.</li> <li>■ Comunicación HW/SW</li> <li>■ Gratuito (próximamente disponible en linuxencaja)</li> </ul>
Capacitación procesadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Desde el 2010 Costo: 430 USD.</li> <li>■ Procesadores ARM.</li> <li>■ Programación en C.</li> <li>■ Herramientas de desarrollo.</li> <li>■ Manejo de interrupciones.</li> <li>■ Dispositivos Entrada/salida</li> <li>■ Control de periféricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Trabajos realizados desde el 2004 [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19]</li> <li>■ Procesadores MIPS, Blackfin, ARM,</li> <li>■ Softcores: Lm32, plasma.</li> <li>■ Arquitectura de un SoC, set de instrucciones, manejo de interrupciones</li> <li>■ Flujo de diseño software.</li> <li>■ Sistemas operativos, inicialización de SoC, kernel de Linux, sistemas de archivos, aplicaciones usando Linux.</li> </ul>

# Bibliografía

- [1] D. Ovalle and D. Mendez. *Diseño e Implementación de equipo Básico de Laboratorio Utilizando Sistemas Embebidos y FPAAs*. Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [2] C. Camargo. SIE: Plataforma Hardware copyleft para la Enseñanza de Sistemas Digitales. *XVII Workshop de Iberchip, Bogotá Colombia*, February 2011.
- [3] C. Camargo. Metodología Para la Transferencia Tecnológica en la Industria Electrónica Basada en Software Libre y Hardware Copyleft. *XVII Workshop de Iberchip, Bogotá Colombia*, February 2011.
- [4] C. Camargo. Low Cost Platform for Evolvable-Based Boolean Synthesis. *IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS 2011), Bogotá Colombia*, February 2011.
- [5] C. Camargo. Hardware copyleft como Herramienta para la Enseñanza de Sistemas Embebidos. *Símpoio Argentino de Sistemas Embebidos*, 2011.
- [6] C. Camargo. PLATAFORMAS ABIERTAS HARDWARE/SOFTWARE PARA APLICACIONES EN ROBOTICA. *V Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y III de Ingeniería Mecatrónica (por publicar)*, 2011.
- [7] C. Camargo, C. Pedraza, L. Niño, and J. Martinez. Intrinsic Evolvable Hardware for Combinatorial Synthesis Based on SoC+FPGA and GPU Platforms. *Genetic Evolutionary Computation Conference*, 2011.
- [8] C. Camargo. Control de Sistemas Paralelos Inspirado en la Naturaleza. *Colombian Workshop on Circuits and Systems*, 2009.
- [9] E. Rodriguez, A. Calderón, D. Mendez, and C. Camargo. Sistema Integrado de Medición de Energía, Calidad del Servicio y Operación Remota. *MEMORIAS : VI Jornada de Distribución de Energia Eléctrica - ASOCODIS*, 2009.
- [10] C. Camargo. ECBOT y ECB\_AT91 Plataformas Abiertas para el Diseño de Sistemas Embebidos y Co-diseño HW-SW. *VIII Jornadas de Computación Reconfigurable y Aplicaciones*, 2008.
- [11] C. Camargo. ECBOT: Arquitectura Abierta para Robots Móviles. *VII conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática*, 2008.
- [12] C. Camargo. ECBOT: Arquitectura Abierta para Robots Móviles. *IEEE Colombian Workshop on Circuits and Systems*, 2007.
- [13] S. Banguero and M. Erazo. *Plataforma de Desarrollo para Sistemas Embebidos Basada en el Game-Boy Advance*. Universidad Industrial de Santander, 2007.

- [14] C. Camargo. Linux como herramienta de Desarrollo de Sistemas Embebidos. *XII Workshop de Iberchip, San Jose*, 2006.
- [15] C. Camargo. First Colombian Linux SBC runs Debian. URL: <http://www.linuxfordevices.com/c/a/News/First-Colombian-Linux-SBC-runs-Debian/>, 2006.
- [16] I. Castillo, C. Camargo, and C. Perez. Automatización de un puente grúa a escala, mediante una plataforma embebida la cual soporta multiprogramación. *XII Workshop Iberchip*, 2006.
- [17] C. Camargo and O. Sanchez. Linux embebido como herramienta para realizar reconfiguración parcial. *XII Workshop Iberchip*, 2006.
- [18] C. Camargo. Implementación de Sistemas Digitales Complejos Utilizando Sistemas Embebidos. *Memorias del XI Workshop de Iberchip ISBN 959-261-105-X*, 2005.
- [19] F. Pedraza, F. Segura, C. Camargo, and A. Gauthier. Control Adaptativo Embebido. *Memorias del XI workshop de Iberchip ISBN 959-261-105-X*, 2005.