

# Transferencia Tecnológica y de Conocimientos a la Academia y a la Industria en el Área de Diseño de Sistemas Embebidos

Carlos I. Camargo Bareño  
Universidad Nacional de Colombia,  
Email: cicamargoba@unal.edu.co

**Abstract**—El gran avance de las técnicas de fabricación de Circuitos Integrados ha permitido que los sistemas embebidos sean parte fundamental de nuestras vidas, aún sin darnos cuenta diariamente interactuamos con decenas de ellos. Esto unido a la disponibilidad de herramientas software de desarrollo gratuitas abre grandes posibilidades comerciales para países en vía de desarrollo ya que no son necesarias grandes inversiones de capital para la concepción, diseño, y fabricación de estos sistemas. Sin embargo, en la actualidad muy pocas universidades en Colombia ofrecen cursos que permitan crear las habilidades necesarias para la realización de un producto comercializable, lo que se traduce en un abandono de la producción local y el aumento de la dependencia con la industria manufacturera asiática. Por otro lado, las herramientas utilizadas en la actualidad (tanto SW como HW). En este artículo se presenta una metodología para la transferencia tecnológica en el diseño de sistemas embebidos y el conocimiento asociado a ella. Teniendo como principio que el conocimiento es un bien público y que el acceso a él debe ser garantizado a todo sector de la sociedad interesado en él, se generaron una serie de mecanismos para difundir los conocimientos adquiridos en el desarrollo de esta investigación a quien este interesado en ellos.

**Index Terms**—Sistemas Embebidos, transferencia tecnológica y de conocimientos, educación en ingeniería, hardware copyleft.

## I. INTRODUCCIÓN

A medida que se extiende el campo de aplicación de los sistemas digitales, lo hacen las exigencias de funcionamiento a ellos impuestas, nuevos retos en el diseño se presentan a medida que los sistemas embebidos se integran a nuestra vida diaria. Estos dispositivos disponen de grandes capacidades de cálculo y de comunicación, pero a la vez, poseen un grado de integración tal que serán invisibles; para aclarar como se puede lograr esta invisibilidad, imagínese que existen sistemas embebidos contruidos con técnicas de microfabricación y que son capaces de tomar su energía de fuentes alternas como la temperatura, la radiación solar, o a partir de fenómenos químicos, debido a su reducido tamaño, estos sistemas pueden integrarse a objetos o pintarse sobre ellos, de tal forma que no sean visibles ante los ojos humanos. Esta desaparición no solo será una consecuencia de la tecnología, sino de la sicología humana; cuando las personas asimilan perfectamente algo y se convierte en parte de la vida diaria no se es consciente de su utilización.

Esta situación ha dado origen a una industria gigantesca que proporciona dispositivos que satisfacen las nuevas necesidades

humanas, el volumen de producción de este tipo de aplicaciones es tal, que el número de procesadores utilizados en ellas ha sobrepasado ampliamente a los procesadores utilizados en aplicaciones tradicionales como estaciones de trabajo y computadores personales. En muchas áreas, los procesadores para aplicaciones específicas han desplazado por completo a los computadores personales, esto, unido a la saturación en el mercado tradicional de software ha originado una migración de muchas compañías y profesionales al diseño de aplicaciones específicas, donde el sistema está diseñado para cumplir una función determinada.

Gracias a esta enorme y creciente demanda, la industria semiconductora presenta una gran dinámica en la creación de nuevos productos que facilitan el desarrollo de nuevas aplicaciones, a diario nos encontramos con dispositivos de consumo masivo como reproductores MP4, cámaras de video, teléfonos celulares que se superan en capacidad y funcionalidad al paso de cortos períodos de tiempo. Esto ha originado una disminución dramática en el costo de los dispositivos semiconductores necesarios para construir estos productos, y a su vez, un aumento en la funcionalidad de los mismos, lo que se refleja en la necesidad de un número cada vez menor de componentes para implementar este tipo de aplicaciones. Por otro lado, se generó un cambio en la forma de suministrar información por parte de los fabricantes sobre la programación y funcionamiento de sus dispositivos, pasando de un esquema de confidencialidad a una totalmente abierto donde se suministra todo lo necesario para entender y utilizar sus productos. Esta dinámica también se presenta en las herramientas de desarrollo necesarias para crear la funcionalidad deseada; los sistemas propietarios se utilizan cada vez menos gracias a la oferta de entornos de desarrollo abiertos creados y mantenidos por una comunidad de desarrolladores que suministran sus conocimientos para el beneficio colectivo, fruto de esta tendencia se han creado aplicaciones tan importantes como el movimiento de software libre y de código abierto (FOSS por sus siglas en inglés), el sistema operativo Linux, y recientemente la plataforma para dispositivos móviles Android.

Todo lo anterior ha generado un clima perfecto para la creación de empresas que utilicen estas facilidades en el desarrollo de productos que puedan ser comercializados local o globalmente, y de esta forma contribuir a mejorar la calidad de vida de la sociedad. Un ejemplo de esto lo podemos

observar en algunos países asiáticos, donde se fortaleció la industria manufacturera de dispositivos electrónicos hasta el punto de dar empleo a una gran cantidad de personas con diferentes niveles de formación y desplazar casi por completo la manufactura de este tipo de productos en el resto del mundo. Desafortunadamente, la situación en países en vía de desarrollo como Colombia es totalmente diferente; el uso de tecnologías, metodologías de diseño y técnicas de fabricación obsoletas; falta de políticas gubernamentales que estimulen la transferencia real de tecnologías y del conocimiento asociado a ellas; la desconexión entre la academia con los problemas sociales del país y las necesidades de las empresas, han sumido a su industria electrónica en un atraso tal que dependen por completo de productos manufacturados en el exterior, y la mayoría se convierten en representantes de firmas extranjeras sin capacidad de creación local.

Las canales de transferencia tradicionales que se limitan a la compra de equipo y a la capacitación para usarlo y mantenerlo en operación no suministra los conocimientos necesarios para que en el país se generen productos similares adaptados al entorno social, político y económico local. Por lo que es necesario crear metodologías de transferencia que permitan la transferencia de estos conocimientos y puedan ser aplicados por diferentes sectores de la sociedad para mejorar su calidad de vida.

El trabajo que se presenta aquí propone una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos que busca a partir de interacciones locales generar una absorción y asimilación global de los conocimientos necesarios para el diseño, construcción y comercialización de sistemas digitales que utilicen los últimos avances en la industria de los semiconductores. Esta metodología se aplicará inicialmente en una universidad y en una empresa de base tecnológica (creada por iniciativa de la academia), para formar una comunidad que se encargue de crear herramientas para la difusión de los conocimientos adquiridos durante el proceso de transferencia (recurso). El carácter de la comunidad y del recurso (conocimiento) que ella utiliza/genera/mantiene/depura es totalmente abierto, y cualquiera que esté interesado puede utilizar/generar/mantener/depurar dicho recurso y ser miembro de esta comunidad; es decir, el conocimiento es considerado como un bien común y el acceso a él es un derecho que debe ser garantizado, esto va en contra vía con las políticas actuales de los centros de desarrollo tecnológicos existentes en el país, donde se debe pagar por el acceso a este conocimiento, a pesar de ser financiados con dineros públicos.

#### A. Flujo de diseño de sistemas embebidos

Los Sistemas Embebidos son sistemas heterogéneos que contienen componentes Software (microcontroladores, microprocesadores y DSPs) y Hardware (funciones implementadas en Dispositivos lógicos programables PLDs); por este motivo, es necesario adquirir habilidades en la utilización de lenguajes de programación como C o C++ para implementar las funciones software y Verilog o VHDL para la implementación de las tareas hardware; adicionalmente, deben conocer las

diferentes formas de comunicación entre estos dos tipos de funciones. Aunque en el mercado existen herramientas que permiten la entrada de diseño utilizando lenguajes de alto nivel como *SystemC* o *SpecC* y proporcionan el código para implementar las tareas software, hardware y su interfaz de comunicación; no es recomendable utilizarlas en el ciclo de formación básico ya que impide que se conozca el flujo de diseño completo, suministrando un nivel de abstracción en el cual no es necesario conocer la arquitectura de la plataforma utilizada para la implementación.

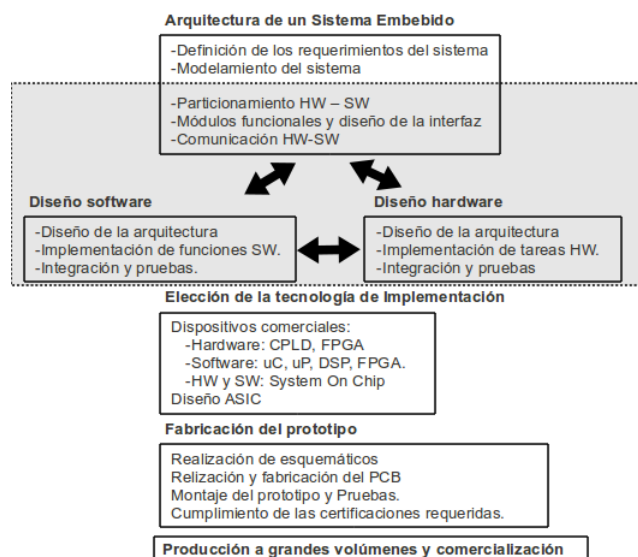


Fig. 1. Educación de sistemas embebidos. Tomada de: [1] y modificada

En la figura 1 se muestran los conceptos que deben dominar los diseñadores de sistemas embebidos, y las tareas que deben realizarse para la concepción, diseño e implementación de un sistema embebido. En gran parte de los programas académicos se estudian únicamente los temas relacionados con la concepción y diseño centrándose en las especificaciones funcionales del sistema, utilizando herramientas comerciales o COTS (Commercial off-the-shelf) para su implementación. Esta combinación genera dependencia e impide la generación de habilidades necesarias para implementar un sistema digital teniendo en cuenta restricciones económicas, físicas, eléctricas, ergonómicas, comerciales, etc. Nuestra propuesta se basa en la utilización de herramientas abiertas tanto hardware como software que permiten recorrer todo el proceso de concepción, diseño e implementación y obtener un entendimiento integral del proceso sin generar dependencia a productos comerciales.

## II. 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 cual ha sido aplicada con éxito en el área de electrónica digital del departamento de

ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional; actualizando sus contenidos, metodologías de evaluación y tecnologías utilizadas. Con su aplicación a nivel nacional se pretende contribuir a la situación de la industria electrónica nacional. La figura 2 ilustra los pasos de esta metodología.

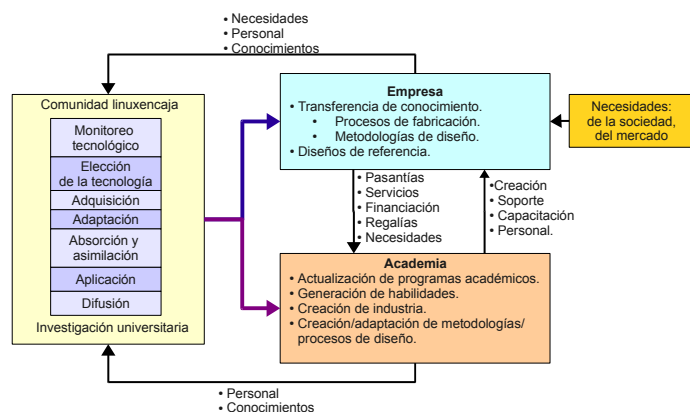


Fig. 2. Modelo de transferencia tecnológica.

La metodología de la figura 2 se puede dividir en tres fases: una etapa relacionada con la tecnología y conocimientos a adquirir, una etapa de adquisición y asimilación de conocimientos y una etapa de difusión. Durante las dos primeras etapas, se adquieren los conocimientos necesarios para poder generar productos locales que utilicen la tecnología a transferir, asegurando con esto que esta ha sido completamente asimilada. En la etapa de difusión se hacen llegar estos conocimientos a los diferentes sectores de la sociedad interesados en él con el fin de garantizar la formación de personal con las habilidades necesarias para adaptarse a cambios en la tecnología y que proporcione soluciones a problemas locales utilizando los conocimientos asociados a ella. En este estudio se transfirieron conocimientos a: la academia (Universidad Nacional) y a la industria (empresa creada con dicho fin); en la academia estos conocimientos se utilizaron para actualizar los programas académicos de las asignaturas relacionadas con el diseño digital y en la industria para generar nuevos productos comercializables. Esta metodología muestra como los resultados de la investigación a nivel de doctorado pueden ser utilizadas de forma inmediata por la academia y por la industria, creando lazos entre ellas que se traducen en beneficios y alianzas.

1) *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 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 buscó una tecnología que pueda ser implementada con el estado actual de la plataforma tecnológica; se identificaron los niveles de complejidad de dicha tecnología para determinar una alternativa que pudo implementarse y dio resultados a mediano y corto plazo con

bajas inversiones de capital. 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.

2) *Adquisición*: Esta elección (uso de system on Chip - SoC) facilitó 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; este trabajo realizó este estudio y formó lazos con industrias manufactureras de Taiwan, las cuales han proporcionado servicios de manufactura a precios que permiten competir con los productos provenientes del exterior.

3) *Adaptación*: Haciendo uso de la ingeniería inversa sobre plataformas comerciales se obtuvieron conocimientos sobre: como están contruidos; como funcionan y como se programan los dispositivos comerciales adquiridos en la etapa anterior; 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 (se fabricaron cerca de 300 unidades).

4) *Absorción y asimilación*: En la fase de *absorción y asimilación* se realizaron actividades que integraron nuevo conocimiento para el país pero que no es nuevo para el mundo y fueron dirigidas 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.

5) *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.

En el campo industrial, se creó una empresa de base tecnológica (emQbit LTda.)<sup>1</sup> a la que se le transfirieron los conocimientos adquiridos en las etapas previas junto con plataformas *hardware 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.

6) *Difusión*: La última etapa *difusión*, es una de las más importantes ya que permite que el conocimiento adquirido

<sup>1</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.

llegue a todos los sectores de la sociedad interesados en él y ayuda a que los diferentes sectores de 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.

Para ayudar en el proceso de difusión se creó una comunidad que utiliza los frutos del presente trabajo, para adquirir conocimientos relacionados con el diseño de sistemas embebidos y crear nuevos productos que den solución a necesidades locales. Se creó el portal público *linuxencaja*<sup>2</sup> para reunir la documentación existente, proporcionar facilidades para la creación de nuevos proyectos, intercambiar opiniones con otros usuarios, almacenar los archivos generados por nuevos proyectos y mantenimiento de repositorios de código fuente y archivos de diseño de proyectos existentes. Este portal será el principal medio de comunicación y difusión, y el acceso a él no tiene restricciones de ningún tipo.

Esta comunidad está 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. A continuación se realiza una descripción de los recursos con los que cuenta la comunidad *linuxencaja*. Este portal cuenta con las siguientes herramientas:

- Lista de discusión en donde participan desarrolladores hardware/software, estudiantes y miembros de la comunidad para coordinar el desarrollo de nuevos proyectos y resolver dudas sobre conceptos relacionados con el diseño de sistemas embebidos.
- Base de datos de solución de problemas asociadas a las listas de discusión.
- Sistema de control de versiones *git* que permite el trabajo multi-usuario y la creación de repositorios para los proyectos.

<sup>2</sup><http://www.linuxencaja.com>

- wiki que permite la elaboración de tutoriales, documentación sobre temas relacionados con el diseño de sistemas digitales o reportes del proceso de diseño de nuevos proyectos.

Adicionalmente, tomando como inspiración el proyecto de software libre, se desarrolló un nuevo concepto que utiliza las mismas libertades pero aplicado al hardware, los dispositivos *hardware copyleft* pueden ser modificados incluso para fines comerciales y se debe proporcionar todos los archivos necesarios para ello; utilizando preferiblemente herramientas abiertas. 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 comercializables o como herramientas de enseñanza en centros de educación. 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.

Se cuenta con 7 tarjetas de desarrollo [2] [3] [4] [5] [6] que cumplen con los requerimientos de los dispositivos *hardware copyleft* y se proporcionan los archivos necesarios para modificarlas; estos diseños de referencia ya han sido contruidos y probados en diferentes aplicaciones por lo que su funcionalidad es garantizada; todos ellos utilizan componentes que son fáciles de conseguir y no requieren grandes costos para su reproducción. En los repositorios del portal *linuxencaja* se encuentran las siguientes aplicaciones que pueden ser utilizadas para estudiar el funcionamiento de cada una de las plataformas:

- *loader y blink*: Aplicación que permite cargar binarios en la memoria interna del SoC (loader) y una aplicación que despliega un mensaje por el puerto serial de la plataforma y realiza un blink en un LED.
- *Drivers de dispositivos*: Ejemplos para aprender a escribir controladores sencillos para el sistema operativo linux.
- *Aplicaciones en espacio de usuario*: Ejemplos que permiten controlar los drivers desde espacio de usuario, y ejemplos de aplicaciones sencillas utilizando las facilidades del sistema operativo Linux.
- *Aplicaciones para configuración*: Algunas plataformas de desarrollo poseen micro-controladores de 8 bits o FPGAs que pueden ser programados o configurados desde la misma plataforma. Se suministra el código fuente de estas

aplicaciones.

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).

7) *Relación universidad - empresa*: 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.

### III. RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla I se hace una comparación entre los resultados obtenidos en este trabajo y los obtenidos por el único centro de desarrollo tecnológico de la industria electrónica CIDEI. El CIDEI a pesar de recibir dineros del estado (cerca a 1 millón de dólares) para realizar su labor de vigilancia tecnológica y generación de conocimientos que sean útiles para los sectores de la sociedad interesados en la electrónica, no ha cumplido su labor, ya que los servicios que proporciona a la sociedad no son gratuitos y no proporciona mecanismos que difundan los conocimientos generados en sus proyectos a todos los interesados; los cursos de capacitación ofrecidos por ellos no tienen temas de actualidad, y ya han sido tratados ampliamente en las principales universidades del país desde mucho antes que se ofrecieran por parte de este centro; uno de estos cursos es el resultado de una capacitación realizada por el autor de este trabajo a los miembros del CIDEI, en el desarrollo de un proyecto financiado por Colciencias; por lo que este centro

no aporta conocimientos nuevos a los centros de formación superior.

Adicionalmente, los resultados de vigilancia tecnológica ([7], [8], [9]) realizados por el CIDEI, no reflejan la realidad del país, hacen estudios de tecnologías que su utilizan en Colombia desde mediados de los 90s (CPLDs, FPGAs, procesadores de 8 bits) y son de uso común en la mayoría de las facultades de las universidades más reconocidas del país; lo que refleja una desconexión entre este centro y las universidades del país. Debido a esto, se crean proyectos de investigación financiados por el estado donde se pretende utilizar dispositivos lógicos programables para dar solución a todas las necesidades de la industria<sup>3</sup>; lo que no es necesariamente la opción más económica y eficiente ya que las primeras etapas de un proceso de diseño no debe tener dependencias de tipo tecnológico, y solo después de tener el modelo del sistema y de las funciones que implementan su funcionalidad se debe decidir el particionamiento final; lo que propone el CIDEI es saltarse estas etapas e implementar todas las funciones en hardware; lo que demuestra falta de claridad en varios conceptos.

8) *Ahorro de tiempo y dinero en el proceso de transferencia*: En la actualidad se está evaluando la posibilidad de realizar una transferencia tecnológica entre el estado Colombiano y dos centros de desarrollo coreanos Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) y Korea Electronics Technology Institute (KETI) en el área de aplicación de televisión digital. Como parte de la transferencia se contempla transferir conocimientos necesarios para realizar la fabricación de una plataforma de desarrollo que pueda ser utilizada en este tipo de aplicaciones. La tabla II muestra los costos de esta transferencia (en miles de dólares) y el ahorro que se puede realizar gracias a los resultados de este trabajo.

#### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo ha aportado más a la sociedad en el poco tiempo que lleva su etapa de difusión que el único centro de desarrollo tecnológico del sector electrónico (CIDEI); los conocimientos aquí generados han sido utilizados en varias de las universidades más importantes del país. Es necesario resaltar el esquema de los proyectos realizados por el CIDEI con las empresas, en el que se proporciona capacitación y soporte para el desarrollo de proyectos conjuntos; sin embargo, la falta de claridad en la metodología de diseño y el desconocimiento del estado de las universidades en Colombia, y la falta de personal calificado hacen que este esquema no produzca los resultados esperados

Los costos de la transferencia tecnológica y de conocimientos necesarios para adquirir la capacidad de concebir, diseñar y operar sistemas digitales modernos son muy elevados (787.000 USD); los conocimientos adquiridos en este trabajo permiten reducir esta cifra de forma considerable (106.500). Adicionalmente, la transferencia que ofrece Corea no tiene en cuenta la capacitación necesaria para que el país pueda absorber

<sup>3</sup>Esta información fue obtenida directamente del CIDEI cuando el autor de esta investigación les diseñaba un curso de capacitación en diseño digital utilizando lenguajes de descripción de hardware

TABLE I  
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.</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 linux-encaja.</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 [10] [2] [11] [12] [3] [13] [14] [15] [16] [4] [6] [5] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23]</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>

y asimilar estos conocimientos ni la formación continua de personal calificado para que el país pueda generar sus propios productos lo que constituye el éxito de la transferencia.

El uso de herramientas comerciales en la etapa de diseño hace que los costos de este tipo de productos aumente de forma considerable, en este ejemplo las herramientas de diseño de circuitos impresos, el sistema operativo y un emulador de Linux cuestan 245.000 USD, y son reemplazadas sin costo alguno por las herramientas utilizadas en este trabajo.

Este trabajo planteó y probó 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 esta investigación, y posteriormente por los integrantes de una comunidad formada por estudiantes, académicos e industriales; transfiere conocimientos

TABLE II

COMPARACIÓN DE PRECIOS ENTRE LA TRANSFERENCIA OFRECIDA POR COREA Y EL COSTO UTILIZANDO LOS CONOCIMIENTOS GENERADOS EN ESTE TRABAJO

Item	KETI-ETRI	Este trabajo
Equipos de cómputo (25) con licencias de: <ul style="list-style-type: none"> <li>Windows, VMWARE, <sup>4</sup></li> <li>Android SDK, Apache</li> </ul>	115.000	50.000
Plataforma de desarrollo (15) <ul style="list-style-type: none"> <li>Procesador ARM, 512MB DDR, MicroSD</li> <li>LCD 800 x 480, touch screen</li> <li>USB 2.0, WiFi, Camera.</li> <li>Bluetooth. Android OS.</li> </ul>	60.000	4.500
Software para simulación: <ul style="list-style-type: none"> <li>Qemu con soporte para Open-Moko</li> </ul>	132.000	0
Depuración hardware: <ul style="list-style-type: none"> <li>Trace 32 de Laterbach (15)</li> </ul>	180.000	2.000
Herramientas CAD: <ul style="list-style-type: none"> <li>PADS de Cadence (15)</li> </ul>	180.000	0
Plataforma hardware (15): <ul style="list-style-type: none"> <li>Especificaciones de la plataforma de desarrollo</li> <li>Archivos para reproducir el hardware: <ul style="list-style-type: none"> <li>Esquemáticos.</li> <li>Archivos Gerber.</li> </ul> </li> <li>Código fuente: <ul style="list-style-type: none"> <li>bootloader: u-boot.</li> <li>Kernel de Linux.</li> <li>Android OS.</li> </ul> </li> <li>documentación <ul style="list-style-type: none"> <li>Guía de usuario.</li> <li>Port de Android.</li> </ul> </li> </ul>	120.000	50.000 <ul style="list-style-type: none"> <li>Archivos para <b>Modificar</b> la plataforma</li> <li>Código fuente: <ul style="list-style-type: none"> <li>u-boot</li> <li>Kernel de Linux.</li> <li>Android OS.</li> </ul> </li> <li>Documentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>Tutoriales.</li> <li>Proceso completo de diseño.</li> <li>Cursos en línea.</li> <li>Listas de discusión.</li> </ul> </li> </ul>

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.

## REFERENCES

[1] H. Mitsui, H. Kambe, and H. Koizumi. Use of Student Experiments for Teaching Embedded Software Development Including HW/SW Co-Design. *IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION*, 52(3), August 2009.

[2] C. Camargo. SIE: Plataforma Hardware copyleft para la Enseñanza de Sistemas Digitales. *XVII Workshop de Iberchip, Bogotá Colombia*, February 2011.

[3] C. Camargo. Plataformas Abiertas Hardware/Software Para Aplicaciones en Robótica. *V Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y Tercero de Ingeniería Mecatrónica*, 2011.

[4] 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.

[5] J. Camargo. ECBOT: Arquitectura Abierta para Robots Móviles. *IEEE Colombian Workshop on Circuits and Systems*, 2007.

[6] C. Camargo. ECBOT: Arquitectura Abierta para Robots Móviles. *VII conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática*, 2008.

[7] J. Quiza and Y. Parra. Análisis de Patentes y Artículos en Aplicaciones de Microcontroladores en Control e Instrumentación. *I Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación*, 2008.

[8] J. Quiza, J. González, and G. Hernández. Estudio de Fabricantes y Familias de Microcontroladores y Microprocesadores Aplicados a Sistemas de Control e Instrumentación. *I Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación*, 2008.

[9] D. Aponte. Estudio de Vigilancia Tecnológica en Dispositivos Lógicos Programables Complejos CPLD. *I Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación*, 2008.

[10] D. Ovalle and D. Mendez. *Diseño e Implementación de equipo Básico de Laboratorio Utilizando Sistemas Embebidos y FPAAs*. Universidad Nacional de Colombia, 2004.

[11] 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.

[12] C. Camargo. Low Cost Platform for Evolvable-Based Boolean Synthesis. *IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS 2011)*, Bogotá Colombia, February 2011.

[13] C. Camargo. PLATAFORMAS ABIERTAS HARDWARE/SOFTWARE PARA APLICACIONES EN ROBOTICA. *V Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y III de Ingeniería Mecatrónica (por publicar)*, 2011.

[14] C. Camargo, C. Pedraza, L. Niño, and J. Martínez. Intrinsic Evolvable Hardware for Combinatorial Synthesis Based on SoC+FPGA and GPU Platforms. *Genetic Evolutionary Computation Conference*, 2011.

[15] C. Camargo. Control de Sistemas Paralelos Inspirado en la Naturaleza. *Colombian Workshop on Circuits and Systems*, 2009.

[16] E. Rodríguez, 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 Energía Eléctrica - ASOCODIS*, 2009.

[17] S. Banguero and M. Erazo. *Plataforma de Desarrollo para Sistemas Embebidos Basada en el GameBoy Advance*. Universidad Industrial de Santander, 2007.

[18] C. Camargo. Linux como herramienta de Desarrollo de Sistemas Embebidos. *XII Workshop de Iberchip, San Jose*, 2006.

[19] C. Camargo. First Colombian Linux SBC runs Debian. URL: <http://www.linuxfordevices.com/c/a/News/First-Colombian-Linux-SBC-runs-Debian/>, 2006.

[20] 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.

[21] C. Camargo and O. Sanchez. Linux embebido como herramienta para realizar reconfiguración parcial. *XII Workshop Iberchip*, 2006.

[22] C. Camargo. Implementación de Sistemas Digitales Complejos Utilizando Sistemas Embebidos. *Memorias del XI Workshop de Iberchip ISBN 959-261-105-X*, 2005.

[23] F. Pedraza, F. Segura, C. Camargo, and A. Gauthier. Control Adaptativo Embebido. *Memorias del XI workshop de Iberchip ISBN 959-261-105-X*, 2005.