

**METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTOS EN EL ÁREA
DE SISTEMAS EMBEBIDOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Carlos Iván Camargo Bareño

19 de enero de 2011

METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTOS EN EL
ÁREA DE SISTEMAS EMBEBIDOS

AUTHOR: C. Camargo

E-MAIL: cicamargoba@unal.edu.co

Copyright ©2005 Universidad Nacional de Colombia

<http://www.unal.edu.co>

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, version 1.2, with no invariant sections, no front-cover texts, and no back-cover texts. A copy of the license is included in the end.

This document is distributed in the hope that it will be useful, but without any warranty; without even the implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose.

Published by the Universidad Nacional de Colombia

Índice general

1. Introducción	5
2. Estado de la Industria Electrónica en Colombia	9
3. Descripción de la Tesis	15
3.1. Objetivos	15
3.2. Hipótesis	16
3.3. Metodología	17
3.4. Actividades	20
3.5. Cronograma	21
3.6. Recursos	22

Capítulo 1

Introducción

El gran avance de las técnicas de fabricación de Circuitos Integrados ha permitido que los sistemas digitales sean partes fundamentales de nuestra vida, aún sin darnos cuenta, diariamente interactuamos con ellos, facilitando las tareas cotidianas. Los niveles de integración actuales permiten construir sistemas cada vez más pequeños, veloces y de menor consumo de potencia, lo cual ha favorecido su difusión. El uso de los sistemas digitales en áreas como la aviación, la industria automovilística, la bioingeniería, etc. demanda de estos un alto desempeño y un funcionamiento continuo, el no cumplimiento de estas exigencias traería consecuencias desastrosas.

La tecnología de los semiconductores adelanta a la capacidad de utilización por parte de los diseñadores, lo cual crea una brecha en la productividad: cada año, el número de transistores disponibles aumenta en un 58 % mientras la utilización por parte de los diseñadores lo hace en un 21 % [1]. A medida que aumenta 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, se hace necesario diseñar nuevas técnicas que permitan eliminar la brecha en la productividad.

Futuro de los Sistemas Computacionales

”The best way to predict the future is to invent it.”

Alan Kay

Observando la tendencia actual de los sistemas electrónicos, se puede especular que el computador tal como lo conocemos actualmente desaparecerá [2], ya que estará en todas partes, ubicuo, interactuando con los seres humanos para realzar el mundo que ellos viven. Se pasará de un esquema en el que existe un computador para uno o varios usuarios (PC, mainframe) a uno en el que existan muchos computadores para un usuario. Estos computadores 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, imagínense 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. Por ejemplo, cuando

observamos una señal de tránsito capturamos la información sin ser conscientes de la realización del acto de la lectura.

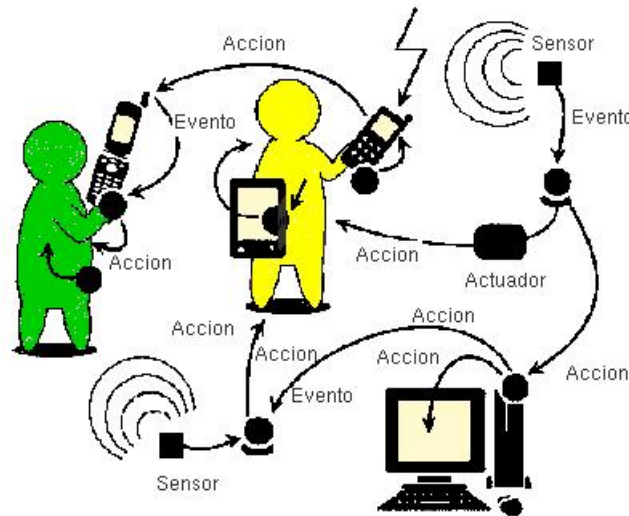


Figura 1.1: Concepto de Computador Ubiquo.

Hasta el momento el diseño de sistemas tanto software como hardware se ha centrado en las máquinas, las personas se encargan de crear condiciones adecuadas de trabajo para ellas. Nos vemos obligados a interactuar con estas utilizando su propio lenguaje, lo cual dificulta su manejo. En el futuro la computación tendrá como centro al ser humano, estará en todas partes dispuesta a ayudarlo en sus tareas diarias. No tendrán que llevar computadoras con ellos, se podrá interactuar con ellas en cualquier parte a través de dispositivos como HandHelds, teléfonos celulares, etc no tendremos que preocuparnos por nuestra privacidad ya que ellas se encargarán de eso [3].

Sistemas Embebidos.

En la actualidad, cada vez con más frecuencia, se notan signos de la invasión digital, por ejemplo, en el aumento de chips embebidos en los dispositivos que utilizamos a diario. Se ha demostrado [4] que una persona que vive en un país industrializado se ve confrontada con un promedio de 40 chips al día, de los cuales 5 son capaces de comunicarse en redes. Se estima que dentro de 10 años estaremos en contacto con cientos de estos chips, la mayoría de los cuales acceden a densas redes de información [5], muchos de estos artefactos toman la apariencia de objetos que utilizamos en nuestra vida diaria (herramientas, vestuario, electrodomésticos, etc) pero son mejorados con sensores, actuadores, procesadores y software embebido. Una de las razones de la aparición de estos sistemas es económica. Las industrias han visto como se muestran signos de recesión en los mercados tradicionales. Por lo tanto, buscan nuevos productos en los que pueden ser embebidos chips y software. El análisis de los procesos de adopción de los dispositivos tecnológicos de hoy muestra que la introducción en el mercado de nuevos dispositivos genera la alteración o la creación de nuevos hábitos [5]. Esta invasión electrónica trae consigo una serie de efectos que resultan poco prácticos e incómodos para sus usuarios humanos:

- La interacción se realiza utilizando el lenguaje del dispositivo, este lenguaje no es único, por lo tanto

debemos aprender un tipo de lenguaje para un tipo de aplicación determinada.

- Estos dispositivos no pueden comunicarse entre sí, por lo que nos vemos obligados a buscar *traductores* que sirvan de puente entre ellos.
- Están contruidos para operar en un ambiente determinado, lo cual nos obliga a movilizarnos con el fin de utilizarlos.
- No realizan distinción entre usuarios, cada vez que un usuario diferente los use debe configurar sus preferencias.

Consecuencias de la aparición de los sistemas de computación ubicua.

La aparición de la computación ubicua no es una revolución, por el contrario es una consecuencia lógica de la evolución de las relaciones entre los usuarios y los sistemas de computadores, los cuales se han caracterizado por una democratización de acceso a los equipos y una descentralización de la infraestructura subyacente. En el primer período (1950-1970) se compartían recursos a través de terminales, es decir, se contaba con un computador para muchos usuarios. En los 80s, la aparición de los computadores personales impulsa la relación personal entre los computadores y usuarios. En los 90s la aparición de Internet permitió compartir recursos a través de un computador personal. Internet no es más que un paso adelante hacia la llegada de los sistemas de computación ubicua. La misma filosofía de simplificación y descentralización prevalece hasta hoy y nos conducirá a una situación donde miles de dispositivos computacionales estarán disponibles para realizar nuestras tareas y se compartirán recursos a través de redes más intrincadas que Internet. En conclusión se pasará de un esquema en el que se tenía un computador para muchos usuarios a uno en el que se tienen muchos (tal vez miles o millares) elementos computacionales para servir a un usuario.

Estos sistemas serán componentes de una infraestructura computacional que difiere radicalmente de las que conocemos hoy, y deben poseer las siguientes características:

- Descentralizados: la centralización además de impráctica no permite que diferentes usuarios puedan controlar sus componentes.
- Manejar la variación de su configuración: debido a la adición o substracción de sus componentes, o por la forma en que los usuarios los usan.
- Estar inmersos en las comunidades humanas con varios tamaños y necesidades, y operar con información incompleta sobre su entorno.
- Unir combinaciones altamente heterogéneas de software y hardware, las cuales pueden diferir por su función o por su procesamiento, comunicación o capacidades de acción.
- Ser el resultado de combinaciones de componentes, que pudieron no ser vistos en tiempo de diseño, sin embargo, producen comportamientos emergentes interesantes.
- Adaptarse de forma continua a su entorno con el fin de mejorar su desempeño.

Capítulo 2

Estado de la Industria Electrónica en Colombia

En la actualidad Colombia atraviesa por una “crisis” a nivel de diseño de sistemas digitales, existe un atraso muy grande en esta área; a mi modo de ver existen dos grandes responsables de esta situación. Por un lado, las políticas de la mayoría de las industrias al no realizar inversión de capital en sus departamentos de I+D; algunas de ellas ni siquiera cuentan con este departamento. Por otro lado, las Universidades no cuentan con programas actualizados que permitan explotar los avances realizados en las industrias electrónica y de semiconductores; en un gran número de universidades colombianas aún se trabaja con dispositivos de función fija como las familias 74 y 40. Los lenguajes de descripción de hardware han sido adoptados recientemente en la mayoría de programas de ingeniería electrónica, pero en algunos casos no existe una base metodológica que soporte su adecuada utilización. La disponibilidad de dispositivos lógicos programables (FPGAs, CPLDs) es limitada debido a la inexistencia de un proveedor local. Se dedican cursos completos para “enseñar” a programar microprocesadores de 8 bits en lenguaje ensamblador y muchos educadores aún miran con desconfianza a los lenguajes de alto nivel como el C, C++. En muy pocos programas de Ingeniería Electrónica no se cuenta con una asignatura dedicada a sistemas operativos y en muchos de ellos no se le da la importancia que tiene la enseñanza de lenguajes estructurados.

La situación se agrava aún más al ver el estado de la relación entre la universidad y la industria, la cual no existe en algunos casos. Desde el punto de vista industrial los resultados obtenidos en la academia parten de entornos ideales y no se tienen en cuenta las características de los entornos industriales, lo cual da como resultado sistemas poco robustos y con problemas funcionales. Por otro lado, los tiempos de desarrollos son muy largos ya que la mayoría de las universidades colombianas no cuenta con grupos de investigación consolidados en estas áreas. Esto, debido a la falta de recursos económicos y de personal especializado que posea las habilidades necesarias para abordar este tipo de proyectos.

Apropiación de Conocimiento y Transferencia Tecnológica

Para que Colombia deje de ser un país que consume tecnología y llegue en algún momento a ser generador de productos tecnológicos, es necesario que se genere un conocimiento que permita esta transición. “Para que el conocimiento sea motor de desarrollo es necesario el traspaso desde sus creadores a la sociedad, mediante la conversión a tecnologías que produzcan cambios radicales que incrementen la producción. Esa transmisión de tecnología generadora de crecimiento económico esta influenciada por diversos factores: medio geográfico, leyes de propiedad industrial, costos laborales, nivel de ciencia y tecnología, religión,

tipos de instituciones, resistencia a innovar, políticas de estado, guerras, factores demográficos, entre otros” [6].

Pero como apropiar este conocimiento? Arrow [7] afirma que la apropiación de conocimiento puede efectuarse de varias formas: “aprender haciendo”, “aprender usando”, “aprender leyendo”. Cuando una empresa decide transmitir su conocimiento disponible, lo hace en procesos de investigaciones conjuntas, en actividades de producción, y distribución, mercadeo, servicio y soporte operativo o riesgo compartido. También se presentan alianzas entre firmas como: contratos de I+D, acuerdos de licencias, licencias cruzadas. La conformación de estas asociaciones permite crear redes tecnológicas dominadas por países industrializados con sus respectivas empresas multinacionales monopolizando conocimiento [8].

Para Colombia, el problema radica en que las empresas de capital nacional no están adquiriendo el conocimiento necesario para lograr innovaciones al interior de las mismas. De forma que puedan ser competitivas y logren acceder a mercados internacionales ofreciendo productos innovadores, de calidad y a precios competitivos. Con efectos directos como: generación de empleos especializados, desarrollo tecnológico e industrial sostenido, ampliación del acervo de conocimiento nacional y disminución de la salida de divisas (al mejorar los procesos de negociación) y creación de externalidades positivas [8].

En este orden de ideas, si el país no es un innovador neto ¿no debería más bien mostrar una tendencia a importar conocimiento? Y las firmas nacionales ¿no deberían ser las que más efectuaran este tipo de contratos, para así acceder al conocimiento de la tecnología adquirida? En resumen, conociendo mejor qué tecnología se importa y qué tipos de contratos se utilizan, es posible crear marcos de referencia para empresas nacionales que estén interesadas en adquirir tecnología. Esto produciría externalidades positivas en empresas importadoras de conocimiento y, a su vez, en la economía del país. Con una adecuada importación de conocimientos tecnológicos se crearía una ventaja competitiva de carácter estructural, basada en un acervo de conocimiento tecnológico que permita incrementar la productividad en todos los sectores económicos de manera permanente [8].

Según los estudios realizados por Martínez, con base en registros del Decreto 259/92, del Incomex. La importación de conocimiento no está siendo empleada con el propósito de utilizar tecnologías de punta que permitan efectuar innovaciones al interior de las empresas y de los sectores. Las empresas nacionales se limitan a comprar un determinado dispositivo, sin tener el conocimiento para operarlo, hacerle mantenimiento ni mucho menos mejorarlo, por lo que se ven obligadas a contratar con el vendedor contratos para dicho fin. Esto indica que la adquisición de tecnología no se realiza con base en programa desarrollado de antemano, sino son una respuesta a cambios en el mercado, lo cual evidencia la inexistencia de programas de innovación encaminados a la disminución de la brecha tecnológica.

Situación de la Industria Electrónica en Colombia

La industria electrónica nacional no es ajena a las políticas que siguen las empresas nacionales en cuanto a la apropiación de tecnología; Colombia depende totalmente de economías más desarrolladas para el suministro de dispositivos electrónicos en diversas áreas (comunicaciones, entretenimiento, industria, medicina, etc). Mientras en otros sectores de la economía han pasado de ser consumidores a exportadores, y adquieren nuevas tecnologías para ser más competitivos, el sector electrónico del país ha reducido sus actividades de Investigación y Desarrollo hasta el punto de depender totalmente de productos externos, de los cuales, algunos son de baja calidad y no suplen los requerimientos del mercado local, pero son utilizados porque son muy económicos.

En la actualidad la industria electrónica presenta una gran dinámica a nivel mundial, el uso de los sistemas electrónicos se extiende a todas las actividades humanas; La demanda mundial de este tipo de sistemas aumentará de forma dramática en los próximos años, especialmente en los sectores de tecnología médica,

movilidad, seguridad, comunicaciones y consumo [9]. El mercado de los sistemas embebidos es una industria que movió alrededor de 25 billones de dólares en el 2008 según Venture Development Corporation [10]. Por otro lado, la inversión de capital necesaria para el diseño de Sistemas Embebidos es relativamente baja, gracias a la gran demanda originada, los insumos y los servicios de fabricación son muy económicos, las herramientas de desarrollo necesarias para la programación y depuración de este tipo de sistemas son de libre distribución.

Desafortunadamente en Colombia la industria electrónica se encuentra muy rezagada en relación a las de los países industrializados, y las ventajas y oportunidades de negocios mencionadas anteriormente no son aprovechadas en la actualidad.

Según ASESEL ¹ en el 2001 existían 154 empresas productoras de componentes y equipos de la cadena electrónica. Dentro de los productos que la industria electrónica exporta se encuentran registrados: Circuitos integrados, circuitos impresos, microestructuras, instrumentos para medida y control, Instrumentos y aparatos eléctricos o electrónicos. Es importante decir que la industria colombiana, en la actualidad no fabrica circuitos integrados, ni microestructuras, por lo que estas son ventas de productos comprados en países desarrollados. Según Proexport el 91 % de las exportaciones son realizadas por Bogotá y los destinos se encuentran en países cercanos como Venezuela, Perú, Ecuador y USA.

La electrónica en Colombia y en el mundo hace parte de esas industrias que se mueven velozmente en un camino desconocido, como consecuencia se hace necesario tener una actualización constante de los avances tecnológicos y las proyecciones futuras del sector. Debido a la importancia del sector tecnológico es primordial que en Colombia se esté consciente del estado actual y que se puede hacer en términos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (I+D) en Ingeniería Electrónica.

Causas del Atraso Tecnológico en Colombia

Un estudio realizados en la Universidad Nacional de Colombia [11] y en otros países [12] [13] [14] [15] [8] identificaron los siguientes obstáculos para el desarrollo de la industria electrónica en Colombia: Deficientes relaciones Universidad Empresa, Pobre enfoque académico hacia la industria, baja calidad de los productos nacionales, políticas gubernamentales, falta de cultura de Investigación y Reducida apropiación tecnológica, competencia de países asiáticos, atraso tecnológico, limitado recurso humano con formación avanzada.

De los problemas expuestos anteriormente se pueden identificar cuales son los que más afectan el desarrollo de la industria electrónica en Colombia, el que más perjudica sin lugar a dudas es el atraso tecnológico, no es posible ser competitivo en el mercado electrónico mundial con tecnologías y metodologías de diseño obsoletas. ² La culpa de este atraso tecnológico no es exclusiva de la industria, aunque, como se mencionó anteriormente muchas industrial colombianas se resisten al cambio y prefieren comprar equipos en el exterior a buscarlos localmente, la falta de confiabilidad en los productos colombianos agrava este problema, esta falta de confianza en la industria local no es infundada, la mayoría de los productos colombianos no cumplen con las normas mínimas de calidad y utilizan productos de bajo costo obtenidos en remates de componetes.

Otro actor que contribuye al retraso tecnológico es el sector académico; según el Sistema Nacional de Información Superior, durante los últimos 10 años se han abierto 230 programas relacionados con la industria electrónica, estos programas están repartidos entre programas de formación universitaria, tecnológica terminal y de técnica profesional, la mayoría de estos centros de formación se encuentran ubicados en 3 departamentos: Bogotá, Antioquia y Valle [15]. El número de ingenieros graduados en un año es entre 2

¹ Asociación de entidades del Sector Electrónico

² En Colombia trabajamos aún con circuitos integrados que se crearon en la década de los 80 del siglo pasado y utilizamos lenguajes de programación como el *assembler*, para el cual el tiempo de aprendizaje, desarrollo y de depuración es muy largo

y 8 veces mayor que en los países en vía de desarrollo y doce veces mayor que los que se gradúan en los países desarrollados. En Colombia, este aumento es aportado por instituciones de poca consolidación académica; además, las preferencias en la educación superior son formación técnica / formación tecnológica / formación profesional que es justamente lo opuesto a la de los países desarrollados [14].

Por otro lado, el contenido y metodologías de las asignaturas relacionadas directamente con la industria electrónica se encuentran muy desactualizados, y fuera del contexto mundial; se utilizan metodologías de diseño antiguas en las que primaba la experiencia del diseñador, se realizan tareas manuales, repetitivas que pueden ser realizadas por herramientas de diseño moderno, los currículos son conservadores, hay poca experimentación y su estructuración y metodologías son muy clásicas. Adicionalmente, muchos investigadores dedican sus estudios en proyectos que no aportan al desarrollo del país pero que pueden brindarles más reconocimiento internacional. Otro problema adicional radica en la falta de experiencia en el sector productivo por parte del personal académico, un componente importante de los profesores nunca han sido parte de un proceso productivo o de un proceso de desarrollo que tenga como fin la creación de un producto comercial, razón por la cual se evita la experimentación y se da más énfasis al análisis y solo se llega a una simulación.

De lo anterior se puede concluir que 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 ingenieros con altos niveles de formación 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. 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, regule la oferta laboral y los programas académicos, generan el clima perfecto para que el atraso tecnológico se mantenga durante mucho tiempo y Colombia siga siendo consumidor de tecnología. Según John Kao, uno de los grandes expertos del mundo en innovación, los países desarrollados no invierten en Ciencia Tecnología e Innovación (CTI) porque son ricos, sino que son ricos porque invierten en CTI.

El conocimiento Como Bien Común

Es indudable que el desarrollo tecnológico de un país se encuentra ligado al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, y que para que en un país en vía de desarrollo se realice una transferencia tecnológica (y de conocimientos asociados a la tecnología que se transfiere) exitosa que permita desarrollar productos similares, pero ajustados al contexto socio-económico local, es necesario que el país cuente con la capacidad de absorber las habilidades, técnicas, información y organización asociadas a dicha tecnología. Esta absorción de conocimientos debe ser realizada por un gran número de personas para que la transferencia tenga un impacto significativo en la sociedad, este conocimiento debe ser considerado como un bien público, y como tal, el acceso a él, debe ser un derecho y por lo tanto, la sociedad debe garantizar los mecanismos de difusión para que llegue a los sectores de la sociedad interesados en él. De igual forma, es un deber, de los sectores que utilizan este bien común contribuir a su difusión, actualización, mejoramiento, y crecimiento.

El conocimiento en esta propuesta se refiere a las ideas intangible; información y datos en el que el conocimiento es expresado u obtenido; y como el entendimiento adquirido a través de la experiencia o estudio ya sea propio, científico, académico o no académico. La adquisición y descubrimiento de conocimiento es un proceso social y personal. *El descubrimiento de conocimiento es un bien común y un tesoro que dejamos a futuras generaciones y el reto de nuestra generación es en mantener los caminos del descubrimiento abiertos.* El acceso al conocimiento debe garantizarse sin restricción alguna a las personas interesadas, al considerar el conocimiento como un producto comercial se limita su difusión favoreciendo a un grupo de la población, lo cual es inaceptable, ya que representa una forma de discriminación. En nuestro país, el acceso a la información ha ido aumentando gracias a la aparición de Internet y a la gran cantidad de

proyectos existentes que buscan difundir todo tipo de conocimientos. Sin embargo, para poder asimilar este conocimiento se requieren ciertas habilidades que se adquieren después de un proceso de enseñanza formal. En Colombia el acceso a la educación superior de calidad es limitado, la cobertura de las universidades públicas está limitada por la inversión del estado. Por lo tanto, hacer del conocimiento un bien común requiere la intervención de diferentes sectores que garanticen y regulen el acceso, generen, clasifiquen y administren la forma en la que se divulga el conocimiento.

La diferencia entre esta propuesta y las existentes promovidas por los organismos gubernamentales, es el énfasis en la transferencia y difusión del conocimiento, del *saber hacer*, muchas políticas existentes se enfocan en la compra de equipo, el cual no es el medio más eficiente para la transferencia tecnológica. Nuestros esfuerzos están enfocados a crear un conocimiento básico en la Concepción, Diseño, Implementación y Operación de Sistemas Embebidos.

Capítulo 3

Descripción de la Tesis

Con el presente trabajo se busca contribuir a mejorar la plataforma tecnológica del país y proponer una metodología que permita realizar una transferencia tecnológica exitosa en el área de los sistemas embebidos, proporcionando herramientas que contribuyan al desarrollo de la industria electrónica nacional; actualicen los planes de estudio y las metodologías de diseño utilizadas en las asignaturas del área de la electrónica digital; y generen un conocimiento en la Concepción, Diseño, Implementación y Operación de sistemas embebidos. Basado en la creencia que el conocimiento es un bien común y su acceso debe ser garantizado a todos los interesados, se trabajará en la definición del concepto "hardware copyleft." hardware libre (Inspirado en el movimiento de Software libre y Código abierto [16]) y su papel facilitador del proceso de transferencia tecnológica. Adicionalmente, se creará un *recurso común* representado en el conocimiento necesario para diseñar aplicaciones comercializables utilizando herramientas hardware y software abiertas; y de esta forma, atraer a personas o instituciones interesadas en su uso académico o comercial y con disponibilidad en el trabajo colectivo, para formar una comunidad que trabaje en la difusión, mejoramiento, y crecimiento de este recurso.

3.1. Objetivos

Ojetivo Principal

Desarrollar una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos en el área de Sistemas Embebidos y de esta forma contribuir a dar solución al problema del atraso tecnológico en Colombia.

Objetivos Específicos

- Formulación de una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos en el área de Sistemas Embebidos en Colombia.
- Formulación de una metodología de Diseño y producción para Sistemas Embebidos aplicable en el entorno local.
- Desarrollo de Plataformas Hardware abiertas que utilicen tecnología de punta basado en el concepto de "Hardware copyleft".

- Identificación de las habilidades requeridas para los profesionales y técnicos en la Industria Electrónica para estar acorde con la tendencia de la industria electrónica mundial y formulación de recomendaciones para la industria y los organismos gubernamentales encaminadas a mejorar la productividad de la industria electrónica del país.

Resultados Esperados e Impacto

Con la realización de este proyecto se busca generar la base de un recurso de bien común representado por el conocimiento necesario para concebir, diseñar, implementar y operar sistemas digitales; administrado por una comunidad formada por personas o instituciones con disponibilidad para trabajo colectivo y sus acciones están basadas en el beneficio común. Utilizando como modelo el movimiento de Software Libre y código Abierto (FOSS) se definirá un movimiento de hardware libre (*copyleft hardware*) que permita entender, modificar y distribuir (incluso para aplicaciones comerciales) una serie de plataformas hardware abiertas que pueden ser utilizadas en la implementación de aplicaciones comercializables en un amplio rango de campos.

La difusión de estos conocimientos permitirá la creación de una comunidad que se beneficia de ellos y contribuirá a su crecimiento y mejoramiento, esta transferencia de conocimientos permitirá la modernización de la industria electrónica del país y los programas académicos de las asignaturas relacionadas. Se espera que estas actividades sean el punto de partida de una serie de proyectos de *Hardware copyleft* que generen productos comercializables realizados por nuevas industrias locales y de esta forma aumentar la oferta de empleo a los profesionales del área, mejorando sus condiciones de vida y contribuyendo al desarrollo del país.

3.2. Hipótesis

Esta propuesta se basa en la idea de que la generación local de productos tecnológicos es el motor que impulsará el desarrollo de la industria Colombiana, pero para lograrlo es necesario generar una serie de habilidades en las personas involucradas en el proceso; entender el funcionamiento de tecnologías modernas (conocimientos, metodologías de diseño, procesos de fabricación) para que puedan ser utilizadas en la creación de dispositivos que satisfagan necesidades locales; y adoptar estructuras organizacionales que permitan generar productos y servicios que cumplan con los estándares internacionales y establezcan relaciones con proveedores (nacionales y extranjeros) y posibles usuarios.

Los sistemas embebidos permiten una visión completa del proceso de producción de dispositivos electrónicos: Concepción, Diseño, Implementación y Operación, adicionalmente es un mercado que mueve miles de millones de Dólares al año y su campo de acción abarca casi todas las actividades humanas (Educación, entretenimiento, transporte, salud, productividad), existe una infinidad de herramientas Hardware (Procesadores, SoCs, FPGAs, diseños de referencia, herramientas CAD) y Software (Compiladores, depuradores, librerías, Sistemas Operativos, Aplicaciones) y una gran dinámica en la industria que proporciona servicios de manufactura (suministro de componentes, fabricación, pruebas, distribución). Lo que permite ingresar a este mercado con bajas inversiones de dinero, lo que es ideal para la situación actual del país (baja inversión en I+D).

Para que este trabajo tenga un mayor impacto se deben evitar temas en los que se requieran grandes inversiones en infra-estructuras como por ejemplo diseño y fabricación de Circuitos Integrados o aplicaciones en nanotecnología, ya que los laboratorios necesarios son muy costosos y en el país no existe aún la demanda suficiente que sostenga los costos de funcionamiento de este tipo de procesos. Teniendo en cuenta esto, existen varias alternativas en las que el país podría llegar a ser competitivo a corto plazo y generar productos

que compitan con los ofrecidos por industrias de países desarrollados, estas son:

- Desarrollo de núcleos de Propiedad Intelectual (IPs)
- Desarrollo de dispositivos dedicados a resolver problemas específicos utilizando dispositivos semi-conductores ya existentes.
 - Diseño de plataformas de Desarrollo Hardware robustas.
 - Creación de plataformas de desarrollo software estables.
 - Desarrollo de aplicaciones basadas en las plataformas de desarrollo ya creadas.
- Desarrollo de aplicaciones HW/SW para que sean fabricadas en otros países con mayor oferta en servicios de manufactura.

La transferencia tecnológica es el mecanismo ideal para que un país en vía de desarrollo adquiera las habilidades, conocimientos y estructuras organizacionales necesarias asociadas a una determinada tecnología, esta transferencia se considera exitosa cuando el país receptor es capaz de crear soluciones a problemas locales utilizando esta tecnología, pero para esto, es necesario contar con una plataforma tecnológica que permita absorber los diferentes componentes de la nueva tecnología.

El movimiento FOSS ha revolucionado la industria del software y puede ser considerado como una herramienta para la transferencia tecnológica ya que permite transferir los conocimientos de un programador experimentado a programadores en formación a través del estudio del código fuente, su nueva forma de licenciamiento permite que se realicen modificaciones al código original para adaptarlo a necesidades locales. El software es un componente importante en el diseño de sistemas embebidos ya que es quien finalmente implementa las aplicaciones, pero en la actualidad aún no existe un movimiento similar en diseño hardware. Por esto, se propone la creación de un movimiento de hardware libre (*hardware copyleft*) que facilite la transferencia tecnológica en el área de los sistemas embebidos, y realice una permanente actualización de la industria y la academia en áreas involucradas en el área de diseño digital.

3.3. Metodología

Este proyecto tiene varios frentes de trabajo, i) el estudio de metodologías de diseño y procesos de fabricación de sistemas embebidos, lo que proporcionará el conocimiento necesario para realizar la actualización de la industria electrónica local y la academia en el área de la electrónica digital; ii) se debe identificar las causas que generan el atraso en la industria electrónica nacional, lo que permitirá establecer actividades que contribuyan a la solución del problema, iii) difusión de los resultados obtenidos y el conocimiento generado, para esto se definirá el concepto de “hardware copyleft” y se crearán una serie de proyectos libres que utilicen tecnologías abiertas con la posibilidad de distribución y modificación, lo que permitirá la creación de nuevos productos y la formación de una comunidad que trabaja en beneficio del bien común actualizando, depurando y aumentando la información contenida en estos proyectos. Adicionalmente, se creará una empresa que utilizará los conocimientos generados en este estudio para crear productos que satisfagan necesidades locales, lo que nos permitirá conocer la dinámica de la industria nacional, la infraestructura de bienes y servicios con las que cuenta el país y permitirá validar la metodología propuesta.

Estudio de Metodologías de Diseño y Procesos de Fabricación de Sistemas Embebidos

El diseño de sistemas embebidos involucran conceptos a nivel de integración de sistema que permiten la generación de un gran número de habilidades necesarias para la concepción, diseño e implementación

de dispositivos digitales. Con el estudio de metodologías de diseño en esta área se pretende adquirir los conocimientos requeridos para que sea posible una transferencia de tecnología exitosa, los pasos a seguir para este estudio son:

- *Estudio de Metodologías de Diseño* Recopilación de información sobre metodología de diseño modernas para identificar cual es la más utilizada.
- *Ingeniería Inversa* se trabajará con dispositivos comerciales como consolas de juego, Reproductores de MP4, y cualquier dispositivo que permita estudiar su arquitectura y modificar su función. Muchos países desarrollados comenzaron su desarrollo tecnológico haciendo copias de productos de otras economías más consolidadas, utilizar dispositivos comerciales reduce el tiempo requerido para iniciar el estudio y reduce los costos de forma considerable, la relación entre un producto comercial y una tarjeta de desarrollo puede ser de 1 a 10, un inconveniente que se debe considerar es la falta de documentación, por lo que se trabajará con dispositivos que tengan proyectos asociados.
- *Exploración de Herramientas de libre distribución* La utilización de herramientas de libre distribución reduce los costos de inversión iniciales y de operación, esto facilita la realización de productos, el dinero ahorrado puede ser utilizado para mejorar los salarios de los empleados o para compra de equipos. En la actualidad existe una gran variedad de proyectos de software libre, una parte de ellos centrados en el desarrollo de herramientas que permitan la creación y programación de dispositivos digitales, es necesario seleccionar de ellos los proyectos más maduros, que tengan un equipo que realice modificaciones permanentemente, esto para definir un grupo robusto de herramientas básicas que permitan desarrollar aplicaciones hardware y software.
- *Diseño, Fabricación y Programación de plataformas propias* Una vez identificada la arquitectura típica y el funcionamiento en dispositivos comerciales; seleccionadas las herramientas de desarrollo y generadas algunas aplicaciones básicas se dispondrá del conocimiento necesario para diseñar, construir y programar plataformas de desarrollo propias. Esto, con el propósito de determinar los pasos del proceso de producción de prototipos y las habilidades requeridas para realizar este proceso.
- *Utilización de Linux como Herramienta de Desarrollo* Sobre las plataformas diseñadas y fabricadas se realizarán aplicaciones que utilicen Linux como sistema Operativo. Para esto es necesario estudiar los requerimientos hardware de Linux, su arquitectura, inicialización y el proceso adaptación al hardware; adicionalmente, se debe realizar una selección de la distribución de sistema de archivos y escribir programas básicos para el funcionamiento básico de la plataforma.
- *Plataformas abiertas para el desarrollo de sistemas embebidos* Con el conocimiento adquirido en los pasos anteriores se diseñarán plataformas que permitan realizar el flujo de diseño completo, es decir, la implementación de tareas hardware y software. Los archivos de diseño y la documentación requerida para reproducirlas, entender su funcionamiento y programarlas, se colocará a disposición de todos los interesados en un servidor web público. El conocimiento contenido en esta información será la semilla para formar el recurso de bien común; con esta semilla se formará una comunidad que utilice el recurso y se encargue de mejorarlo, aumentarlo y difundirlo.

Identificación de las causas que generan el atraso en la industria Electrónica Nacional y Generación de Actividades que Contribuyan a su Solución

Para identificar las causas del atraso de la industria electrónica colombiana se trabajará desde dos frentes el académico y el industrial,¹ ya que son los actores principales en este proceso y entender su estado y forma

¹también debería trabajarse con el gobierno, sin embargo, contactar a las instituciones que generan políticas de ciencia y tecnología no es fácil, y pensar que es posible influir en la toma de decisiones es una utopía

de pensar ayuda a formar una visión global del problema.

Para determinar el estado de la industria colombiana y la dinámica del medio industrial se formará una empresa de base tecnológica cuya actividad principal será el desarrollo de dispositivos digitales comercializables que satisfagan necesidades locales, para esto utilizará las plataformas abiertas desarrolladas anteriormente. Con esto se pretende identificar las dificultades que se presentan al competir con tecnología nacional, detectar las necesidades (bienes y servicios) de la industria local, determinar las habilidades de los profesionales en el área que requiere la industria.

Una vez identificadas las necesidades del sector industrial, se realizará una evaluación del plan de estudios de las asignaturas relacionadas, especialmente en las asignaturas del área de la electrónica digital con el fin de determinar si cumplen con sus requerimientos; adicionalmente, se debe analizar su contenido programático para determinar si sigue los lineamientos de las metodologías de diseño modernas y si su metodología ayuda al fortalecimiento o creación de las habilidades requeridas para crear empresas de base tecnológica.

De los estudios anteriores se identificarán las actividades necesarias para hacer que la industria y la academia sean capaces de impulsar el desarrollo de la industria electrónica nacional.

Definición del Término *Hardware Copyleft*

Como se mencionó anteriormente, el movimiento de Software libre y Código Abierto (FOSS), representa una herramienta poderosa para efectuar la transferencia tecnológica, ya que proporciona los medios para transferir conocimientos sobre la concepción, arquitectura y principio de funcionamiento de una gran variedad de aplicaciones software; permitiendo su modificación y la creación de nuevos productos que satisfacen necesidades personales o locales. El razgo más importante del proyecto FOSS es la comunidad que hace parte de este movimiento, miles de miembros trabajan en conjunto para generar recursos de bien común en forma de aplicaciones software.

Mi experiencia académica y en la industria me indica que uno de los problemas en la industria colombiana es la incapacidad de creación de productos que cumplan normas internacionales de calidad, lo cual impide su exportación y no puedan competir con productos importados en el mercado local. Adicionalmente, algunos centros de formación superior consideran que no es necesario llegar a la implementación y que solo es necesario el desarrollo teórico y su validación utilizando modelos de simulación. Esto hace que los profesionales no posean las habilidades necesarias para desarrollar proyectos de aplicación o que los que realicen no cumplan con las normas requeridas. Por este motivo, se trabajará en la definición del concepto de *hardware copyleft* y en la creación de una comunidad que utilice los recursos hardware como bien común. El primer recurso con el que contará la comunidad será el conocimiento necesario para diseñar, construir, programar y modificar las plataformas de desarrollo hardware abiertas. Haste el momento en que se escribió esta propuesta no existe un proyecto similar ni en la academia ni en la industria colombiana. El reto en la definición radica en lograr que los proyectos generados bajo este esquema sean *modificables*, lo que implica un análisis de costos y determinar las facilidades con las que cuenta la industria actual.

Formulación de Una Metodología Para la Transferencia Tecnológica y de Conocimientos en el Área de Sistemas Embebidos

Una vez finalizadas las actividades Anteriores se formulará una metodología para realizar una transferencia tecnológica y de conocimientos a la industria y a la academia en el área de sistemas embebidos.

3.4. Actividades

En la Figura 3.1 se resumen las actividades a realizar durante este proyecto, se derivan de la metodología presentada en la sección anterior.

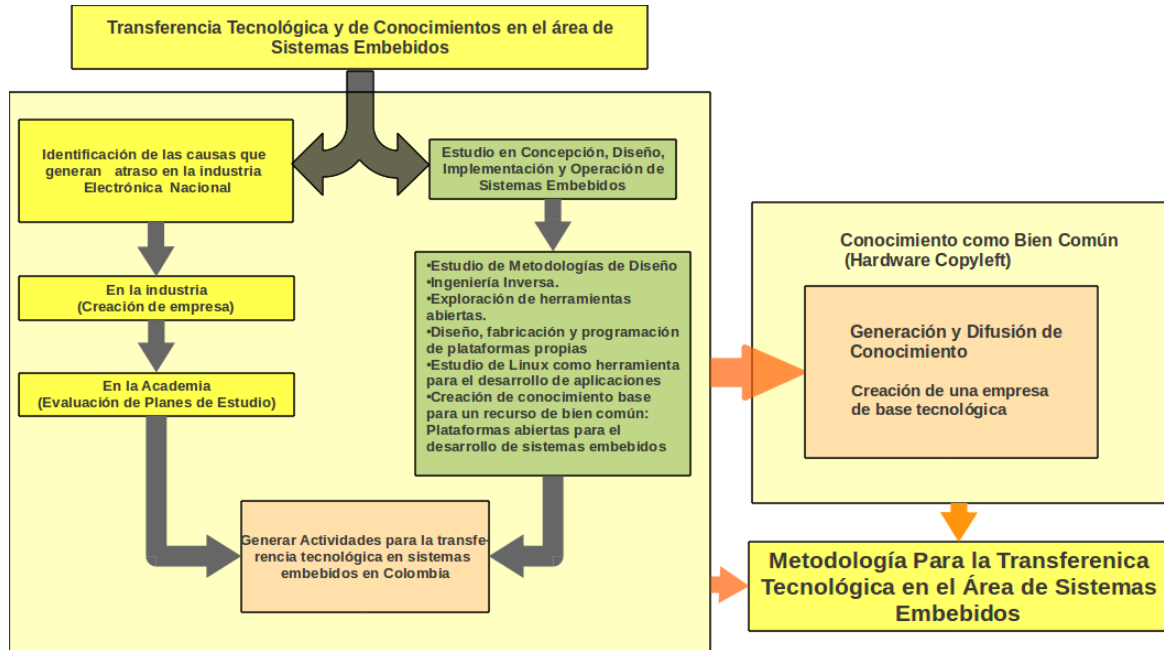
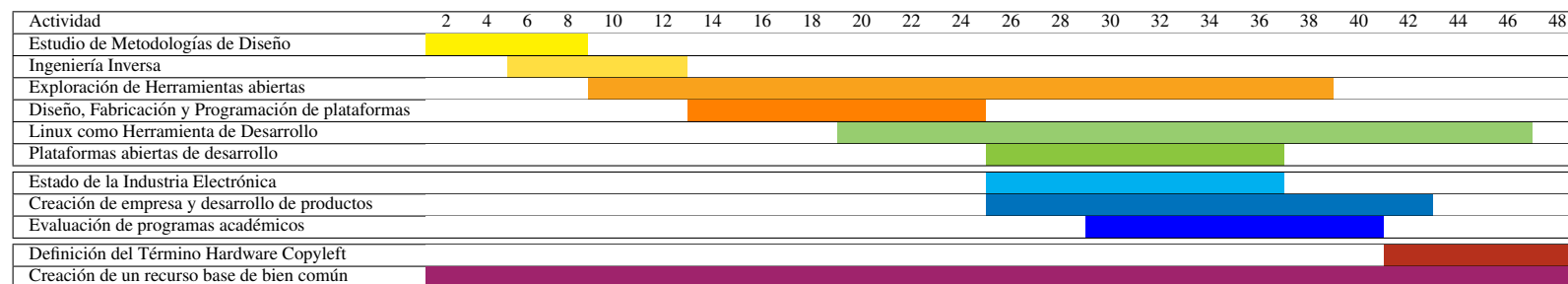


Figura 3.1: Actividades

3.5. Cronograma



Cuadro 3.1: Cronograma Para el Proyecto: METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTOS EN EL ÁREA DE SISTEMAS EMBEBIDOS

3.6. Recursos

Este estudio se realizará por completo en Colombia, utilizando los recursos suministrados por el programa de Doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia. A continuación se listan los recursos disponibles para la realización de este proyecto:

- *Recursos físicos* (oficina, equipo de laboratorio, etc), computacionales y bibliográficos serán los disponibles en la Universidad Nacional de Colombia. Los recursos económicos para la manutención los proporcionará la universidad Nacional en la modalidad de *comisión de estudios* durante los 4 años que durará este estudio.
 - Oficina con equipo de Cómputo y conexión a Internet (UNAL)
 - Equipo básico de Laboratorio (UNAL)
 - Acceso a los artículos de la IEEE (UNAL)
- *Recursos económicos*
 - Salario para manutención, en modalidad de *comisión de estudios* (UNAL)
 - Dinero para desarrollo de prototipos y compra de tarjetas de desarrollo. Financiado por la Dirección de Investigación de la Sede Bogotá (UNAL) y recursos de la empresa emQbit.
- *Recursos de Personal* Este proyecto no se encuentra asociado a ningún grupo de investigación, por lo que no se dispondrá de estudiantes que ayuden en el proceso.

Bibliografía

- [1] K. A. Kahng. Design Technology Productivity in the DSM Era. In *ASP-DAC*, 2001.
- [2] Mark Weiser. The Computer for the 21st Century. <http://www.ubiq.com/hyertext/weiser/Sci-AmDraft3.html>.
- [3] MIT. Proyecto Oxígeno. <http://oxygen.lcs.mit.edu/>.
- [4] M. Weiser. Some computer science issues in ubiquitous computing. *Commun. ACM*, 1993.
- [5] D. Servant. Combining amorphous computing and reactive agent-based systems: a paradigm for pervasive intelligence? In *First international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, 2002.
- [6] Joel Mokyr. *The Lever of Riches, Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press, 1990.
- [7] Kenneth Arrow. *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*. Princeton University Press, 1962.
- [8] Héctor Martínez. Apropiación de conocimiento en Colombia. El caso de los contratos de importación de tecnología. *Revista Cuadernos de Economía*, 2004.
- [9] European Technology Platform on Smart System Integration (EPoSS). European Technology Platform on Smart Systems Integration. Strategic Research Agenda 2009. 2009.
- [10] VDC corp. Embedded Software 2008 Market Intelligence System. Technical report, VDC Research Group, 2008.
- [11] M. Tovar and R. Rodríguez. PROSPECTIVA Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE LA ELECTRÓNICA EN COLOMBIA. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [12] M. Odedra. *Information Technology Transfer to Developing Countries: Case studies from Kenya, Zambia and Zimbabwe*. PhD thesis, London School of Economics, 1990.
- [13] Innovation Associates Inc. Technology Transfer and Commercialization Partnerships Executive Summary.
- [14] M. Duque and A. Gauthier. Formación de Ingenieros para la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en Colombia. *Revista de la Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia*, December 1999.
- [15] D Zuluaga, S Campos, M Tovar, R Rodríguez, J Sánchez, A Aguilera, L Landínez, and J Medina. Informe de Vigilancia Tecnológica: Aplicaciones de la Electrónica en el Sector Agrícola. Technical report, COLCIENCIAS, 2007.

- [16] R. A. Ghosh, G. Robles, and R. Glott. Free/Libre and Open Source Software: Survey and Study. Technical report University of Maastricht, The Netherlands: International Institute of Infonomics. URL: <http://www.infonomics.nl/FLOSS/report/index.htm>, 2002.