

**VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LA RED DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA
EN INNOVACIÓN TECNOLÓGICA RIDIT
“INNOVACIÓN, EMPRESA Y REGIÓN”
MANIZALES – COLOMBIA**

**METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
EN LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA BASADA EN SOFTWARE
LIBRE Y HARDWARE COPYLEFT*.**

Carlos I. Camargo Bareño**

RESUMEN

Los canales tradicionales para la transferencia tecnológica en el área del diseño de sistemas embebidos no han sido exitosos en los países en vía de desarrollo donde la plataforma tecnológica no está lo suficientemente desarrollada para absorber esta nueva tecnología, esto debido a la escasa transferencia de conocimiento que pueda ser utilizado para generación de productos locales. Por otro lado, existe una sobre-oferta de profesionales afines con la industria electrónica, una gran parte de ellos provienen de entidades poco consolidadas; la unión de estos factores genera una tasa de desempleo muy alta, salarios bajos, aumento de la dependencia a los productos extranjeros y una desconfianza hacia los productos generados localmente, lo que afecta de forma considerable el número de estudiantes que ingresan a los programas de formación relacionados con la electrónica, llegando hasta el punto del cierre de programas acreditados.

Este artículo presenta una metodología para la transferencia tecnológica en el diseño de sistemas embebidos desarrollada en el Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad Nacional de Colombia; esta metodología tiene como pilares el conocimiento como bien común, el movimiento de software libre y un concepto nuevo desarrollado en conjunto con

* Estudio financiado por la Universidad Nacional de Colombia, hace parte del trabajo de tesis doctoral: Metodología para la Transferencia Tecnológica y de Conocimientos en el Diseño de Sistemas Embebidos.

* * Magister en Ingeniería Eléctrica, Candidato a Doctor por la Universidad Nacional de Colombia, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá e-mail: cicamargoba@unal.edu.co

un grupo de desarrolladores hardware y software: el hardware copyleft.

PALABRAS CLAVES Sistemas Embebidos, educación en ingeniería, hardware copyleft, transferencia tecnológica.,

Introducción

La transferencia de tecnología ha introducido técnicas de alta productividad y en muchos casos cambios técnicos en países menos desarrollados. La adquisición de tecnología foránea contribuye a mejorar la competitividad en los mercados locales e internacionales en estos países, en los que debe ser considerada como un proceso vital. Este proceso presenta problemas cuando se pierde capacidad de absorción por parte del país receptor y la renuencia del país que transfiere a transferir tecnología real y el *know-how*. Por lo que es necesario que estos países promuevan sus capacidades tecnológicas con el fin de absorber las tecnologías foráneas de forma eficiente en función de sus necesidades locales y de esta forma generar un rápido proceso de industrialización. La transferencia de tecnología según Van Gigch involucra la adquisición de "actividad Inventiva" por parte de usuarios secundarios. Es decir, la transferencia tecnológica no involucra necesariamente maquinaria o dispositivos físicos; el conocimiento puede ser transferido a través de entrenamiento y educación, y puede incluir temas como manejo efectivo de procesos y cambios tecnológicos (Bar, 2007). No debe confundirse la transferencia tecnológica con la apropiación de tecnología que se define como el proceso de interacción con la tecnología, la modificación de la forma como es usada y el marco social dentro del cual es usada. Un ejemplo de apropiación de tecnología lo podemos encontrar en la telefonía celular, nuestras sociedades han cambiado drásticamente su forma de comunicarse y han generado nuevas actividades alrededor de esta tecnología, los usuarios pueden generar aplicaciones que adicionan funcionalidades y servicios.

Tecnología

La tecnología es definida como el factor más significativo para mejorar la productividad, calidad y competitividad (Cohen, 2004) y puede verse como un proceso de transformación que tiene como entrada recursos naturales, bienes, o productos semi-manufacturados y como salida se obtienen bienes consumibles de capital y semi-manufacturados. El *Technology Atlas team* identifica cuatro componentes de la tecnología (Bar, 2007): Techno-ware relacionado con objetos, herramientas, equipos, máquinas, vehículos, facilidades físicas, instrumentos, dispositivos y fábricas; Human-ware relacionado con personas, habilidades en conocimiento experimental, sabiduría y creatividad, experiencia, competencia; Info-ware Relacionado con la información, incluye todo tipo de documentación y datos acumulados relacionados con especificación de procesos, procedimientos, diseños, teorías, y observaciones; orgaware relacionado con la organización, acuerdos y alianzas necesarias para facilitar la integración de los componentes técnico, humano, y de información. La tecnología se encuentra fuertemente relacionada con un espectro amplio de las necesidades humanas, las condiciones físicas existentes o por factores culturales derivados de las especificidades históricas de diferentes grupos sociales (Goel, 1995).

Transferencia tecnológica

(Odedra, 1994) define la transferencia tecnológica como el problema de transferencia de conocimiento (o know-how) sobre un número de aspectos (que incluyen el conocimiento) sobre como funciona un determinado sistema, como operarlo y desarrollar sus aplicaciones, como mantenerlo y si es necesario, como producir sus componentes y implementar un sistema similar. La transferencia tecnológica se considera exitosa cuando los receptores de la tecnología asimilan los conceptos anteriores para suplir sus necesidades locales. Según Jolly, 1997, La innovación tecnológica es entendida como un nuevo método, medio o capacidad del individuo para realizar una determinada actividad. El resultado de la transferencia tecnológica puede ser la aceptación de

una práctica común en otros lugares, o la aplicación de una técnica diseñada para otro uso en la solución de problemas locales. La transferencia tecnológica incluye la difusión de conocimiento científico y la preocupación por la transformación del conocimiento en innovaciones útiles. El conocimiento es lo que queda al final de un proceso documentado y difundido de forma apropiada. Para que la transferencia tecnológica sea exitosa es necesario transferir sus componentes.

1) Tipos de Transferencia Tecnológica: Mansfield, 1975, clasifica la transferencia tecnológica en transferencia de material: artefactos tecnológicos, materiales, productos finales, componentes, equipos; transferencia de diseño: diseños, proyectos, know-how para fabricar productos diseñados previamente, los productos son copiados para producirlos localmente (ingeniería inversa); transferencia de capacidades: proporciona know-how y software no solo para fabricar componentes existentes, sino para innovar y adaptar tecnologías existentes para generar nuevos productos. La transferencia de material no constituye una transferencia tecnológica real, ya que no genera el conocimiento necesario para transformarlos y generar nuevos productos que cumplan con las necesidades locales. La transferencia de diseños permite adquirir mayor conocimiento sobre la tecnología transferida, sin embargo, es necesario que el país receptor cuente con la plataforma tecnológica adecuada para absorber estos conocimientos, de lo contrario no se generarán nuevos productos y las actividades se limitarán al ensamblaje de productos manufacturados, La transferencia de capacidades es ideal, ya que proporciona las herramientas necesarias para que la transferencia sea exitosa, está asociada a una transferencia de conocimiento, lo cual es vital para entender plenamente la tecnología, mejorando las habilidades de los profesionales del receptor, creando una demanda de bienes y servicios relacionados con el conocimiento transferido; lo que se traduce en generación de empleo y aumento del bienestar general.

Canales para la transferencia de tecnología

Grimpe, C. y Hussinger, K. (2008) clasifican los mecanismos en Formales: acuerdos de licenciamiento, inversión extranjera, compañías conjuntas, acuerdos de cooperación en investigación, arreglos de producción conjunta e Informales: No involucran acuerdos entre las partes y son difíciles de detectar y monitorear, por ejemplo, exportación de productos tecnológicos o bienes de capital, ingeniería inversa, intercambio de personal técnico y científico, conferencias de ciencia y tecnología, ferias y exposiciones, educación y entrenamiento realizado por extranjeros, visitas comerciales, literatura abierta (artículos, revistas, libros técnicos), espionaje industrial. Adicionalmente, existe una división basada en la naturaleza de la institución que proporciona los recursos para que se realice la transferencia, la institución puede ser de carácter Abierta: en donde la tecnología y el conocimiento son considerados bienes públicos, no existen restricciones para acceder a la información necesaria para adquirir, usar y transformar estos conocimientos en productos comerciales, y su éxito radica en obtener la máxima difusión posible para que los usuarios de este conocimiento mejoren el material existente y contribuyan a su crecimiento con experiencias personales; Cerrada La tecnología y el conocimiento se genera para fines privados, la utilización de este conocimiento esta sometida a acuerdos comerciales, no es posible entender las bases de la tecnología, por lo que no se pueden generar productos derivados.

Las actividades realizadas durante este estudio están enmarcadas dentro del concepto: El conocimiento es un *bien común*, toda la documentación necesaria para reproducir, entrenar, entender y modificar los productos generados se encuentran disponibles en servidores públicos (Camargo, 2011) y se proporciona soporte a través de listas de discusión, adicionalmente se proporciona soporte comercial para permitir la producción de estas modificaciones. A continuación se realiza una descripción de los canales más utilizados para la transferencia de

tecnología y conocimiento en países en vía de desarrollo (Odedra, 1990; 1991; 1994) indicando en cada caso sus ventajas, limitaciones y desventajas.

1) Adquisición de IT: Con la venta de equipos se transmite únicamente el conocimiento para operar, programar o mantener, sin embargo, este conocimiento sobre el sistema puede ayudar a concientizarse sobre la tecnología e impulsar la formación de capital humano. Colombia ha realizado un proceso de transformación tecnológica pero no ha diseñado políticas efectivas y eficientes para la transferencia de tecnologías de alto nivel.

2) Educación y Entrenamiento: Educar a las personas enviándolas al extranjero es una forma de adquirir know-how sobre nuevas tecnologías, sin embargo, no se presenta una transferencia cuando estudiantes formados en el exterior no pueden aplicar sus conocimientos en su país de origen, por lo que es necesario crear políticas que definan que áreas de estudio son prioritarias para el país. Por otro lado, muchas instituciones que ofrecen carreras en ingeniería electrónica, ciencias de la computación y afines, utilizan modelos pedagógicos copiados de países desarrollados, los que no han sido adaptados plenamente a la infraestructura tecnológica local, y no es raro encontrar estudiantes que al finalizar sus estudios no están satisfechos con su profesión (Odedra, 1994). Programas académicos inapropiados, acceso limitado, falta de facilidades para capacitación, reduce la efectividad de la educación y capacitación como canal para la transferencia tecnológica.

3) Asistencia Técnica: La ventaja de contratar consultores externos radica en el ahorro de tiempo y dinero, ya que, utilizar personal local implicaría un gran esfuerzo y posiblemente se tendrían que asumir errores costosos en el proceso. Sin embargo, no es bueno confiar a consultores externos la responsabilidad de construir habilidades locales, ya que reduce el desarrollo local de estas, especialmente, la del personal encargado de manejar proyectos. La falta de personal calificado hace que los consultores se encarguen de todas las tareas del proyecto, lo que aumenta

su carga de trabajo y disminuye la posibilidad de entrenamiento de personal local (Odedra, 1990).

4) **Licenciamiento:** El licenciamiento es un canal que se utiliza para transferencia de know-how sobre productos o procesos, sin embargo, no es efectivo si no se acompaña de habilidades administrativas y de producción. Adicionalmente, es necesario contar con una infraestructura tecnológica adecuada, capacidades locales de fabricación de hardware y software y políticas de gobierno adecuadas (Odedra, 1991).

5) **Inversión Extranjera Directa:** La inversión directa de multinacionales es una forma de obtener tecnología externa, asegurando una rápida transferencia de información, pero no necesariamente de know-how, lo que hace que la tecnología transferida a través de este canal sea mínima. Las grandes multinacionales pueden tener cierto control político en los países en vía de desarrollo, hasta tal punto que son asesores de instituciones encargadas de fijar políticas para la transferencia tecnológica (Odedra, 1994).

1. Movimiento software libre y hardware copyleft

El movimiento de Software Libre y Código Abierto (FOSS) es la estructura auto-gobernada más exitosa, su principal innovación radica en un nuevo esquema de licencias unido a herramientas de colaboración basadas en Internet, lo que se convirtió en una nueva forma de bien común donde los miembros de forma colectiva generan un beneficio común el software. El desafío de FOSS es realizar acciones colectivas para crear y mantener este bien público. A diferencia de la creencia popular, en este movimiento existen derechos de autor y propiedad intelectual, se poseen derechos legales sobre el código (recurso), tienen control sobre las nuevas versiones del software y pueden excluir a otros que aportan código a las nuevas distribuciones.

Transferencia tecnológica: El movimiento FOSS puede ser considerado como una institución

abierta que permite y promueve la transferencia tecnológica; gracias a la disponibilidad del código fuente es posible aprender nuevas técnicas de programación, utilizar aplicaciones existentes como herramientas de desarrollo y entender su funcionamiento y principio de operación. En la actualidad las grandes multinacionales dedicadas a la generación de dispositivos electrónicos de consumo masivo están utilizando productos derivados del proyecto FOSS, esto permite tener acceso a la tecnología de estos fabricantes para aplicarlas en productos locales. Los foros de discusión permiten tener contacto directo con los creadores de los proyectos FOSS todas las conversaciones, preguntas/respuestas son almacenadas y se proporcionan herramientas que permiten realizar búsquedas en ellas, lo que constituye una fuente de información valiosa para cualquier persona que quiera mejorar sus conocimientos o habilidades en el uso de una determinada herramienta, lenguaje de programación o aplicación. El movimiento FOSS permite que cualquier persona interesada pueda estudiar y entender la estructura del código de una determinada aplicación, permitiendo su modificación para uso particular o comercial, y de esta forma beneficiar a un sector de la sociedad; lo que no hubiera sido posible con los productos comerciales.

Conocimiento como bien común: El Software no es un recurso típico porque no es sustraible, no existe un costo si un usuario decide usarlo o no; sin embargo, es un bien común, ya que es prospera o decae gracias a la contribución de sus miembros; sus usuarios son contribuyentes, en lugar de un grupo de propietarios; un aporte de un usuario que mejore el recurso se traduce en un beneficio colectivo. Los contribuyentes pueden ser empresas que pagan a una persona para que adicione una nueva característica o adicione soporte a los productos de dichas empresas, sin embargo, ellos pueden decidir no compartir estos cambios para tener una ventaja competitiva. En la actualidad observamos las tendencias de multinacionales como Nokia, Intel, Google (Android), a participar, crear y promover proyectos de software libre.¹

¹ Es más rentable utilizar herramientas que han sido desarrolladas, probadas, y depuradas por miles de usuarios

El recurso del proyecto FOSS está compuesto por un gran grupo de desarrolladores y voluntarios que aportan nuevas aplicaciones software, depuran, documentan y actualizan las aplicaciones existentes; una plataforma que se encarga de administrar los proyectos software: control de revisiones, listas de discusión, wikis; un sistema de licenciamiento que permite entender, utilizar y modificar proyectos existentes. La "situación de acción" o la decisión que estos programadores deben tomar es contribuir o no al desarrollo de este software (Hess y Ostrom 2006). La interacción de programadores trabajando de forma conjunta en internet puede ser visto como un resultado que puede cambiar en el tiempo. Schweik y Semenov 2003, identificaron tres estados de este tipo de bien común, una fase inicial, seguida por un estado de apertura y un estado más maduro de gran crecimiento (en términos de usuarios y participación), estabilización donde el número de participantes (normalmente pequeño) no varía, o el proyecto se estanca y muere (sin participantes). La clave del éxito está en la disponibilidad de un programador para contribuir al esfuerzo colectivo de por lo menos un pequeño grupo de actores que producen y mantienen el software.

2. Hardware Copyleft

El movimiento FOSS proporciona todas las herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones en sistemas digitales, sin embargo, este software debe ejecutarse sobre una plataforma hardware compuesta por microcontroladores, memorias volátiles y no volátiles, dispositivos de comunicación e interfaces hombre - máquina. En la actualidad existen proyectos aislados como Arduino, Beagle Board, chumby y NanoNote que son presentados como *open-source*, todos ellos proporcionan: esquemáticos detallados en formato PDF, código fuente del software necesario para su operación, soporte a través de listas de discusión, tutoriales sobre su funcionamiento y programación, software de desarrollo, archivos de diseño: esquemático, layout, archivos para la fabricación de las placas de circuito impreso. Los costos necesarios para calificados que pagar a un grupo de decenas de desarrolladores para desarrollar desde cero una plataforma software

reproducir una de estas plataformas es muy elevado, esto se debe a las herramientas propietarias utilizadas en el diseño (10000 USD); las características de la placa de circuito impreso, (400 USD), el costo de los componentes (400 USD), y el montaje de los componentes (100 USD). Adicionalmente, algunos componentes son difíciles de obtener ya que requieren la firma de acuerdos de confidencialidad. Esto hace que los proyectos *open-source hardware* no presenten una gran dinámica en desarrollo hardware y las contribuciones se limitan a la fabricación de tarjetas de expansión para propósitos específicos. Desde el punto de vista comercial, estos proyectos son muy atractivos ya que permiten modificar un diseño validado, ahorrando mucho tiempo y dinero, desde el punto de vista académico, tener acceso a los archivos de diseño, permite estudiar las técnicas utilizadas en su diseño para poder aplicarlas en proyectos propios.

El uso de estas plataformas de desarrollo para aplicaciones comerciales genera dependencia hacia ellas y elimina la necesidad de desarrollo hardware; la dependencia puede llegar hasta el punto de eliminar por completo la generación local; multinacionales como Microsoft, Dell, Apple, Nokia utilizan a empresas asiáticas como Foxconn para la fabricación de todos sus productos; lo que trae como consecuencia que el número de empleados de Foxconn sea mayor que el de Microsoft, Dell, Apple, Nokia combinado (fuente: Bureau of Labor Statistics). Las políticas económicas deben estar centradas en la creación de empleo a todo nivel, al eliminar la actividad manufacturera se eliminan una gran cantidad de empleos directos e indirectos dejando únicamente los relacionados con diseño de aplicaciones, comercialización y ventas.

Los países en vía de desarrollo tienen un elevado grado de dependencia hacia los productos tecnológicos relacionados con los sistemas digitales; esto se debe en gran parte a los problemas mencionados anteriormente y a la no existencia de una plataforma capaz de absorber las nuevas tecnologías, esto en gran parte se debe a que la información se ha centralizado en grupos privados que no están interesados en la difusión masiva de este conocimiento. Adicionalmente,

conseguir el nivel de conocimiento necesario para la realización de dispositivos comerciales utilizando tecnologías modernas requiere un gran esfuerzo que puede llevar varios años; por otro lado, la producción masiva de un determinado dispositivo requiere relaciones en el mercado de proveedores de componentes, una infraestructura especializada en la manufactura y montaje de placas de circuito impreso, y personal especializado en la realización de pruebas así como la infraestructura necesaria para comercializar los productos finales; muchas empresas en países en vía de desarrollo no poseen estas relaciones y no existen proveedores locales de estos servicios; esto se debe a la poca demanda y a la gran dependencia de los productos extranjeros. Adquirir la infraestructura necesaria para la producción local de productos electrónicos requiere una fuerte inversión económica, y una demanda interna que estimule nuevas inversiones para aumentar y mejorar dichas facilidades, lo que no puede realizarse a corto plazo sin la intervención de la academia, la industria y el gobierno. Una opción que puede generar resultados a mediano plazo es utilizar la infraestructura manufacturera asiática con el fin de competir en precio y aumentar la demanda interna de bienes y servicios hasta llegar al punto de eliminar la dependencia.

Transferencia tecnológica La iniciativa hardware copyleft ofrece un canal para la transferencia tecnológica en el área de diseño y producción de sistemas digitales proporcionando: Diseños de referencia realizados con herramientas libres, documentación completa del proceso de diseño y fabricación, herramientas de desarrollo abiertas, tutoriales y diseños documentados, listas de discusión, contacto con proveedores de componentes, acceso a servicio de prototipado y producción; ahorrando tiempo y dinero en la creación de nuevos productos que satisfacen necesidades locales. El hardware copyleft es el complemento perfecto del software libre ya que permite la realización de plataformas completamente abiertas que pueden ser reproducidas y modificadas incluso para fines comerciales.

Creative Commons organización no gubernamental sin ánimo de lucro ha desarrollado una serie

de licencias basadas en principios similares a los del movimiento software libre, que pueden ser aplicadas a trabajos realizados en música, arte, video, texto y notas de clase². Estas licencias permiten que el autor de un trabajo conserve la propiedad intelectual, permitiendo su copia y distribución, con la única condición de dar créditos al autor del trabajo original y que el trabajo derivado posea la misma licencia. Se pueden elegir diferentes permisos dependiendo de los deseos del autor, para definir dichos permisos Creative Commons proporciona una serie de preguntas que buscan determinar los derechos que se desean conservar y los que desean liberar. Las preguntas claves son: 1) Los lectores pueden copiar y distribuir su trabajo libremente? 2) Es permitido a los usuarios crear trabajos derivados del contenido digital? Si es permitido, estas modificaciones deben tener la misma licencia que el trabajo original (esquema de licencia viral), o deben ser distribuidos bajo un esquema de licencias diferente? 3) Es necesario atribuir el trabajo al autor original?. Estas preguntas son la base para definir un esquema de licencias modular; existen cuatro bloques constructivos para las licencias Creative Commons estos son: Atribución (BY) Se permite la distribución dando crédito al autor. No comercial (NC) Se permite la distribución del trabajo sin fines comerciales, si se desea utilizar este trabajo para obtener dinero es necesaria una autorización del autor; No a trabajos derivados (ND) Permite la copia y la distribución del trabajo original sin modificaciones. Compartir de la misma forma (SA) Exige que todo trabajo derivado del uso de proyectos que con este esquema de licencias deben tener la misma licencia de los trabajos originales.

Al compartir el trabajo realizado con otras personas para que puedan aumentar sus habilidades o con empresas para que puedan utilizar los proyectos existentes y ahorrar tiempo y dinero en la realización de nuevos productos, los cuales a su vez, pasarán a ser parte de este recurso

²Para reproducir una plataforma Hardware, es necesario suministrar los archivos de las herramientas CAD de diseño y fabricación (PCB, Lista de materiales), por lo que esta iniciativa resulta adecuada para distribuir este tipo de proyectos

(conocimiento), se proporciona una canal de transferencia sin restricciones que permitirá la difusión de los conocimientos adquiridos; este canal novedoso va en contra de la forma tradicional de capacitación ya que no limita la difusión a factores económicos. La iniciativa *hardware copyleft* adopta los bloques constructivos BY (Atribución) y SA (Compartir de la misma forma), lo que indica que se puede utilizar, distribuir y modificar el resultado de esta investigación pero dando crédito al autor original; y todo trabajo derivado del uso de los resultados de este proyecto debe tener la misma licencia lo que garantiza el crecimiento del conocimiento generado.

3. Metodología para la transferencia tecnológica en el área de diseño de sistemas embebidos.

A continuación se describirán los pasos de una propuesta metodológica que tiene como objetivo permitir una transferencia tecnológica exitosa en el área de diseño de sistemas embebidos. Esta metodología está compuesta por los siguientes 7 pasos y actividades:

Elección y adquisición

Niveles de complejidad de la tecnología: Existen varias alternativas para la implementación de un sistema embebido: FPGA, sistema sobre silicio (SoC), SoC + FPGA y ASIC, la utilización de FPGAs o SoCs está determinada por el cumplimiento de restricciones temporales y funcionales, mientras que el uso de ASICs depende de el número de unidades producidas, se estima que a partir de 10 mil unidades se debe utilizar un ASIC para reducir los costos de producción. Debido a que los niveles de producción de los países en vía de desarrollo no son muy grandes, se abordará el problema de la transferencia utilizando FPGAs y SoCs comerciales, sin descuidar el estudio e implementación de ASICs. Adicionalmente, la inversión necesaria para construir un circuito integrado es muy alta, y puede ser considerada como un punto final.

Diagnóstico de la Industria Local: Para determinar el estado de la industria electrónica en

Colombia, se creó la empresa emQbit LTDA. en asociación con profesionales en ingeniería de sistemas, ingeniería eléctrica e ingeniería electrónica. Se identificaron los siguientes obstáculos para el desarrollo y comercialización de sistemas digitales: Falta de proveedores de bienes y servicios relacionados con la actividad (venta de dispositivos semiconductores, fabricación de placas de circuito impreso, montaje automático de componentes, etc); desconocimiento de la tecnología (alcances y limitaciones); uso de tecnologías y metodologías de diseño obsoletas; competencia con productos asiáticos de muy bajo costo; falta de confianza en los productos nacionales; desconexión de la academia con el sistema productivo; inexistencia de reglamentación de la industria manufactura electrónica; profesionales con pocos conocimientos en procesos de diseño y fabricación. Estos resultados confirman estudios consultados: Odedra, 1990; Duque. y Gauthier, 1999 Zuluaga, et.al 2007; Tovar y Rodríguez, 2007; Martínez, 2008.

Diagnóstico de la Academia: La tendencia moderna en los programas académicos a la utilización de herramientas de alto nivel para la enseñanza en áreas afines al desarrollo de dispositivos digitales; unido a la utilización de tecnologías y metodologías de diseño obsoletas, programas académicos centrados en el análisis y no al diseño, donde el paso final es la simulación y el personal docente no tiene ninguna experiencia en el sector productivo; origina una deficiencia de habilidades necesarias para realizar el proceso completo para el diseño de dispositivos, lo que se traduce en profesionales que no disponen de las herramientas necesarias para resolver los problemas del país y al mismo tiempo competir con los productos importados.

Adquisición: En la actualidad es muy fácil adquirir productos implementados con tecnología de punta, existe una gran variedad de plataformas de desarrollo y de dispositivos comerciales a los que se les puede aplicar ingeniería inversa para entender y modificar su funcionamiento. Al comienzo de este estudio se trabajó productos comerciales como consolas de juegos, reproductores MP4, portaretratos digitales, agendas electrónicas, para entender la composición y

funcionamiento de los dispositivos digitales modernos.

Adopción

En esta etapa se utilizó la ingeniería inversa para: identificar las diferentes arquitecturas de los sistemas digitales adquiridos; identificar los mecanismos que permitan modificar su funcionamiento; identificar las herramientas que permiten crear nuevas funcionalidades; aprender la forma de utilizar los recursos tecnológicos existentes de forma adecuada; conocer la metodología de diseño. Se desarrollaron y/o adaptaron metodologías de diseño que utilizan herramientas de libre distribución.

Absorción

La absorción es una actividad de aprendizaje que integra conocimiento que es nuevo para el país pero que no es nuevo para el mundo; en esta etapa se pasó de las plataformas comerciales al diseño de aplicaciones propias, para lo que se desarrollaron y/o adaptaron técnicas de fabricación al entorno local, se realizó la transferencia de los conocimientos adquiridos a la academia y se iniciaron contactos con empresas manufactureras locales y extranjeras. Se desarrollaron aplicaciones académicas como: Osciloscopio Digital utilizando FPAAs (Camargo 2005), Automatización de un Puente grúa a escala (Castillo, Camargo y Perez 2007), Control Adaptativo Embebido (Pedraza, Camargo, 2005), Control de un horno de reflujo para componentes de montaje superficial (Camargo 2005), Dispositivo de visualización de variables que suministra el computador de un automóvil (Camargo 2005), herramienta para realizar reconfiguración parcial de FPGAs (Camargo, Sanchez 2006), evolución de un arreglo de células utilizando algoritmos genéticos (Espinoza y Camargo, 2005) y comerciales como: Adquisición de datos para medición de calidad de energía; plataforma robótica didáctica; registro de aceleración de vehículos para compañías de seguros; sistema de seguimiento vehicular; monitor de signos vitales; diccionario basado en Wikipedia; menú electrónico y consola de juegos. Se

desarrollaron 6 plataformas de desarrollo bajo a licencia CC-BY-SA Camargo, 2008; Camargo, 2007; Camargo 2006, los archivos necesarios para su reproducción, tutoriales sobre su funcionamiento, notas de aplicación y diseños de referencia se encuentran disponibles a todo interesado en el sitio web: <http://wiki.linuxencaja.net>

Aplicación

En esta etapa se transfieren los conocimientos adquiridos en las fases anteriores a la industria creada (emQbit) como parte de la metodología; esta empresa con la asesoría del autor de este trabajo realizaron los siguientes proyectos comerciales: control de tornos industriales, plataforma robótica didáctica, monitoreo de temperatura, sistema de seguimiento vehicular, sistema de medición de la calidad del suministro de energía eléctrica (EDEC), monitor de signos vitales (UNAL), sistema de comunicación encriptada utilizando el canal GSM (MICROENSAMBLE), switch de 4 canales de radio frecuencia (TESAMERICA), sistema de archivos encriptado para máquinas de votación (VOTING solutions), control de acceso en las estaciones de transmision (SAR), todos estos proyectos involucraban el diseño y fabricación de prototipos y la programación de la aplicación. Adicionalmente, se creó, un programa académico para la enseñanza de sistemas digitales que crea las habilidades necesarias para concebir, diseñar, implementar y operar dispositivos digitales modernos y la definición del concepto hardware copyleft y su utilización como herramienta en la enseñanza de diseño de sistemas embebidos (Camargo, 2011b); este programa está siendo utilizado de forma oficial en el departamento de Ing. Eléctrica y electrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá,

Difusión

Con las etapas previas se adquirieron los conocimientos necesarios para concebir, diseñar, implementar y operar dispositivos digitales, y la experiencia necesaria para realizar la producción a grandes escalas. La etapa de difusión (se esta realizando en el momento de escribir este

artículo) busca hacer llegar este conocimiento a todos los interesados, y de esta forma crear una comunidad que lo utilice como un recurso común; proporcionando a los centros de formación un programa académico actualizado que permite generar en los estudiantes las habilidades necesarias para innovar y generar empleo y a la industria le suministra herramientas que puede utilizar para desarrollo de nuevos productos comerciales y para la capacitación de su recurso humano. El proceso de difusión se realiza en dos frentes, en el plano académico se realizaron conferencias y cursos de actualización donde se presentan las plataformas *hardware copyleft* desarrolladas; hasta el momento 4 de las principales universidades públicas del país están comenzando a implementar total o parcialmente el programa académico de las asignaturas del área de electrónica digital (Camargo 2011a, Camargo 2011b); en el plano industrial se realizó una alianza entre el SENA, la Universidad Nacional de Colombia, empresas manufactureras de Taiwan, empresas de base tecnológica y universidades de diferentes regiones del país; esta alianza busca difundir los conocimientos adquiridos durante 5 años de desarrollo e investigación, para ello se creará una plataforma hardware flexible que cumpla con las condiciones del *hardware copyleft* y que permita la implementación de aplicaciones comerciales en diferentes áreas. Durante el desarrollo de este proyecto las empresas participantes propondrán ideas para la realización de productos comerciales que den solución a problemas de su región, se vincularán estudiantes de los centros de formación que estén realizando su trabajo de grado para formar un equipo que diseñe y construya un dispositivo que implemente estas ideas en la plataforma flexible. Todo el proceso se documentará en un servidor de libre acceso, con el fin de hacerlo accesible a cualquier interesado, se suministrarán los archivos necesarios para posibilitar la reproducción de la capacitación, el diseño y fabricación de la plataforma flexible. Cada grupo de trabajo está encargado de llevar una bitácora donde se detalla el proceso de diseño y de suministrar los archivos necesarios para reproducir el producto final.

Adicionalmente, se creó el portal público *linuxencaja* para almacenar todos los archivos, documentos, tutoriales, notas de aplicación y diseños de referencia de las plataformas diseñadas en este estudio; se dispone de una wiki que puede ser utilizada por cualquier persona para documentar nuevos proyectos³ y consultar los existentes; además se cuenta con una lista de correo que permite tener contacto con los desarrolladores y con otros interesados en el diseño hardware.

4. Conclusiones y trabajo futuro

El problema de los canales tradicionales para la transferencia tecnológica es la poca cantidad de conocimiento transferido a la sociedad receptora; la metodología aquí presentada se centra en la adquisición de conocimiento y en su difusión a todo el que este interesado, lo cual es totalmente opuesto a iniciativas similares que terminan en cursos de actualización que limitan la difusión de conocimiento a quien pueda pagar por él.

Este artículo presenta los resultados de la aplicación de una metodología que permite una transferencia tecnológica exitosa en el área de diseño de sistemas embebidos, obteniendo como resultados de este proceso la capacitación a empresas de base tecnológica en el uso de herramientas y metodologías de diseño modernas basadas en software libre y hardware copyleft; la actualización del contenido de las asignaturas relacionadas en los centros de formación participantes; la posibilidad de generación de empleo a diferentes niveles (de servicios, técnico, profesional, comercial, administrativo); la adopción y apropiación de esta tecnología por parte del sector productivo.

A futuro se debe observar los efectos que generan el cambio introducido en los programas académicos; los actuales usuarios del recurso deben encargarse de cuidarlo, mejorarlo, aumentarlo, y difundirlo para aumentar el número de usuarios/beneficiarios.

³ En la actualidad los estudiantes de ing. Electrónica de la UNAL utilizan esta wiki para documentar los proyectos de las asignaturas del área de digitales y algunos trabajos de grado.

Proporcionando herramientas modernas a los futuros profesionales y alternativas de diseño y fabricación a futuros industriales es posible aumentar la oferta de productos tecnológicos locales.

Referencias Bibliográficas

Bar, F. Pisani, F., y Weber, M. (2007) Mobile technology appropriation in a distant mirror: baroque infiltration, creolization and cannibalism. *Seminario sobre Desarrollo Económico, Desarrollo Social y Comunicaciones Móviles en América Latina*. Buenos Aires.

Camargo, C. (2005) Implementación de Sistemas Digitales Complejos Utilizando Sistemas Embebidos. *Memorias del XI Workshop de Iberchip*.

Camargo, C. y O. Sanchez (2006). Linux embebido como herramienta para realizar reconfiguración parcial. *XII Workshop Iberchip*.

Camargo, C. (2006). *First Colombian Linux SBC runs Debian*. Recuperado el 13 de enero de 2011 de <http://www.linuxfordevices.com/c/a/News/First-Colombian-Linux-SBCruns-Debian/>.

Camargo, C. (2007). ECBOT: Arquitectura Abierta para Robots Móviles. *IEEE Colombian Workshop on Circuits and Systems*.

Camargo, C. (2008). ECBOT y ECB AT91 Plataformas Abiertas para el Diseño de Sistemas Embebidos y Co-Diseño HW/SW. VIII Jornadas de Computación Reconfigurable y Aplicaciones, Madrid España.

Camargo, C. (2011). *Proyecto SIE*. Recuperado el 12 de enero de 2011 de <http://www.linuxencaja.net/>

Camargo, C. (2011a) SIE: Plataforma Hardware copyleft para la Enseñanza de Sistemas Digitales, *Memorias del XVII workshop de Iberchip*.

Camargo, C. (2011b). Hardware copyleft como Herramienta para la Enseñanza de Sistemas Embebidos. *Simpósio Argentino de Sistemas Embebidos*.

Castillo, I. y Camargo, C. y Perez, C. (2006). Automatización de un puente grúa a escala, mediante una plataforma embebida la cual soporta multiprogramación. *XII Workshop Iberchip*.

Cohen, G. (2004). Technology transfer: strategic management in developing countries. *Sage Publications inc*.

Duque, M. y Gauthier, A. (1999) Formación de Ingenieros para la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en Colombia. *Revista de la Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia*, December.

Espinosa, J y Camargo (2005). Evolución de un Arreglo de Células Utilizando Algoritmos Genéticos. *Memorias del XI Workshop de Iberchip*.

F. Pedraza, F. y Camargo, C. (2005). Control Adaptativo Embebido. *Memorias del XI workshop de Iberchip*.

Goel, K. y Sayers, B. (1995). Modelling Global-Oriented Energy Tecnology Transfer to DCs. *Sixth Global Warning International Conference*, San Francisco, 1995.

Grimpe, C. y Hussinger, K. (2008) Formal and Informal Technology Transfer from Academia to Industry: Complementarity Effects and Innovation Performance. *Centre for european economical research*.

Hess, C. y Ostrom, E. (2006). *Understanding Knowledge as a Commons: From Theory to Practice*. The MIT Press.

Jolly, A. (1977). The Technology Transfer Process: Concepts, Framework and Methodology. *The Journal of Technology Transfer*. Springer.

Mansfield, E. (1975) East-West technological transfer issues and problems, international technology transfer: Forms, resource requirements, and policies. *American Economic Review*.

Martínez, H. (2004) Apropiación de conocimiento en Colombia. El caso de los contratos de importación de tecnología. *Revista Cuadernos de Economía*.

Odedra, M. (1990). *Information Technology Transfer to Developing Countries: Case studies from Kenya, Zambia and Zimbabwe*. PhD thesis, London School of Economics.

Odedra, M. (1991). Information Technology Transfer to Developing Countries Is it really taking place? *The 4th IFIF.TC9 International Conference on Human Choice and Computers*, North Holland, Amsterdam, Netherlands, HCC 4 held jointly with the CEC FAST Programme.

Odedra, M. (1994). The Myths and Illusions of Technology Transfer. *IFIP World Congress Proceedings*.

Schweik, C. y Semenov, A. (2003) *The Institutional Design of 'Open Source' Programming: Implications for Addressing Complex Public Policy and Management Problems*. Recuperado el 12 de enero de 2011 <http://www.firstmonday.org/issues/issue8.1/schweik/>.

Tovar, M. y Rodríguez, R. (2007) *Prospectiva y vigilancia tecnológica de la electrónica en Colombia*. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Zuluaga, D., Campos, S., Tovar, M., Rodríguez, R., Sánchez, J., Aguilera, A., Landínez, L., y Medina, J (2007) *Informe de Vigilancia Tecnológica: Aplicaciones de la Electrónica en el Sector Agrícola*. Technical report, COLCIENCIAS.