

Metodología Para la Transferencia Tecnológica en la Industria Electrónica Basada en Software Libre y Hardware Copyleft

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

Abstract—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 y conocimientos, esto se debe en gran parte a que las empresas de base tecnológica son muy pequeñas, con bajos niveles de producción y utilizan metodologías de diseño desactualizadas; por otro lado, la dependencia hacia los productos asiáticos hace muy difícil que estas pequeñas empresas puedan crecer sin la protección del estado. Así mismo, existe una sobreoferta 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 un grupo de desarrolladores hardware y software: el *hardware copyleft*.

Index Terms—Sistemas Embebidos, educación en ingeniería, hardware copyleft.

I. 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 [1]. 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.

A. Tecnología

La tecnología es definida como el factor más significativo para mejorar la productividad, calidad y competitividad [2] 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 [1]: *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; *orga-ware* relacionado con la organización, acuerdos y alianzas necesarias para facilitar la integración de los componentes técnico, humano, y de información.

El uso efectivo de estos cuatro componentes requiere el cumplimiento de ciertas condiciones. El componente técnico requiere de personal con habilidades específicas para poder ser utilizado. Para mejorar la eficiencia del sistema el componente humano necesita de adaptación y motivación. A medida que la organización cambia para adaptarse a nuevas condiciones o requerimientos se debe actualizar el sector de la información. No es posible realizar operaciones de transformación ante la ausencia de uno de estos cuatro componentes. 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 [3].

B. Transferencia tecnológica

Odedra [4] 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 [5] 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 los componentes de la tecnología.

1) *Tipos de Transferencia Tecnológica*: Mansfield [6] 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 pre-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.

C. Canales para la transferencia de tecnología

Grimpe y Hussinger [7] 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 [8] [9] 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 ([10] [4] [11]) indicando en cada caso sus ventajas, limitaciones y desventajas.

1) *Adquisición de IT*: La adquisición de equipo ha sido uno de los mecanismos de transferencia más importantes para los países en desarrollo. Estos equipos se entregan con el software requerido para su funcionamiento con lo que no es necesario que los usuarios generen aplicaciones, por lo que solo adquieren el conocimiento necesario para utilizar estas máquinas, y por lo tanto no saben como funcionan. 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.

La experiencia de países que lograron un rápido desarrollo económico e industrial muestra que la adquisición de una gran cantidad de tecnología foránea jugó un papel importante en este proceso. 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 a través de cursos y entrenamiento en el país y enviándolas al extranjero para otros estudios es una forma de adquirir know-how sobre nuevas tecnologías. 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 [4]. No se presenta una transferencia tecnológica exitosa 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.

Las multinacionales también ofrecen cursos de capacitación, sin embargo, se limitan al uso de sus productos, creando dependencia hacia sus herramientas. Adicionalmente, existen centros privados de capacitación que ofrecen cursos para el manejo de paquetes y lenguajes de programación, estos centros aprovechan la falta de centros de enseñanza tecnológica y personal calificado para cobrar altas sumas de dinero, lo cual limita el acceso a la información. Programas académicos inapropiados, acceso limitado a libros y computadores, 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 de estas habilidades, especialmente, la del personal encargado de manejar proyectos. En algunas ocasiones los consultores no están familiarizados con las condiciones y requerimientos locales, por lo que diseñan soluciones que no se ajustan perfectamente a las necesidades, lo que significa que el sistema es sub-utilizado y la transferencia de tecnología es mínima. 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 [10].

4) *Licenciamiento*: El licenciamiento es un canal que se utiliza para transferencia de know-how sobre productos o procesos, es aplicado de forma individual o en combinación con otros instrumentos como investigación con inversión extranjera, importación de maquinaria o de técnicos. Sin embargo, esto 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 [11]. Un ejemplo de este tipo de práctica se presenta en el ensamble de dispositivos electrónicos, todos los componentes se importan completamente terminados y el dispositivo final es ensamblado probado y se carga la configuración inicial, no se producen actividades de ingeniería

inversa con lo que se transmite muy poco conocimiento.

5) *Inversión Extranjera Directa*: La inversión directa de multinacionales es una forma de obtener tecnología externa. Esto asegura una rápida transferencia de información, pero no necesariamente del entendimiento o 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 [4]. El objetivo de la transferencia tecnológica debe ser el aumento de la autosuficiencia en el país receptor, unido a un uso compartido de recursos y experiencia entre los países desarrollados y en vía de desarrollo. La compra de equipo, plataformas de desarrollo o de software transfiere muy poco conocimiento sobre la tecnología, el servicio post-venta y el mantenimiento es realizado por el proveedor. Por otro lado, si las facilidades en educación y capacitación son limitadas se limita la formación de capital humano. La asistencia técnica utilizada para suplir la falta de personal especializado y ayudar con el proceso de transferencia no ha sido muy efectiva.

II. 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 (*copyright*) 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.

6) *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 el funcionamiento y principio de operación. En la actualidad las grandes multinacionales dedicadas a la generación de dispositivos electrónicos de consumo masivo como Apple, Dell, Nokia, HP, Google 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.

Adicionalmente, gracias al movimiento FOSS se ha creado una alternativa abierta que supera en calidad a los productos comerciales privativos de Apple y Microsoft, lo que ha permitido reducir de forma considerable el costo de los equipos de computo y de esta forma hacer que personas y empresas con menos recursos económicos puedan acceder a estas tecnologías. 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. Es importante recalcar que el movimiento FOSS esta dirigido para cualquier persona y no es necesario pagar por el acceso a la información, esto ha sido clave en el éxito del movimiento.

7) *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 un recurso comunal que prospera o decae gracias a la contribución de sus miembros. Los usuarios de este tipo de recurso son contribuyentes, en lugar de un grupo de propietarios; un aporte de un usuario que mejore el proyecto 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 (Maemo, QT, Meego), Intel (Meego), Google (Android), Dell o Motorola a participar, crear y promover proyectos de software libre, desde el punto de vista comercial resulta más rentable utilizar herramientas que han sido desarrolladas, probadas, y depuradas por miles de usuarios calificados que pagar a un grupo de decenas de desarrolladores para desarrollar desde cero una plataforma software.

En la Figura 1 se ilustra el marco definido por Ostrom y Hess [12] para analizar el conocimiento como bien común, aplicado al movimiento FOSS.

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. 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 [13] 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

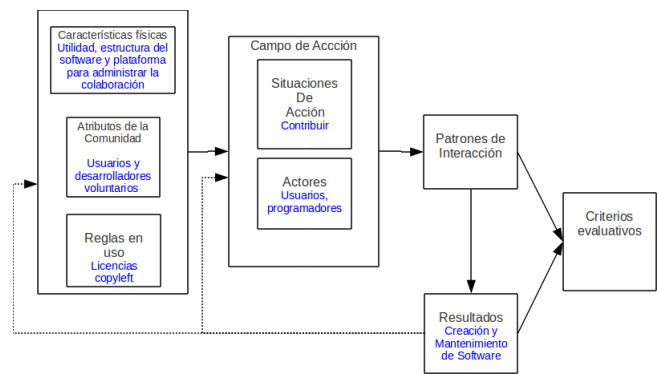


Fig. 1. Marco para analizar el conocimiento como bien común aplicado al movimiento FOSS: Modificación de: [12] pág 46

pequeño) no varía, o el proyecto se estanca y muere (sin participantes). Para que un proyecto sea exitoso, no es necesaria la participación de un gran número de programadores, es frecuente encontrar grupos pequeños de programadores con un gran número de usuarios. 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.

III. 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.

A excepción de *Arduino*, los costos necesarios para 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, 6 u 8 capas, vías de .2mm, (400 USD), el costo de los componentes (400 USD), y el montaje de encapsulados BGA, TQFP, SMD, y QFN (100). Adicionalmente, algunos componentes son difíciles de obtener ya que requieren la firma de acuerdos de confidencialidad. Esto ocasiona 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, creando fuentes de empleo para personas con un nivel de formación relativamente alto; la dependencia puede llegar hasta el punto de eliminar por completo la generación local; este proceso se está observando en la actualidad; 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 es 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 en los canales tradicionales de transferencia tecnológica 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 embebidos proporcionando: Diseños de referencia realizados con herramientas libres, documentación completa del proceso de diseño y fabricación, herramientas de desarrollo abiertas, tutoriales y diseños docu-

mentados, listas de discusión, contacto con proveedores de componentes, acceso a servicio de prototipado y producción. Adicionalmente, permite 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.

Para manejar las licencias se trabajará con Creative Commons¹ organización no gubernamental sin ánimo de lucro que ha desarrollado una serie de licencias basadas en principios similares a los del movimiento de software libre y que pueden ser aplicadas a trabajos realizados en música, arte, video, texto y notas de clase. Para 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. Estas licencias permiten que el autor de un trabajo conserve la propiedad intelectual (los derechos asociados a esta) pero posibilitando 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 pero se debe dar 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 (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

¹<http://creativecommons.org/>

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.

IV. METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN EL ÁREA DE DISEÑO DE SISTEMAS EMBEBIDOS

En esta sección 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*: Identificación del estado de la plataforma tecnológica existente para identificar facilidades y necesidades; identificación de niveles de complejidad de la tecnología; selección de una alternativa que pueda implementarse y de resultados a mediano y corto plazo con no muy altas inversiones de capital.
- *Adquisición*: Adquisición de plataformas adecuadas de desarrollo HW y SW; identificación de herramientas de desarrollo HW y SW y su origen (abierto/cerrado).
- *Adopción*: Utilización de plataformas de desarrollo para estudio de metodologías de diseño; uso de ingeniería inversa para entender la arquitectura, funcionamiento y programación de productos comerciales; utilización de productos comerciales para adaptarlos a problemas locales (Integración); tomar conciencia de la importancia del uso de esta tecnología.
- *Absorción*: 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 centros de educación consolidados.
- *Aplicación*: Desarrollo de soluciones a problemas locales; uso de metodologías de diseño en la concepción, diseño e implementación de sistemas digitales utilizando la tecnología; utilización de procesos de fabricación adaptados al entorno local; desarrollo de proyectos académicos utilizando esta tecnología.
- *Difusión*: Vinculación de la academia para incluir los conocimientos generados en los programas académicos de las carreras relacionadas; capacitación a la industria local sobre el uso de la tecnología, las metodologías de diseño y procesos de producción; creación de una comunidad que utilice, mejore y aumente el conocimiento generado; hacer que el conocimiento generado en los pasos anteriores este disponible a todos los interesados; dar a conocer los procesos, productos y conocimientos creados a los generadores de políticas de estado.
- *Desarrollo*: Aumento de la demanda de productos, bienes y servicios relacionados; compra de maquinaria que permita la fabricación masiva de forma local; diseño de nuevos componentes (Circuitos Integrados, IPs, software CAD); creación de políticas gubernamentales que

protejan la producción local; participación activa de la academia en la solución de problemas y en la formulación de políticas de gobierno relacionadas.

A. Elección y adquisición

1) *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.

Un proyecto reciente promovido por la unión Europea llamado Iberchip empezó desde hace 17 años un proceso de transferencia tecnológica en el diseño circuitos integrados de aplicación específica (ASICs) hacia los países iberoamericanos; a pesar de que Colombia era uno de los nodos principales no se logró fabricar ningún circuito integrado para aplicaciones comerciales; lo que era de esperarse ya que la mayoría de empresas en Colombia son importadores y distribuidores de productos tecnológicos y carecen de Departamentos de I+D; por otro lado, las pocas empresas de base tecnológica se encuentran muy atrasadas y dependen de productos comerciales para desarrollar sus productos, esto, unido a los bajos niveles de producción hace innecesaria la fabricación de un ASIC.

2) *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. Esta empresa desarrolló una serie de proyectos y actividades que ayudaron a entender e identificar 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) debido al 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 de manufactura electrónica; profesionales con pocos conocimientos en procesos de diseño y fabricación. que coincide con los resultados de estudios consultados [10] [14] [15] [16] [17] [18].

3) *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 [19] ocasiona que los profesionales no adquieran las habilidades necesarias para completar la cadena concepción - diseño - implementación y operación, en la mayoría de los casos se generan habilidades para la concepción y el diseño a alto nivel y dejan los otros pasos en manos de herramientas especializadas y/o a empresas asiáticas. Esta situación resulta la más atractiva desde el punto de vista económico, ya que no es necesario adquirir maquinaria costosa ni contratar personal calificado para operarlas; sin embargo, limita la generación de empleo local a personas con un nivel de formación alto [20] generando desempleo en las personas menos capacitadas. Según John Hall presidente y CEO de Linux International “ algunas facultades preparan a la gente en el uso de productos en vez de tecnologías de nivel básico” [19]. Esta situación unida al abandono de la implementación hace que la dependencia con las empresas manufactureras asiáticas aumente cada vez más.

Por otro lado, en muchas instituciones educativas se utilizan tecnologías y metodologías de diseño obsoletas (Familias 74XXX o 40XXX, lenguaje ensamblador, mapas de karnaugh), esto unido a programas académicos centrados en el análisis y no el 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 asiáticos.

4) *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 con la consola de juego GameBoy Advance, la cual posee un ASIC basado en un procesador ARM7.

B. Adopción

En el proceso de adopción se utilizaron productos desarrollados en otros países para suplir necesidades locales, en esta etapa se trabajó con las plataformas comerciales: Game Boy de Nintendo + Chamedlabs Xport (FPGA), la agenda Zaurus SL-5500, el dispositivo para redes sociales chumby y el portaretratos de Sungale ID800WT. Se utilizó la ingeniería inversa para entender el funcionamiento y la arquitectura de un sistema embebido moderno, la metodología de diseño y como programar aplicaciones que cambien el funcionamiento de estos dispositivos. Se desarrollaron aplicaciones académicas como: Osciloscopio Digital utilizando FPAA's [21], Automatización de un Puente grúa a escala [22], Control Adaptativo Embebido [23], Control de un horno de reflujo para componentes de montaje superficial [21], Dispositivo de visualización de variables que suministra el computador de un automóvil [21], herramienta para realizar reconfiguración parcial de FPGAs [24], evolución de un arreglo de células utilizando algoritmos genéticos [25] 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.

C. Absorción y aplicación

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 los productos académicos: Plataformas de desarrollo *hardware copyleft* para CPLDs, FPGAs, Procesadores ARM, MIPS, Blackfin, LM32, Microblaze, Robótica, Linux Embebido, Codiseño HW/SW [26] [9], [26], [27] así como la creación de un programa académico para la enseñanza de sistemas digitales utilizando tecnología de punta 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 [28]; y se desarrollaron aplicaciones para robótica móvil [29], síntesis booleana utilizando hardware evolutivo [30]. El proyecto SIE [8] [30] proporciona la información recolectada durante la aplicación de este programa académico en las asignaturas del área de digitales en la Universidad Nacional de Colombia; una encuesta realizada a estos estudiantes muestra que ellos encuentran la metodología adecuada para generar habilidades necesarias para el desarrollo de aplicaciones comerciales, que se proporcionan las herramientas necesarias para lograr el objetivo final, y son conscientes de que se busca que ellos generen productos novedosos y de esta forma generar empleo; adicionalmente se muestra que los estudiantes no tienen ningún problema en utilizar herramientas licenciadas de forma ilegal y que prefieren el uso de las herramientas libres aunque su utilización sea mas compleja.

Adicionalmente, se desarrollaron los siguientes productos 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, monitor de signos vitales (UNAL), sistema de comunicación encriptada utilizando el canal GSM (MICROENSAMBLE), switch de 4 canales de radio frecuencia (TESAMERICA).

D. 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; el cual proporciona 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. Ahorrando en ambos casos el tiempo necesario para la utilización efectiva de esta tecnología (valorada en 5 años) y el dinero asociado a este estudio. Esto es una consecuencia de la filosofía del movimiento FOSS y la iniciativa *hardware copyleft*.

El proceso de difusión se realiza en varios frentes, en el plano académico se realizaron conferencias y cursos de actualización donde se presentan las plataformas *hardware copyleft* desarrolladas y el programa académico de las asignaturas asociadas con el área de la electrónica digital, hasta el momento 4 de las principales universidades públicas del país están implementando este programa; en el plano industria se realizó una alianza entre el SENA, (la entidad de formación técnica más grande del país) la Universidad Nacional de Colombia, (la universidad más importante del país) Sharism at work LTDA, (empresa constituida en HONG KONG especializada en la manufactura de dispositivos digitales) 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 trabaje en la construcción de un dispositivo que implemente estas ideas basado en la plataforma diseñada previamente.

El primer paso de este proceso consiste en la capacitación de las empresas y los centros de formación en la utilización de software abierto y hardware copyleft como herramientas de desarrollo de sistemas embebidos, para esto se utilizará el material generado en los cursos de la Universidad Nacional; a continuación se diseñará la plataforma de desarrollo flexible, este proceso será guiado por la empresa Sharism y por la Universidad Nacional, una vez finalizado el diseño, se realizarán los primeros prototipos y las pruebas correspondientes, una vez corregidos los posibles errores se procederá a la realización de 100 unidades de la plataforma base, esto con el fin de simular una producción a *gran escala*. Se entregará a cada grupo de trabajo varias de estas unidades para que desarrollen su aplicación con la ayuda de todos los grupos de trabajo.

Todo el proceso se documentará en un servidor de libre acceso, esto con el fin de hacerlo accesible a cualquier interesado, se suministrarán los archivos necesarios para reproducir la capacitación y la plataforma de desarrollo. 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.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

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 monitorear el cluster semilla para observar la evolución de los productos comerciales generados, así como observar los efectos que generan el cambio introducido en los programas académicos, los participantes deben estar encargados de cuidar, mejorar y aumentar el recurso común, procurando difundirlo para aumentar el número de usuarios/beneficiarios.

Una vez alcance un nivel de producción adecuado, se debe dar el siguiente paso: la construcción de un ASIC que permita reducir los costos de producción, para esto se está comenzando a trabajar con el diseño de un SoC abierto, que permita su modificación, en el momento de escribir este artículo se está trabajando con el softcore Mico 32 de lattice (lm32), se están generando IPs y se está estudiando su arquitectura con el fin de mejorarla e implementarla, la siguiente etapa de este proceso es el *desarrollo* de la tecnología, proporcionando productos nuevos que no tengan ningún tipo de patente o restricción de uso. Por lo que en un futuro no muy lejano estaremos anunciando la fabricación y disponibilidad de el primer ASIC abierto diseñado en Colombia.

VI. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCES

- [1] F. Bar, F. Pisani, and M. Weber. 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, April 2007.
- [2] Goel Cohen. *Technology transfer: strategic management in developing countries*. Sage Publications inc, 2004.
- [3] K. Goel and Sayers B. Modelling Global-Oriented Energy Technology Transfer to DCs. *Sixth Global Warming International Conference, San Francisco*, 1995.
- [4] M. odedra-straub. The Myths and Illusions of Technology Transfer. *IFIP World Congress Proceedings*, August 1994.
- [5] James A. Jolly. The Technology Transfer Process: Concepts, Framework and Methodology. *The Journal of Technology Transfer*. Springer, 1977.
- [6] E. Mansfield. East-West technological transfer issues and problems, international technology transfer: Forms, resource requirements, and policies. *American Economic Review*, 65(2), 1975.
- [7] C. Grimpe and K. Hussinger. Formal and Informal Technology Transfer from Academia to Industry: Complementarity Effects and Innovation Performance. *Centre for european economical research*, 2008.
- [8] C. Camargo. Proyecto SAKC. URL:<http://en.qi-hardware.com/wiki/SAKC>.

- [9] 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, Madrid España*, September 2008.
- [10] M. Odedra. *Information Technology Transfer to Developing Countries: Case studies from Kenya, Zambia and Zimbabwe*. PhD thesis, London School of Economics, 1990.
- [11] M. Odedra. Information Technology Transfer to Developing Countries Is it really taking place? *The 4th IFITC9 International Conference on Human Choice and Computers, North Holland, Amsterdam, Netherlands, HCC 4 held jointly with the CEC FAST Programme.*, 1991.
- [12] Charlotte Hess and Elinor Ostrom, editors. *Understanding Knowledge as a Commons: From Theory to Practice*. The MIT Press, December 2006.
- [13] C. M. Schweik and A. Semenov. The Institutional Design of 'Open Source' Programming: Implications for Addressing Complex Public Policy and Management Problems. URL: http://www.firstmonday.org/issues/issue8_1/schweik/, 2003.
- [14] Innovation Associates Inc. Technology Transfer and Commercialization Partnerships Executive Summary.
- [15] M. Duque and A. Gauthier. Formación de Inegnieros para la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en Colombia. *Revista de la Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia*, December 1999.
- [16] 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.
- [17] M. Tovar and R. Rodríguez. PROSPECTIVA Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE LA ELECTRÓNICA EN COLOMBIA. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [18] Héctor Martínez. Apropiación de conocimiento en Colombia. El caso de los contratos de importación de tecnología. *Revista Cuadernos de Economía*, 2004.
- [19] Jon Hall. POR GRANDES QUE SEAN...: ASEGURE EL FUTURO DE SU NEGOCIO. *Linux magazine*, ISSN 1576-4079(58):92, 2009.
- [20] A. Grove. How America Can Create Jobs. http://www.businessweek.com/magazine/content/10_28/b4186048358596.htm, May 2010.
- [21] C. Camargo. Implementación de Sistemas Digitales Complejos Utilizando Sistemas Embebidos. *Memorias del XI Workshop de Iberchip ISBN 959-261-105-X*, 2005.
- [22] 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.
- [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.
- [24] C. Camargo and O. Sanchez. Linux embebido como herramienta para realizar reconfiguración parcial. *XII Workshop Iberchip*, 2006.
- [25] J. Espinosa, F. Segura, and C. Camargo. Evolución de un Arreglo de Células Utilizando Algoritmos Genéticos. *Memorias del XI Workshop de Iberchip ISBN 959-261-105-X*, 2005.
- [26] C. Camargo. ECBOT: Arquitectura Abierta para Robots Móviles. *IEEE Colombian Workshop on Circuits and Systems*, 2007.
- [27] C. Camargo. First Colombian Linux SBC runs Debian. URL: <http://www.linuxfordevices.com/c/a/News/First-Colombian-Linux-SBC-runs-Debian/>, 2006.
- [28] C. Camargo. Hardware copyleft como Herramienta para la Enseñanza de Sistemas Embebidos. *Simposio Argentino de Sistemas Embebidos*, 2011.
- [29] C. Camargo. Control de Sistemas Paralelos Inspirado en la Naturaleza. *Colombian Workshop on Circuits and Systems*, 2009.
- [30] C. Camargo. Low Cost Platform for Evolvable-Based Boolean Synthesis. *IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS 2011)*, Bogotá Colombia, February 2011.