

EL CONOCIMIENTO COMO BIEN PÚBLICO Y SU USO PARA OBTENER UNA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EXITOSA EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES.

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 vías 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 proporcionan. La falta de personal calificado que permita absorber y asimilar los conocimientos asociados a la tecnología para la producción de sistemas digitales modernos que satisfagan las necesidades de la sociedad, hace que el país no pueda librarse de la dependencia hacia productos extranjeros. Programas académicos desactualizados, escasa cobertura, instituciones de educación poco consolidadas y difícil acceso a la información, crean el clima perfecto para que esta dependencia continúe durante mucho tiempo. Este artículo presenta una metodología para la transferencia tecnológica en el diseño de sistemas basada en el uso del conocimiento como bien público y su aplicación en el área de diseño de sistemas digitales. Tomando como fuente de inspiración el movimiento de software libre se desarrolló un concepto: el hardware copyleft, gracias a él, los conocimientos generados al aplicar esta metodología se encuentran disponibles a quien esté interesado y pueden ser utilizados incluso para fines comerciales, esto es posible, gracias a los mecanismos de difusión que garantizan el acceso sin restricciones. Adicionalmente, se proporciona un programa académico que permite la creación de habilidades necesarias para asimilar el conocimiento asociado a las nuevas tecnologías y la adaptación a cambios en la misma. Con esto se pretende difundir los conocimientos necesarios para concebir, diseñar implementar y operar sistemas digitales modernos a todos los sectores de la sociedad concientizándolos de su importancia y de esta forma contribuir a la solución del problema de la industria electrónica en el país.

* * 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

PALABRAS CLAVES Sistemas Embebidos, educación en ingeniería, el conocimiento como bien público, transferencia tecnológica.

JEL Classification: H Public Economics, H4 Publicly Provided Goods, H41 Public Goods. I Health, Education, and Welfare I2 Education and Research Institutions I23 Higher Education and Research Institutions. O Economic Development, Technological Change, and Growth, O3 Technological Change; Research and Development O33 Technological Change: Choices and Consequences; Diffusion Processes

1. 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. 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.

1.1 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).

1.2 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 e 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.

1.3 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.

A continuación se realiza una descripción de los canales más utilizados para la transferencia de tecnología y conocimiento en países en vías 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).

1.4 Propósito de este estudio

El país no cuenta con los conocimientos necesarios para pasar de ser un consumidor de tecnología a un generador de soluciones tecnológicas; esto, debido a la desconexión existente entre el escaso sistema productivo de la industria electrónica y la academia, el poco interés de la academia por resolver problemas locales que no dejan mucho reconocimiento a nivel mundial, la invasión de productos asiáticos que han desplazado poco a poco los productos generados internamente. Con esta investigación se pretende ayudar a dar solución a estos problemas, proporcionando los conocimientos, habilidades y herramientas a los profesionales relacionados con el diseño digital para que puedan crear productos novedosos que compitan con los

provenientes de otros países. Las actividades realizadas durante este estudio están enmarcadas dentro del concepto: El conocimiento es un *bien público*, toda la documentación necesaria para reproducir, entrenar, entender y modificar los productos aquí generados se encuentran disponibles en servidores públicos (Camargo, 2011); garantizando de esta forma el acceso a cualquier persona interesada.

2. EL CONOCIMIENTO COMO UN BIEN PÚBLICO

Ostrom (Hess, C. y Ostrom, E. 2006), propone dos variables generales para clasificar los diferentes tipos de bienes: *el nivel de exclusión* entendido como la dificultad para excluir el acceso a un recurso por parte de usuarios potenciales; y *el nivel de rivalidad* el cual se refiere al impacto que tiene el uso de un recurso por un individuo (o grupo) sobre el uso de otros usuarios. Ostrom, identifica cuatro tipos de bienes y/o servicios: *bienes públicos* bajo nivel de rivalidad y bajo nivel de exclusión; *bienes comunes* alto nivel de rivalidad y bajo nivel de exclusión; *club goods* bajo nivel de rivalidad y alto nivel de exclusión y *bienes privados* alto nivel de rivalidad y alto nivel de exclusión. A nuestro modo de ver, el conocimiento es un recurso con un grado de rivalidad bajo, ya que no se afecta negativamente al aumentar el número de usuarios, lo que nos deja la posibilidad de clasificarlo como un bien público o un bien tipo club.

Idealmente, el conocimiento debería ser un bien público, esto es, no deben existir restricciones para acceder a él; sin embargo, en la actualidad el acceso al conocimiento es restringido, ya sea por medio de patentes, derechos de propiedad intelectual (lo cual es muy común en el desarrollo de nuevos productos y tecnologías) o por que el acceso al conocimiento tiene un costo que no puede ser pagado por cualquier miembro de la sociedad. En Colombia el acceso a la educación técnica, tecnológica y superior es limitado, se tiene una cobertura del 37%. La escasez de cupos en los centros de formación públicos y los altos costos de las matrículas en las universidades privadas (con niveles de calidad similares) han convertido al conocimiento en un bien tipo club (en Colombia); afectando de forma considerable la cantidad de personal con las capacidades necesarias para absorber los conocimientos asociados a nuevas tecnologías; adicionalmente, según el ministerio de educación

nacional, el 64% de los matriculados cursan programas universitarios y solo el 24% en programas relacionados con ingeniería.

A nuestro modo de ver, basados en el estado de la industria electrónica nacional y de la capacidad del país para la formación de personal calificado, el principal problema que presenta la industria electrónica nacional es la falta de conocimientos sobre procesos de diseño y fabricación, debido en parte a la fuerte exclusión que se tiene al acceso de la información relacionada con estos procesos, lo que se traduce en la incapacidad de producción local de productos que cumplan con los estándares internacionales. Durante la ejecución de este trabajo se creó un recurso público basado en el conocimiento necesario para concebir, diseñar, implementar y operar sistemas digitales que utilicen tecnología de punta y metodologías de diseño modernas, proporcionando:

- Diseños de referencia de sistemas digitales funcionales que pueden ser utilizados en la generación de nuevos productos.
- Repositorios donde se pueden descargar los archivos necesarios para entender, reproducir y modificar estos diseños de referencia.
- Una lista de discusión que proporcione soporte sobre el proceso de diseño.
- Un programa académico que actualiz los contenidos y la metodología de las asignaturas del área de electrónica digital.
- Documentación que puede ser utilizada por las empresas para capacitar a su personal.

Este “recurso” estará representado por: los archivos necesarios para entender, reproducir y modificar plataformas de desarrollo que pueden ser utilizadas para la creación de nuevos productos que den solución a problemas locales; la documentación necesaria para entender el proceso de diseño de un sistema digital complejo; una comunidad que crea/utiliza/mantiene el recurso; medios de comunicación y de almacenamiento para los proyectos existentes y facilidades que permitan la creación de nuevos proyectos. Cada uno de estos proyectos representa la aplicación de técnicas de diseño y de fabricación modernas de sistemas embebidos y pueden ser utilizados por los industriales y por la academia como herramientas de capacitación; su carácter público permite el acceso y uso por parte de cualquier interesado;

proporcionando un canal de acceso al conocimiento sin restricciones.

2.1 Software Libre

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.

2.2 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. 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. En este estudio se definieron las características que deben tener estos dispositivos y se diseñaron, construyeron, probaron y programaron 6 plataformas que cumplen con esta definición.

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 clase¹. 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

¹Para 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

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.

Los dispositivos *hardware copyleft* utilizan para su componente física la licencia **CC BY – SA** la que permite compartir, copiar, distribuir, ejecutar, comunicar públicamente la obra y hacer obras derivadas, con la condición de reconocer los créditos de la obra original de la forma indicada por el autor sin que esto implique que se cuenta con su apoyo o que apoya el uso que hace de su obra; si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, debe distribuir la obra generada bajo la misma licencia. Debido a que los proyectos hardware requieren la ejecución de un software que implemente la funcionalidad requerida; es necesario diferenciar los componentes de dichos sistemas, casi la totalidad de las aplicaciones software tomadas como referencia para adaptar las plataformas desarrolladas poseen la licencia GPL, por esta razón se conservarán las libertades de este tipo de licencias para el componente software. Al elegir hacer el resultado de acceso libre, conservando los derechos de autor; se proporciona un bien público que puede ser utilizado por cualquier sector de la sociedad para suplir necesidades propias; su naturaleza viral asegura que se agregarán nuevos proyectos a este bien, la labor de la comunidad será definir que proyectos reúnen con los requerimientos de calidad para ser incluidos en los repositorios públicos.

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

La Figura 1, muestra el modelo de transferencia tecnológica utilizada en esta investigación, la cual está basada en la formulada por Cohen (Cohen, 2004), la cual ha sido utilizada en trabajos recientes en diferentes partes del mundo (Al-Mabrouk, 2008, 2009, Wood, 2010 y Janssen, 2010).

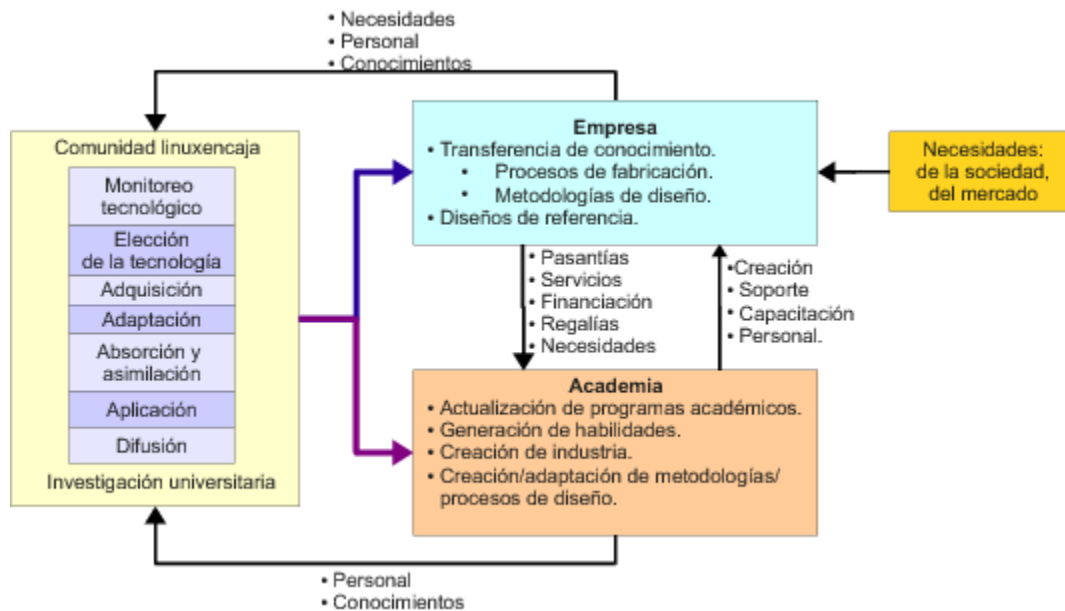


Figura 1. Modelo de Transferencia Tecnológica

Las primeras etapas elección y adquisición están relacionadas con la elección del contenido a ser transferido, mientras que la adaptación, absorción, asimilación, aplicación están relacionadas con la capacidad de absorción y aplicación del conocimiento por parte del receptor; la difusión indica el proceso por el cual un producto o servicio y su uso y aplicación es comunicado a través de ciertos canales entre miembros de un sistema social.

Elección

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 vías 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 será 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 con productos comerciales (consolas de juegos, reproductores MP4, porta-retratos digitales, agendas electrónicas) para entender la composición y funcionamiento de los dispositivos digitales modernos.

Adaptación 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.

Se utilizó ingeniería inversa para determinar como están contruidos, como funcionan y como son programados los productos adquiridos. Esta tarea no se ejecuta en un único instante de tiempo, ya que el estudio se realizó de forma gradual, y cada vez que se abordaba un nuevo tópico se repetía el proceso con un producto que permitiera su estudio. Los temas de estudio que se abordaron en esta etapa son:

- Arquitectura: Determinar los componentes más utilizados y las diferentes topologías.
- Programación: Mecanismos que permiten cambiar el *firmware* original del dispositivo.
 - Aplicaciones sin sistema operativo: Estudio de herramientas que permiten generar nuevas aplicaciones en los dispositivos sin el uso de sistemas operativos.
 - Aplicaciones con sistema operativo: Uso de sistemas operativos para acelerar el proceso de desarrollo de aplicaciones, utilizando las facilidades que ellos proporcionan.
 - eCos: Sistema operativo de tiempo real.
 - Linux: Sistema operativo ampliamente utilizado que posee una gran cantidad de aplicaciones y un número considerable de desarrolladores.
 - Inicialización: Requerimientos mínimos para la ejecución de Linux.
 - Imagen del kernel: Adaptación del kernel de Linux a una plataforma.
 - Sistema de archivos: Distribuciones y aplicaciones mínimas necesarias para la ejecución de Linux.
 - Drivers de dispositivos: Como dar soporte a nuevos periféricos.
 - Comunicación con periféricos dedicados implementados en FPGAs
 - Aplicaciones gráficas: Uso de librerías gráficas.

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 como parte de la metodología (emQbit); 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 transmilenio (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 (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 y parte de él está siendo utilizado en algunas de las principales universidades del país (ULA, UIS, USTA, UDFJC), con esto se pretende crear en los profesionales de las carreras relacionadas con el diseño digital las habilidades necesarias para que puedan crear productos novedosos que utilicen las nuevas tecnologías.

Difusión La tarea más importante de esta etapa, es la creación de una comunidad que sea consciente de la importancia de la tecnología y utilice los conocimientos generados en el proceso (recurso, bien común), proporcione nuevo conocimiento que haga parte de este bien; depure las herramientas de difusión y el contenido del mismo; y ayude a crear conciencia en todos los factores de la sociedad de la importancia de esta tecnología en el desarrollo tecnológico del país. Para esto, se deben proporcionar mecanismos que permitan la realización de esas tareas así como estrategias para el “reclutamiento” de nuevos miembros de la comunidad.

Manejo del recurso: El conocimiento absorbido durante este estudio se encuentra representado por una metodología de diseño e implementación de sistemas digitales que utiliza herramientas abiertas y por una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimiento informal basada en la libertad del conocimiento y el uso de este como un bien público que debe ser garantizado a toda la sociedad. Por otro lado, las plataformas *copyleft hardware* desarrolladas en este estudio representan la aplicación del conocimiento acumulado en el diseño y fabricación de sistemas embebidos y pueden ser utilizadas por cualquier interesado para mejorar sus habilidades en el diseño, implementación, fabricación o programación de este tipo de dispositivos. El recurso inicial está compuesto por los archivos necesarios para entender, programar, reproducir, y modificar estas plataformas. Nuestra hipótesis es que este será la base de nuevos productos tecnológicos que darán solución a problemas del país y ayudarán a difundir el uso de esta tecnología en centros de formación y empresas de base tecnológica y de esta forma aumentar la oferta de bienes y servicios relacionados con el diseño de aplicaciones personalizadas que se ajusten exactamente a los requerimientos de la sociedad. Sin embargo, para que esto sea posible, es necesario proporcionar herramientas que permitan la administración y difusión del recurso; por este motivo, se creó el portal abierto **linuxenaja** (<http://projects.linuxenaja.net/>) donde se proporcionan los siguientes servicios:

- **Sistema distribuido de control de versiones:** El intercambio de información entre programadores/usuarios que se encuentran separados geográficamente puede dificultar el proceso de desarrollo, si no se cuenta con una infraestructura adecuada se corre el riesgo de perder valiosa información por falta de sincronización entre los desarrolladores. De aquí la importancia de contar con un sistema que permita seguir el avance de un proyecto y los cambios que han sido realizados por otros miembros del equipo, los cuales, pueden estar en cualquier lugar del mundo. Para facilitar esta tarea, se cuenta con los sistemas distribuidos de control de versiones abiertos; siendo los más populares subversion (svn) y git, en este porta se utilizó git.

En la actualidad *linuxenaja* cuenta con 5 repositorios: SIE, ECB_AT91, ECBOT, ECB_BF532 y AndroidStamp. En ellos se pueden encontrar: los archivos necesarios para reproducir y modificar las plataformas hardware copyleft generadas en este estudio y proyectos que ayudan al entendimiento gradual de las mismas: *Hello World*: Esta aplicación implementa un parpadeo (blink) en un LED conectado a un pin de entrada/salida de propósito general, con este sencillo ejemplo se indica como se puede programar la memoria RAM interna del SoC, se proporciona un ejemplo funciona para el desarrollo de aplicaciones sin sistema operativo; *Loader*: Aplicación que permite escribir en las memorias no volátiles de la plataforma; *Kernel*: Parches que dan soporte a la plataforma en el kernel de Linux; *File system*: Sistema de archivos con las utilidades necesarias para la ejecución de aplicaciones FOSS; *Drivers*: Módulos del kernel que muestran como implementar drivers de Linux para control de periféricos; *Examples*: Proyectos académicos destacados que utilizan la plataforma y que pueden ser utilizados como referencia para desarrollo de aplicaciones.

- **Wiki:** (<http://wiki.linuxenaja.net/>): Las wikis son sitios web con facilidades de edición de páginas web utilizando un lenguaje propio (wikitexto). Permitiendo la creación instantánea de páginas web sin la necesidad de permisos especiales por parte del administrador de la máquina; almacenando en una base de datos el contenido de las páginas en texto plano y genera en tiempo real el código HTML a partir de este texto plano cada vez que se solicita una página; una característica especial es que las páginas pueden ser editadas por múltiples

voluntarios, se dispone de un historial de cambios que le permite al administrador restaurar el contenido en un eventual daño voluntario o involuntario.

Con esta herramienta es posible que usuarios del recurso documenten nuevos proyectos o mejoren la documentación de los ya existentes; en la actualidad esta wiki está siendo utilizada por los estudiantes del área de electrónica digital del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia para documentar el proceso de diseño de los proyectos de estas asignaturas; los mejores proyectos son conservados y etiquetados como proyectos de referencia y se encuentran disponibles por futuros usuarios que pueden ser industriales o estudiantes de próximos semestres; con esto, se genera un banco de proyectos creciente que hace que la complejidad de los proyectos aumente cada período académico aumentando la exigencia.

- **Lista de correo** (<http://groups.google.com/group/linuxencaja>): Contar con un canal de comunicación directo entre los diseñadores y usuarios con más experiencia, permite resolver dudas en corto tiempo, estas respuestas constituyen una fuente de documentación muy importante y debe ser almacenadas para crear un banco de preguntas/respuestas que ayuden a usuarios con las mismas inquietudes. Por esta razón, se creó una cuenta de correo que permite este intercambio de información y puede ser utilizado por los miembros de un determinado proyecto para discutir temas propios del desarrollo del mismo. La metodología utilizada por un determinado grupo quedará registrada en esta lista y puede ser utilizada como referencia de ese y otros proyectos; adicionalmente, estas listas de correo permiten realizar contactos académicos y laborales entre sus miembros.

Estrategia de difusión: Esta metodología de transferencia tecnológica y de conocimientos no cuenta con el apoyo financiero necesario para realizar cursos de capacitación a empresas de base tecnológica destinados a transferir las metodologías de diseño y fabricación propuestas, por este motivo se utilizará una difusión basada en relaciones locales entre centros de formación, empresas, y entidades del estado que financien proyectos de transferencia tecnológica.

- Relaciones con grupos de investigación de la misma universidad: En la

Universidad Nacional (sede Bogotá) se importaban todas las placas electrónicas necesarias para el desarrollo de proyectos de investigación en diferentes departamentos de la facultad de ingeniería, muchas de ellas con grandes sobrecostos originados por la importación. Existen áreas de trabajo que pueden ser estudiadas por grupos interdisciplinarios como robótica (mecatrónica, sistemas, electrónica), telemedicina (medicina, sistemas, electrónica), telemetría (veterinaria, electrónica) o control. Bajo esta investigación se desarrollaron aplicaciones con los departamentos de sistemas y mecatrónica para desarrollar plataformas robóticas (Camargo, 2011c, Camargo, 2008) que pudieran ser utilizadas para validar los modelos computacionales y algoritmos propuestos y con el centro de telemedicina de la Universidad Nacional se diseñó y construyó un monitor remoto de signos vitales (Rosas, 2011). Esto con el fin de difundir la importancia del uso de esta tecnología.

- Relaciones con centros de formación: Aprovechando la posición y reconocimiento de la Universidad Nacional de Colombia y los contactos existentes con los centros de formación: Universidad Industrial de Santander; Universidad de los Andes; Universidad Santo Tomás de Aquino; Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la Escuela tecnológica Técnico Central. Se difundieron los conocimientos obtenidos en este estudio y se proporcionó la información necesaria para que sean incorporados en los programas académicos de las asignaturas relacionadas con el diseño digital en estos centros de formación. Con esto se busca aumentar el número de personas que utilicen y contribuyan al crecimiento del recurso público. Adicionalmente, el programa académico creado e implementado en la Universidad Nacional de Colombia se encuentra disponible para cualquier centro de educación que quiera implementarlo parcial o totalmente.
- Relaciones con la industria: Para trabajar con empresas de base tecnológica se creó un proyecto (en la actualidad se busca financiamiento) que difunde el uso de esta tecnología en la creación de nuevos productos que den solución a un problema local; este proyecto realizará un proceso para seleccionar 2 empresas de base tecnológica en ciudades donde existan centros de formación que utilicen nuestro recurso; dichas empresas formularán un proyecto que satisfaga

una necesidad local; estudiantes de los centros de formación (como trabajo de grado) ayudarán a estas empresas en el diseño y construcción de un dispositivo que implemente la solución propuesta por ellas. Todos los proyectos deben ser de tal naturaleza que puedan ser implementados en un dispositivo electrónico que utilice la tecnología utilizada en este estudio; esto con el fin de implementar todos los proyectos con una plataforma electrónica base que permita adaptarse a las diferentes aplicaciones; esta *plataforma base* será diseñada por todos los participantes y se buscará reunir la máxima funcionalidad con el menor precio posible; utilizando los recursos suministrados por el portal *linuxenaja* se coordinará el trabajo entre los diferentes grupos de trabajo; una vez diseñada esta plataforma base se fabricaran tantos prototipos como grupos de trabajo para determinar su correcto funcionamiento, una vez corregidos los posibles errores y comprobado el correcto funcionamiento de todos los componentes; se realizará la producción de 100 unidades (con el fin de adquirir experiencia en la producción de estos sistemas) utilizando la industria manufacturera asiática; después de realizar la pruebas necesarias, cada grupo de trabajo diseñará y fabricará una tarjeta hija que proporcione la funcionalidad requerida por cada proyecto. Todo el proceso de diseño, los criterios de desarrollo, las discusiones para determinar las especificaciones tanto de la plataforma base como de las plataformas hijas se documentará en el portal *linuxenaja* para permitir la reproducción de este proceso por quien esté interesado.

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.

Las plataformas *hardware copyleft* diseñadas como parte de este estudio, junto con los mecanismos que permiten su estudio, uso y modificación y la metodología para la enseñanza de sistemas digitales constituyen un recurso público que puede ser utilizado en la transferencia de conocimientos a cualquier sector de la sociedad que

esté interesado.

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.

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

Al-Mabrouk, K. y Soar, J. (2008) Building a Framework for Understanding and Improving Information Technology Transfer Process in the Arab Countries
. 9th IBIMA Conference: Information Management in Modern Organisations - Trends & Challenges

Al-Mabrouk, K. y Soar, J. (2009) Identification of key issues for successful technology transfer in the Arab countries: a Delphi study
. International Journal of Technology Transfer and Commercialisation

\

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. *Simposio Argentino de Sistemas Embebidos*.

Camargo, C. (2011c). Plataformas Abiertas Hardware/Software Para Aplicaciones en Robótica. V Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y III de Ingeniería Mecatrónica (por publicar).

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 Technology Transfer to DCs. *Sixth Global Warming 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.

Janssen

, R. (2010) Exploring the impact of culture Technology transfer to five African countries . Master thesis University of Twente, the Netherlands

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 IFIP.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/>.

Rosas, N. (2011) Diseño e Implementación de un Sistema Embebido para la Adquisición y Transmisión de Señales Biomédicas a Través de la Red Celular. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia.

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

Wood, D. y Weigel, A. (2009) International Collaboration on Satellite-Enabled Projects in Developing Countries

. CP1103, Space, Propulsion & Energy Sciences International Forum – SPESIF

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.