

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
EVALUACIÓN TESIS DE GRADO 2 (8 Créditos)**

Fecha: 01/12/2014

Código: 200820910 Nombre del estudiante: Camilo Eduardo Cabrera Garrido

Correo Uniandes: ce.cabrera401@uniandes.edu.co Correo alternativo: cecabrera55@gmail.com

Teléfono fijo: +57 1 470 1771 Teléfono celular: +57 316 471 1686

Subárea de Investigación: Investigación de Operaciones y Estadística

Semestre en el que cursó tesis de grado: 2014-II

Título de la tesis:

Diseño de la Metodología para la Estructuración Masiva de Proyectos de Inversión en I+D orientados a cerrar la Brecha de la Productividad.

Concepto: **NOTA**

5.0

Unanimidad: ☒ SI ☐ NO

Asesor: María Catalina Ramírez Cajiao

Jurado 1: Camilo Enrique Olaya Nieto

Jurado 2: Jorge Gaitán Villegas

Observaciones:


Firma del Asesor


Firma Jurado 1


Firma Jurado 2

DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA LA ESTRUCTURACIÓN MASIVA DE PROYECTOS DE
INVERSIÓN EN I+D ORIENTADOS A CERRAR LA BRECHA DE LA PRODUCTIVIDAD

CAMILO EDUARDO CABRERA GARRIDO



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C., 2014

DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA LA ESTRUCTURACIÓN MASIVA DE PROYECTOS DE
INVERSIÓN EN I+D ORIENTADOS A CERRAR LA BRECHA DE LA PRODUCTIVIDAD

CAMILO EDUARDO CABRERA GARRIDO

DOCUMENTO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MASTER EN CIENCIAS (MSc)

ASESORA: MARIA CATALINA RAMÍREZ CAJIAO (Ph.D). Ingeniera Industrial.

JURADOS: CAMILO ENRIQUE OLAYA NIETO (Ph.D). Ingeniero de Sistemas.

JORGE GAITÁN VILLEGAS (MPA). Ingeniero Industrial.

BOGOTÁ D.C., 2014

Tabla de contenido

Tabla de contenido	3
Tabla de Gráficos	4
Tabla de Ilustraciones	4
Tabla de Tablas	5
Tabla de Anexos	5
Introducción	6
Marco Teórico	9
Los Fundamentos de la Dinámica de Sistemas	10
El Pensamiento Operacional (<i>Operational Thinking</i>)	12
La Ingeniería Industrial frente al problema	13
Colombia: Diagnóstico	15
Competitividad	15
Productividad	17
Brecha de productividad	19
Transformación productiva	23
Articulando actores	32
Metodología	45
Fase de Estructuración	46
Fase de Financiación	54
Fase de Ejecución	55
Modelación dinámica	60
Simulación Dinámica	60
Escenario base	63
Conclusiones y alcance	67
Bibliografía	70
Anexos	78

Tabla de Gráficos

Gráfico 1. Productividad laboral relativa de los sectores económicos en Colombia (frente a Estados Unidos). Fuente: (Consejo Privado de Competitividad , 2007).....	20
Gráfico 2. Productividad Laboral total relativa de Colombia frente a Estados Unidos (EEUU=100%). Fuente: (Mitchell, 2010).....	20
Gráfico 3. Productividad laboral en la región latinoamericana. Fuente: (Mitchell, 2010).....	21
Gráfico 4. PIB per cápita de América Latina en relación con el PIB per cápita de Estados Unidos en 2005 bajo diferentes escenarios. Fuente: (Pagés, 2010).....	24
Gráfico 5. Productividad laboral de Europa respecto a Estados Unidos. Fuente: (Mischke, Regout, & Roxburgh, 2010)	25
Gráfico 6. Gastos en I+D como porcentaje del PIB y la fuente de financiamiento. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)	29
Gráfico 7. Solicitudes para incentivos tributarios, 2003 - 2012. Fuente: (OCyT, 2013).....	38
Gráfico 8. Desempeño de la Metodología. Fondo y Proyectos. Fuente: Autor	65
Gráfico 9. Desempeño de la Metodología. Gestores. Fuente: Autor	66

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Perspectiva de feedback. Traducido por: Autor. Fuente: (Morecroft, 2007).....	11
Ilustración 2. Perspectiva tradicional orientada a eventos. Traducida por: Autor. Fuente: (Morecroft, 2007).....	11
Ilustración 3. Estructura de realimentación generada a partir de procesos de toma de decisión. Traducido por: Autor. Fuente: (Olaya, 2012)	13
Ilustración 4. Estado de Desarrollo: Colombia vs. Estados Unidos. Fuente: (World Economic Forum, 2013).....	16
Ilustración 5. Productividad laboral de algunos de los países de América Latina. Fuente: (Mariño, 2014)	22
Ilustración 6. Espacio de productos exportados por Estados Unidos en el 2012. Fuente: (CID Harvard University, 2014).....	26
Ilustración 7. Clasificación de proyectos de investigación o desarrollo tecnológico. Fuente: (CNBT. A1, 2011)	37
Ilustración 8. Diagrama causal de inversión en I+D. Fuente: Autor.....	45
Ilustración 9. Ciclos identificados en el diagrama causal de inversión en I+D. Fuente Autor.....	46
Ilustración 10. Proceso propuesto de Estructuración de un Proyecto de I+D.....	47
Ilustración 11. Proceso de adaptación de un Modelo genérico, a una pyme específica. Fuente: (Winch & Arthur, 2002). Traducido por: el autor.	48
Ilustración 12. Estructura del <i>Project Financing</i> . Fuente: (Gómez Torres, 2014).....	50
Ilustración 13. Diagrama de Flujo de Dinero. Fuente: Autor.	60
Ilustración 14. Diagrama de Flujo de Gestores. Fuente: Autor	62
Ilustración 15. Diagrama de Flujo de Proyectos. Fuente: Autor.....	63

Tabla de Tablas

Tabla 1. Inversión en Ciencia, Tecnología e Innovación como porcentaje del PIB. 2003-2011. Fuente: (OCyT, 2013)	31
Tabla 2. Número de solicitudes, montos y proporciones de proyectos presentados por deducción. Fuente: (Colciencias, 2014)	39
Tabla 3. Jóvenes investigadores apoyados por Colciencias según área OCDE, 2003-2012. Fuente: (OCyT, 2013).....	42
Tabla 4. Costos en la Fase de Estructuración.	47
Tabla 5. Costo estimado de la Fase de Ejecución con porcentajes para un proyecto estimado de 3 mil millones. Fuente: Cálculos del Autor.....	56
Tabla 6. Parámetros iniciales. Escenario Probable. Fuente: Autor	64
Tabla 7. Resultados escenario base. Fuente: Autor	66
Tabla 8. Cálculo de la Inversión en Actividades de Ciencia y Tecnología 2015 – 2018 con base en las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018. Fuente: (DNP, 2014) (The Economist Intelligence Unit, 2014)	68

Tabla de Anexos

Anexo 1. Aspectos que describen un proyecto de Investigación Científica	78
Anexo 2. Aspectos que describen un proyecto de Desarrollo Tecnológico.....	79
Anexo 3. Promedio anual de horas trabajadas por personas empleadas en algunos países del mundo. Fuente: (Ruiz Granados, 2014)	80
Anexo 4. Indicadores de Innovación en América Latina. Fuente: (Arias & Martínez Anaya, 2014)	80
Anexo 5. Inversión en la innovación en las empresas. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)	81
Anexo 6. Crecimiento de la productividad total de los factores. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)	82
Anexo 7. Investigadores por 1.000 personas en la fuerza laboral. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)	83
Anexo 8. Tipología de I+D	83
Anexo 9. Estados Financieros de tres sectores en Colombia durante 2013. Fuente: (SuperSociedades, 2014).....	85
Anexo 10. Estado Resultados y Balance General con crecimiento porcentual de CUPERZ S.A. 2008 – 2013. Cifras en miles de millones de pesos. Fuente: (SuperSociedades, 2014)	86
Anexo 11. Evolución de la inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación como porcentaje del PIB en Colombia, 2003 - 2013. Fuente: (OCyT, 2013).....	86

Introducción

Colombia deberá enfrentar retos muy serios durante los próximos diez años: a medida que se haga cada vez más evidente que el crecimiento económico de los últimos años fue impulsado principalmente por una coyuntura favorable de los precios internacionales de productos básicos minero-energéticos (CID Harvard University, 2014), se irá haciendo cada vez más necesario encontrar otra fuente de crecimiento a largo plazo, más estable y más controlable.

La corriente principal del pensamiento económico ha identificado esa fuente de crecimiento desde hace ya mucho tiempo: el *progreso técnico*, es decir, el conocimiento avanzado incorporado a los procesos productivos. En términos económicos, se trata de la productividad total de los factores (PTF) o *residuo de Solow* (Eslava & Meléndez, 2009) (Pagés, 2010).

Para incorporar conocimiento avanzado a los procesos productivos es preciso organizar previamente y coordinar cuidadosamente una cadena compleja de actividades: investigación básica, investigación aplicada, desarrollo experimental y desarrollo tecnológico. Este conjunto de actividades es intensivo en capital físico y en capital humano altamente calificado. Se mide mediante las estadísticas de Actividades en Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI), uno de cuyos componentes centrales es la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) (OCyT, 2013).

En Colombia, la inversión en I+D es anormalmente baja (Anexo 5). El discurso económico de los gobiernos durante los últimos veinte años demuestra su preocupación, pero también la impotencia de las autoridades para modificar ese comportamiento (Consejo Privado de Competitividad, 2014). Se ha ido construyendo un complejo y descoordinado entramado de instituciones, programas, herramientas e incentivos que no logran elevar de manera significativa la proporción de la inversión en I+D dentro del Producto Interno Bruto (PIB). Resulta particularmente preocupante la baja participación del sector privado (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

Este trabajo de investigación aplicada pretende explorar la naturaleza de este fenómeno desde una perspectiva diferente, no economicista ni econométrica, sino mediante la dinámica de sistemas y, en particular, mediante la aplicación del pensamiento operacional (*operational thinking*) (Olaya, 2012).

En forma sintética, la inversión en I+D es una función compleja de variables como el capital humano altamente calificado, el capital físico, el tamaño de las empresas, el mapa mental de los empresarios, los proyectos estructurados, los tiempos y las demoras inherentes, los incentivos gubernamentales, el riesgo y la rentabilidad.

El supuesto central de la investigación es el siguiente: no basta con crear condiciones de entorno favorables a la inversión en I+D para que esta se desarrolle de manera sostenible en el tiempo. Por el contrario, es necesaria una *estrategia de intervención*, una acción deliberada, que tenga en cuenta la naturaleza compleja y dinámica del proceso de decisión de inversión en I+D.

Esta acción deliberada, a su vez, debe tener un foco estratégico. El diagnóstico para el caso colombiano apunta hacia una evidencia empírica irrefutable: la productividad de la economía colombiana es muy baja en términos absolutos (Mariño, 2014), pero el verdadero problema es la creciente *brecha* frente al *nivel de productividad* de las economías avanzadas, en términos relativos (Consejo Privado de Competitividad, 2007). El foco estratégico de una acción deliberada para elevar la inversión en I+D en Colombia debe ser, en consecuencia, *cerrar la brecha de productividad en el largo plazo, mediante la estructuración a gran escala de proyectos de inversión en I+D a nivel de la firma*.

La metodología propuesta en este trabajo de investigación aplicada se adapta a la realidad colombiana: existe una notable variedad de firmas en el aparato productivo (SuperSociedades, 2014). La diferencia más evidente resulta de observar el *tamaño* de las firmas y su *distribución* en los sectores (agricultura, manufacturero, comercio y servicios).

Llama la atención la excesiva concentración del capital físico en empresas de gran tamaño y su disponibilidad de capital humano altamente calificado, frente a una gran dispersión de empresas medianas y pequeñas (pymes) que apenas disponen de una baja dotación de capital físico y limitado acceso a capital humano altamente calificado (Gómez & Mitchell, 2014).

Estas dos características de las pymes colombianas justifican la opción metodológica que se ha escogido: para elevar la inversión en I+D a gran escala en Colombia enfocada en cerrar la brecha de productividad es necesario movilizar grandes volúmenes de capital financiero hacia proyectos de inversión estructurados — mediante las mejores técnicas disponibles — por equipos de personas que posean un capital humano altamente calificado, pero accesible.

En fin, **la transformación productiva del tejido empresarial colombiano debe entenderse como un gran esfuerzo colectivo para incorporar progreso técnico en forma sostenible y a largo plazo en los procesos productivos de todas las firmas — grandes empresas y pymes — mediante la estructuración, la financiación y la ejecución de proyectos de inversión en I+D orientados a cerrar la brecha de productividad, alcanzando estándares internacionales y moviéndose hacia productos de mayor sofisticación tecnológica.**

Este trabajo de tesis propone una metodología cuyo fundamento teórico parte del pensamiento sistémico y se desarrolla a través de la modelación dinámica de sistemas, con el fin de contestar desde el pensamiento operacional la pregunta de investigación planteada: *¿cómo cerrar la brecha de productividad en la industria manufacturera y en la agroindustria colombianas?*

La hipótesis de trabajo que subyace a la propuesta metodológica es: “la brecha de la productividad se logrará cerrar en un relativo mediano plazo mediante la intervención directa de profesionales jóvenes entrenados para convertirse en gestores de proyectos de inversión de Investigación y Desarrollo (I+D) en un proceso de inmersión profunda al interior de firmas altamente productivas y con el apoyo y la colaboración de otras formas de capital humano altamente calificado, como investigadores, expertos y consultores”.

El objetivo general es “desarrollar una metodología para la estructuración, financiación y ejecución masiva de proyectos de inversión en Investigación y Desarrollo orientada al cierre de la brecha de productividad”.

Los objetivos específicos son:

- Diseñar la metodología detallada para la estructuración de proyectos de inversión en I+D a nivel de la firma.
- Aplicar la modelación *Dinámica de Sistemas* y el *Pensamiento Operacional*.
- Cimentar las bases de un lenguaje común entre gestores y empresarios, que estimule la colaboración mutua y valore sus aportes respectivos en el proceso de adaptación del modelo genérico de simulación dinámica.
- Aportar conocimiento teórico para el cierre de la brecha de productividad.

Finalmente, se dividió el presente trabajo en cuatro secciones:

- La primera presenta las bases del Marco Teórico, la pregunta central de la investigación y la hipótesis de trabajo.
- La segunda presenta un diagnóstico detallado con la evidencia empírica de carácter macro, meso y microeconómico para Colombia con respecto a la brecha de productividad y a los factores que la determinan.
- La tercera sección describe la metodología propuesta para la estructuración, financiación y ejecución de proyectos de inversión en I+D, cuyo foco estratégico es el cierre de la brecha de productividad a nivel de la firma.
- La cuarta sección presenta el resultado de la modelación dinámica de sistemas al aplicar la metodología propuesta.

Marco Teórico

La inversión en I+D en Colombia no es solo un dato estadístico. No es producto de unas variables altamente correlacionadas. Se podrían analizar los datos obtenidos por el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT, 2013) desde hace 15 años mediante un modelo econométrico más o menos sofisticado y encontrar efectivamente que la tasa de crecimiento de la inversión en I+D está fuertemente correlacionada con variables como el presupuesto de Colciencias, la tasa de crecimiento del PIB o la tasa de crecimiento de las utilidades de las grandes empresas que reportan cada año sus estados financieros a la Superintendencia de Sociedades. En consecuencia, se podrían hacer algunas inferencias prácticas para justificar algunas medidas de política económica: por ejemplo, aumentar considerablemente el presupuesto de Colciencias o asignar a “Ciencia y Tecnología” el 10% de las regalías (Ministerio de Educación, 2012).

Sin embargo, las cosas no funcionan *así* en la realidad. La inversión en I+D de un año específico — suponiendo que esté bien medida — debería corresponder a la sumatoria de miles de proyectos de inversión ejecutados efectivamente por parte de miles de agentes económicos que tomaron miles de decisiones diferentes orientadas a invertir recursos de capital en actividades muy diversas — empacadas genéricamente bajo la etiqueta de Ciencia y Tecnología — con la esperanza de recuperarlos con creces y asumiendo diversos niveles de riesgo.

Es evidente que tratar de descubrir, mediante el análisis de datos, una ley misteriosa escondida en la serie de tiempo de las cifras de inversión en I+D que gobierne el comportamiento de la variable resulta un razonamiento poco científico, cobijado bajo un ropaje matemático aparentemente objetivo y preciso.

Una escuela de pensamiento moderno ha llegado a conclusiones muy parecidas y las ha estructurado de una forma tan sugestiva que ha ido ganando cada vez más seguidores en los centros de investigación científica y tecnológica más avanzados del mundo, como el Massachusetts Technology Institute (MIT). Se trata de la *Dinámica de Sistemas* (Systems Dynamics) y específicamente del *Pensamiento Operacional* (Operational Thinking), propuesto originalmente por Barry Richmond en 1993 (Richmond, 1993).

Este investigador hace parte de la corriente de pensamiento iniciada por Jay Forrester, precisamente en MIT, durante los años 50 del siglo pasado, con trabajos pioneros en Dinámica Industrial, Dinámica Urbana y el célebre trabajo sobre la Dinámica Global – “*Los límites del crecimiento*” (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972), que sentaría las bases de la conciencia ambiental hoy predominante en el mundo.

Son muchos los discípulos de Forrester que han continuado explorando y expandiendo la Dinámica de Sistemas: Meadows, Sterman, Morecroft, Senge, Wolstenholme, Lyneis, y Richmond ya citado. La *System Dynamics Review* ha divulgado durante casi 30 años las mejores investigaciones en el área, editadas por la Systems Dynamics Society. Un aporte innegable para

hacer aún más operativa la difusión de la Dinámica de Sistemas fue el desarrollo de softwares para la modelación dinámica al alcance de todos, como *iThink*, *Vensim* y *Stella*.

Los Fundamentos de la Dinámica de Sistemas

De acuerdo con George Richardson (Richardson, 2011), “en su artículo seminal, publicado originalmente en la *Harvard Business Review* en 1968, Jay Forrester fijó las bases de la perspectiva que más tarde recibiría el nombre de Dinámica de Sistemas. Fundó esta perspectiva sobre lo que para entonces constituían cuatro desarrollos recientes:

- Avances en la tecnología de los computadores.
- Experiencia creciente en simulación en computadores.
- Comprensión mejorada del proceso de toma de decisiones estratégicas.
- Desarrollo de la comprensión del papel de la realimentación (feedback) en los sistemas complejos.”

Poco después, en *Industrial Dynamics* (Forrester, 1961), Forrester redactó sus cuatro fundamentos en forma ligeramente diferente, poniendo el énfasis en los siguientes aspectos (Richardson, 2011):

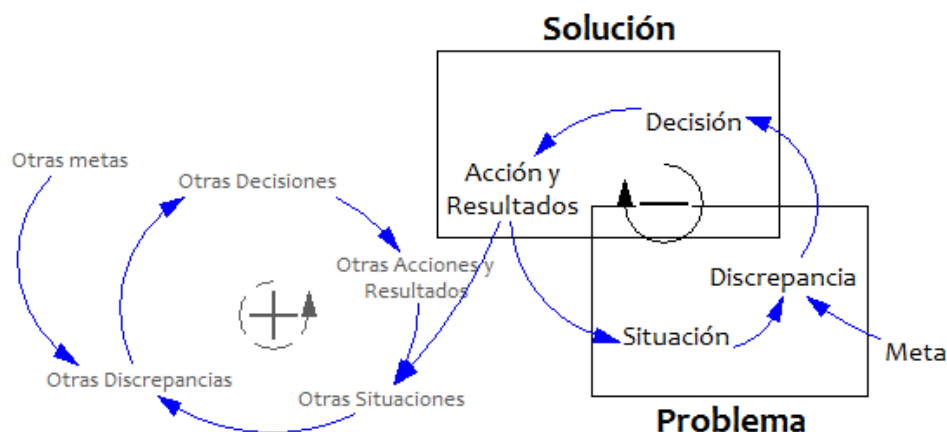
- Teoría de sistemas de información con realimentación (information feedback systems).
- Conocimiento de los procesos de toma de decisiones.
- Estudio de los sistemas complejos mediante modelos experimentales (the experimental model approach to complex systems).
- El computador digital como un medio para simular modelos matemáticos realistas.”

Diez años después, en 1968 sugiere ya no cuatro *hilos conductores*, sino una estructura jerárquica basada en cuatro *niveles* (Richardson, 2011):

- Límites cerrados en torno al sistema.
 - Bucles o ciclos de realimentación (feedback loops) como los elementos estructurales básicos al interior de los límites.
- Variables de nivel (estado o de stock) que representan acumulaciones al interior de los ciclos de realimentación.
- Variables de tasa (flujo) que representan la actividad dentro de los ciclos de realimentación.
 1. Meta.
 2. Condición observada.
 3. Detección de discrepancia.
 4. Acción basada en la discrepancia.

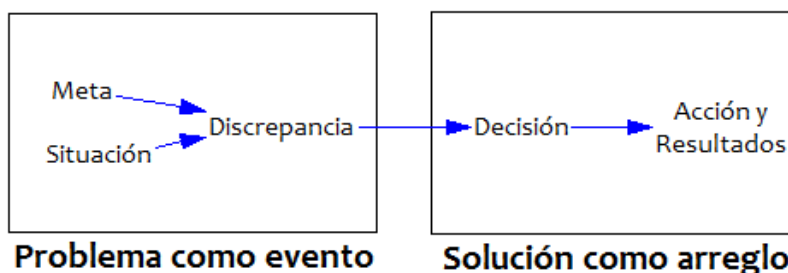
En la Ilustración 1, tomada de (Morecroft, 2007), se puede observar cómo se articulan estos cuatro niveles en torno a la perspectiva sistémica o de *feedback*:

Ilustración 1. Perspectiva de feedback. Traducido por: Autor. Fuente: (Morecroft, 2007)



En contraste, una perspectiva *tradicional*, basada en la visión del mundo orientada por eventos lineales, se podría ilustrar de la siguiente forma (Morecroft, 2007):

Ilustración 2. Perspectiva tradicional orientada a eventos. Traducida por: Autor. Fuente: (Morecroft, 2007)



En resumen, se puede afirmar que la **Dinámica de Sistemas** “es el uso de mapas informales y de modelos formales de simulación por computador para descubrir y comprender las *fuentes endógenas del comportamiento de un sistema*.” (Richardson, 2011).

Se puede reconocer, entonces, el trabajo de un investigador que aplica la Dinámica de Sistemas cuando cumple estrictamente las siguientes condiciones (Richardson, 2011):

1. Se basa en el pensamiento sistémico (*systems thinking*).
2. Se apoya en la perspectiva de la gestión estratégica (*management insights*).
3. Construye modelos de simulación en computador con el fin de:
 - Elaborar hipótesis, validarlas y refinar explicaciones endógenas sobre los cambios en el sistema.
 - Utilizar estas explicaciones para guiar el diseño de políticas y el proceso de toma de decisiones.

El Pensamiento Operacional (*Operational Thinking*)

En su célebre artículo de 1993 “*Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond*”, Barry Richmond resume las 7 habilidades (skills) que conforman lo que llamó el pensamiento crítico (*critical thinking*) (Richmond, 1993):

1. Pensamiento Dinámico (*Dynamic Thinking*).
2. Pensamiento Basado en la Realimentación al Interior de Sistemas Limitados (*Closed-loop Thinking*).
3. Pensamiento Genérico (*Generic Thinking*).
4. Pensamiento Estructural (*Structural Thinking*).
- 5. Pensamiento Operacional (*Operational Thinking*).**
6. Pensamiento Continuo (*Continuum thinking*).
7. Pensamiento Científico (*Scientific Thinking*)

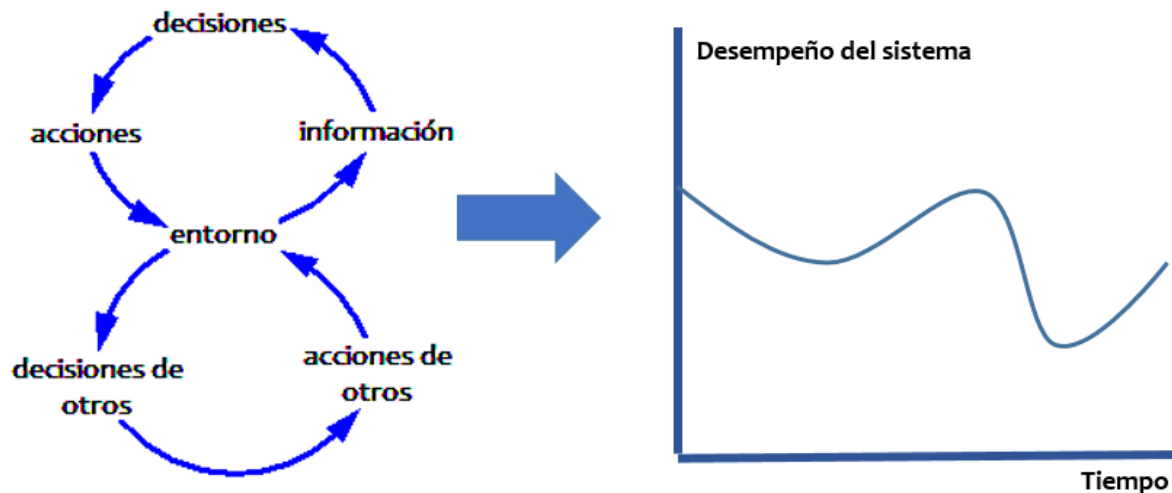
Este trabajo de investigación se ha construido desde la perspectiva del Pensamiento Operacional. Este constituye una *habilidad* que permite ver cómo funciona el mundo y no cómo debería funcionar de acuerdo con la teoría. Es una habilidad que se puede aprender y desarrollar y forma parte de un conjunto de otras habilidades como el pensamiento dinámico, el pensamiento basado en la realimentación al interior de sistemas limitados, el pensamiento genérico, el estructural, el continuo y el científico.

El ejemplo ya clásico para ilustrar el contraste entre pensamiento *operacional* y *no-operacional* que utiliza Richmond es el siguiente: un artículo de investigación económica había publicado los resultados obtenidos por un reconocido economista con base en un sofisticado modelo econométrico para predecir la producción de leche en Estados Unidos. El modelo incorporaba una gran cantidad de variables macroeconómicas conectadas entre sí mediante un complejo sistema de ecuaciones. Sin embargo, por ningún lado aparecían las vacas.

No resulta muy difícil descubrir que en el proceso de producción de la leche las vacas son esenciales, a pesar de todo. Lo primero que hubiera hecho un investigador entrenado en la habilidad del pensamiento operacional habría sido enfocarse precisamente en las vacas: los ciclos asociados con la cría y las decisiones del ganadero, la productividad de cada vaca, la cantidad de ganaderos, su productividad agregada, etc.

El artículo de Camilo Olaya (Olaya, 2012) profundiza en las bases epistemológicas de la perspectiva del Pensamiento Operacional propuesta por Richmond. La siguiente gráfica (tomada y traducida de ese artículo) permite conectar el desempeño de un sistema con los ciclos de realimentación derivados de los procesos de decisión.

Ilustración 3. Estructura de realimentación generada a partir de procesos de toma de decisión. Traducido por:
 Autor. Fuente: (Olaya, 2012)



En conclusión, la Dinámica de Sistemas constituye un marco sólido para el análisis de una problemática compleja como el desempeño de la inversión en I+D en Colombia. Es posible establecer los límites del sistema, analizar el proceso de toma de decisiones por parte de los empresarios, detectar los ciclos de realimentación que los impulsan o los frenan, los procesos de estructuración, de financiación y de ejecución de los proyectos de inversión, el rol que juegan los incentivos del gobierno y la función del mercado de capitales.

Así como para modelar la producción de leche se necesitan vacas, para modelar la inversión en I+D en Colombia se necesitan proyectos estructurados y gestores capaces de estructurarlos, de fondearlos y de ejecutarlos.

La Ingeniería Industrial frente al problema

Si bien la productividad ha sido objeto de análisis por parte de diferentes corrientes económicas, “los economistas deben entender cómo funcionan las compañías individuales” (Lewis, 2004). La literatura económica se centra en el estudio del nivel de productividad y de su dinámica; pero la variable que afecta realmente a las empresas es la brecha de productividad frente a sus competidores directos (Boston Consulting Group, 2013).

Los economistas, como científicos sociales, tienen la intención de construir *teorías* de sistemas socio-económicos, usualmente a través de la obtención y análisis de datos. Los ingenieros, por otro lado, tienen la intención de producir diseños y de resolver problemas en la realidad, frecuentemente a través de *modelos* contruidos desde la perspectiva del pensamiento *operacional*. Esta diferencia subraya el contraste entre dos formas de pensamiento muy diferentes, dos epistemologías divergentes (Olaya, 2012).

Parte de la hipótesis de este trabajo es que para cerrar la brecha de la productividad, se hace necesaria la intervención directa y profesional en las empresas, en especial pymes, dada su alta

contribución al PIB y a la generación de empleo calificado, pero donde la informalidad y la baja productividad van de la mano de irregularidades tributarias y laborales (Pagés, 2010).

En consecuencia, la Ingeniería Industrial debe asumir un papel activo para encontrar una respuesta empresarial (micro) al problema de la baja productividad (macro, meso y micro) aplicando técnicas avanzadas como la modelación dinámica de sistemas y la modelación estratégica con base en la comprensión de la dinámica empresarial.

El Instituto de Ingenieros Industriales (IIE) define la ingeniería industrial como *la ingeniería que se preocupa por el diseño, mejoramiento e instalación de sistemas integrados de personas, materiales, información, equipos y energía. Se basa en conocimientos especializados y habilidades en las ciencias matemáticas, físicas y sociales junto con los principios y métodos de análisis y diseño en ingeniería para diseñar, especificar, predecir y evaluar los resultados obtenidos de dichos sistemas.* (Institute of Industrial Engineers, 2014).

Si la economía suministra los elementos de diagnóstico para comprender esta compleja problemática, la ingeniería industrial puede aportar las herramientas conceptuales y metodológicas – por ejemplo a través de la Dinámica de Negocios o *Business Dynamics* (Sterman, 2000) – para abordar esta complejidad desde una perspectiva sistémica y encontrar soluciones técnicas viables para cerrar la brecha de productividad a nivel microeconómico.

En este orden de ideas, se aborda la problemática identificando el principal cuello de botella que impide el crecimiento de la inversión en I+D en Colombia: no existe una oferta masiva de oportunidades de inversión en I+D porque no se estructuran proyectos viables y atractivos en las firmas colombianas. Y no se estructuran proyectos de inversión en I+D porque las empresas no tienen acceso al capital humano altamente calificado que se requiere en las fases de estructuración, financiación y ejecución.

Colombia: Diagnóstico

Los síntomas de la enfermedad holandesa ya están presentes en Colombia: una desindustrialización prematura, un bajo nivel de exportaciones con contenidos de media y alta tecnología, y por el contrario, el auge cada vez mayor de importaciones de maquinaria y equipo de alto valor agregado. Gracias al flujo extraordinario de capital extranjero, el país se ha convertido en un exportador neto de commodities minero-energéticos de bajo valor agregado y alto riesgo, debido a las fluctuaciones de precios por fuera del control de las autoridades colombianas (El Heraldó, 2014) (Gaitán Villegas, 2014). El 60.5% de las exportaciones entre enero y julio de 2014 en Colombia corresponden al sector minero-energético (DANE, 2014) y ya se vislumbra el final de esta bonanza (Portafolio, 2013).

Competitividad

Colombia ocupó el puesto 51 entre 59 países en el ranking global de competitividad del IMD en 2014 en donde Estados Unidos (1), Suiza (2) y Singapur (3) ocuparon los primeros puestos (IMD WCY, 2014). Por otra parte, Colombia ocupó el puesto 69 (entre 148 países) en el Índice de Competitividad Global del Foro Económico Mundial (World Economic Forum, 2013), que define la competitividad como **“el conjunto de instituciones, políticas, y factores que determinan el nivel de productividad de un país”**.

Este índice divide a las economías en tres tipos: enfocadas a la innovación, enfocadas a la eficiencia y enfocada a los factores. En este sentido, los doce pilares fundamentales para la medición del ranking son:

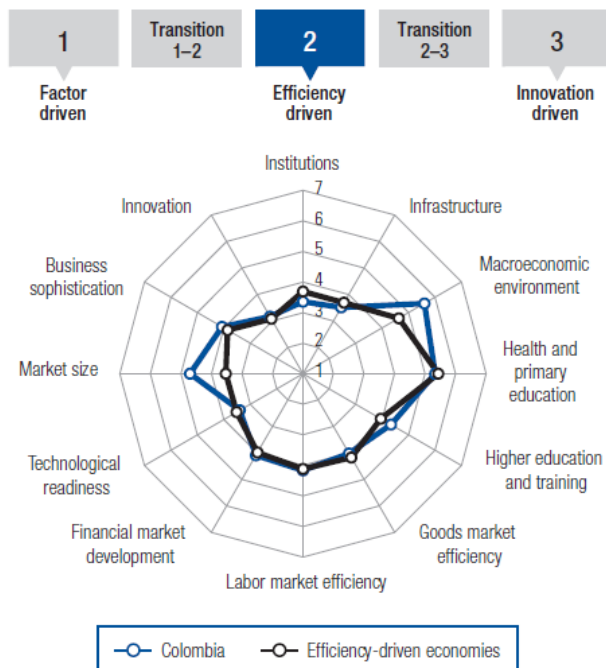
1. Instituciones
2. Infraestructura
3. Entorno macroeconómico
4. Salud y educación primaria
5. Educación superior y entrenamiento
6. Eficiencia del mercado de bienes
7. Eficiencia del mercado laboral
8. Desarrollo del mercado financiero
9. Alistamiento tecnológico
10. Tamaño del mercado
11. Sofisticación de los negocios
12. Innovación

Es así como Colombia en general se encuentra por encima de las economías enfocadas a la eficiencia y sin embargo muy por debajo de las economías enfocadas a la innovación (como Estados Unidos) (World Economic Forum, 2013). La Ilustración 4 contrasta el estado de desarrollo de Estados Unidos con el de Colombia en los doce pilares de la competitividad sistémica comparada.

Ilustración 4. Estado de Desarrollo: Colombia vs. Estados Unidos. Fuente: (World Economic Forum, 2013)

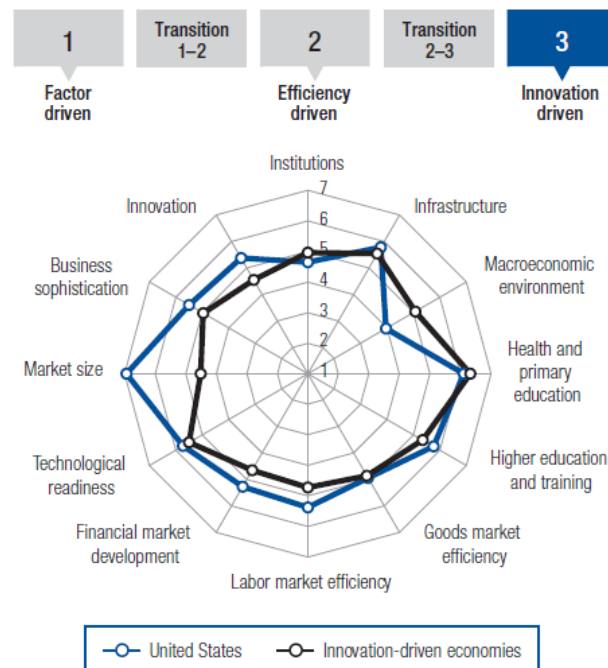
Colombia

Stage of development



United States

Stage of development



Colombia, por ejemplo, ocupa el puesto 117 entre 148 países en cuanto a indicadores de calidad promedio de la infraestructura (puntaje de 3.3 de 7), y el 130 en cuanto a la calidad de sus carreteras. El posicionamiento relativo tampoco es alentador en relación con la calidad de la infraestructura de ferrocarriles (posición 113), portuaria (110), y aeroportuaria (96). Los primeros países en términos de calidad promedio de infraestructura son Suiza (con un puntaje de 6.6 de 7), Hong Kong SAR (6.5 de 7) y Finlandia (6.5 de 7) (World Economic Forum, 2013).

El Gobierno estima que Colombia deberá invertir cada año y sostenidamente durante una década, un monto equivalente al 3% del PIB, para cerrar la brecha de infraestructura y atender los requerimientos de servicios logísticos que impondrá el crecimiento de sus mercados nacionales e internacionales. Es así como se inició, en 2014, un programa de inversión en vías, llamado “Cuarta Generación de Concesiones” de “infraestructura vial por un valor de \$47 billones de pesos, que contempla el desarrollo de 46 proyectos para transformar 8.000 kilómetros de vías con más de 1.270 en doble calzada. De los 46 proyectos, 30 son de iniciativa oficial y 14 de iniciativa privada. En ferrocarriles están previstos 405 kilómetros de nuevas vías y 936 para rehabilitación, por un valor de \$ 6.2 billones de pesos. En puertos se han programado 16 nuevos puertos y obras basadas en iniciativas privadas, que significan inversiones por \$1.7 billones. En aeropuertos se tienen proyectos en etapa de precalificación por \$546.000 millones, que comprenden 4 aeropuertos en remodelación y ampliación. Todo lo anterior se traduce en

inversiones por \$ 55 billones en el sector de infraestructura de transporte en la próxima década” (Fuentes Hernández, Gutiérrez Herrán, & Galeano Echeverri, 2014).

Como respuesta a este diagnóstico en términos de la competitividad sistémica comparada de Colombia, durante la Reunión Anual de la Comisión Nacional de Competitividad, el presidente Juan Manuel Santos reveló sus prioridades para el periodo 2014-2018 (Portafolio.co, 2014):

1. **Ciencia, tecnología e innovación.**
2. **Desarrollo regional.**
3. Infraestructura.
4. **Transformación agropecuaria.**
5. **Transformación industrial.**
6. **Educación y empleo.**
7. Institucionalidad.
8. Estabilidad macroeconómica.
9. Justicia.
10. Lucha contra la ilegalidad y la corrupción.
11. Prácticas leales de competencia.

El foco estratégico de esta agenda estará en el fortalecimiento de "la integración efectiva del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Competitividad, así como de Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación)".

De manera paralela, el presidente de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (Andi), Bruce Mac Master, manifiesta que “Colombia tiene lo que se necesita para ser una potencia en temas agroindustriales, tenemos la gente, la tierra, el agua y los mercados” (Gómez C. , 2014). En su discurso, Mac Master enfatizó en la relevancia de trabajar “en temas fundamentales como la innovación y la agroindustria”; y atacar al contrabando pues “daña el empleo, su remuneración, las prestaciones sociales y genera sistemas de informalidad” (Ciro, 2014).

Colombia está en proceso de estructurar nuevas Políticas de Desarrollo Productivo, muy diferentes de la desprestigiada política industrial de los años 50 a 70 (Gómez Gaviria & Angarita, 2014). “Su ámbito es la totalidad de la economía y no la industrialización acelerada; su énfasis es la competitividad y la integración en las cadenas globales de valor y no la sustitución de importaciones, y sus instrumentos de intervención no son las empresas públicas o los subsidios en sectores declinantes o a favor de empresas de bajo potencial competitivo, sino las políticas de innovación, de mejora de capital humano, de facilitación del emprendimiento y de los *clusters*, de internacionalización y, muy especialmente, una activa colaboración pública y privada” (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

Productividad

La eficiencia de un proceso productivo se puede definir por la relación entre el valor agregado por un sistema de producción de bienes o servicios y los recursos utilizados para generarlo (Carro Paz & González Gómez, 2012). A manera de ejemplo, se dice que un empleado es más productivo que otro cuando en el mismo tiempo (recurso) hace más cosas (producción) (Laborde & Veiga,

2011). El *nivel de productividad* determina tanto el *nivel de prosperidad* que puede alcanzar un país, como las tasas de retorno de la inversión en la economía (World Economic Forum, 2013).

Resulta evidente entonces la relevancia de medir la productividad: los análisis comparativos entre mercados, sectores, empresas y empleados constituyen la base empírica para emprender un proceso de transformación productiva (sección [Transformación productiva](#)).

En términos macroeconómicos, la tasa de crecimiento de la productividad de una economía se mide a partir de la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB, o Y en la Ecuación 2) (Pagés, 2010). La función de producción Cobb-Douglas la puede expresar de la siguiente forma (Ros, 2014):

$$Y_t = L_t^\alpha * K_t^{1-\alpha} * A_t$$

Ecuación 1. Función de producción Cobb-Douglas. Fuente: (Ros, 2014)

Donde α corresponde a la elasticidad producto del trabajo (L), es decir, qué tan intensiva es una economía en este factor productivo (valor entre 0 y 1). Por lo tanto, $(1 - \alpha)$ representa la intensidad de la economía en el otro factor productivo: el capital (K). La tasa de crecimiento del producto Y se puede descomponer en tres factores: la productividad del capital (K), la productividad laboral (L) y la productividad total de los factores (A o PTF). Cada uno de estos términos se relaciona en la siguiente ecuación (Eslava & Meléndez, 2009):

$$\frac{\Delta Y}{Y} \approx \alpha \frac{\Delta K}{K} + (1 - \alpha) \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta A}{A}$$

Ecuación 2. Productividad entendida a nivel macroeconómico

A nivel de una firma, por ejemplo, la productividad laboral se podría medir a través del valor agregado en dólares al año por empleado o la producción por hora por trabajador. Del mismo modo, la rentabilidad sobre el patrimonio de los socios de una firma se aproxima a la productividad del capital. Finalmente, la Productividad Total de los Factores ($\Delta A/A$, o PTF) captura la incorporación de conocimiento científico y tecnológico en los procesos productivos y refleja a su vez el progreso técnico en una empresa o economía (Lewis, 2004).

“Una de las maneras estándar de medir los aumentos de eficiencia es calcular los incrementos de la productividad total de los factores (PTF), es decir, la eficiencia con la que la economía transforma sus factores de producción acumulados en producción” (Pagés, 2010). La PTF funciona entonces como una medida de la sinergia generada por la combinación de los factores productivos (capital y trabajo), mediante la incorporación de conocimiento aplicado y de progreso técnico dentro del proceso productivo.

En términos microeconómicos o empresariales, cuando se habla de un cambio de 1% en la PTF es equivalente a decir que hubo un cambio de 1% del producto a partir de los mismos recursos productivos. Es decir, aumentos en la PTF representan producir más (o incluso mejor) con lo mismo. La PTF no se puede medir directamente: es el residuo de la Ecuación 2. Como diría Robert

Solow — premio Nobel y creador de la teoría moderna del crecimiento económico — se vuelve “una medida de nuestra ignorancia”. (Pagés, 2010).

Se definirá entonces la productividad como la *eficiencia del uso de los factores productivos frente al valor agregado de la producción de cualquier empresa*. Es **posible medir la productividad de una compañía a través de sus factores de producción** y, en este sentido, la definición adoptada está alineada con las definiciones macroeconómicas planteadas inicialmente.

“La productividad de un país es el resultado de la combinación de acciones de millones de empresas y trabajadores individuales. La productividad como objetivo nacional enfrenta problemas de acciones colectivas: todos se beneficiarían a nivel individual si los demás pagasen los impuestos, fuesen más productivos, tuviesen que lidiar con más competencia y trabajasen más, siempre que la carga de la responsabilidad no recayera personalmente en ellos. ¿Cómo convencer a todas las empresas y a todos los trabajadores — en el sector público y privado — para que actúen de una manera que propicie una mayor productividad individual?” (Pagés, 2010).

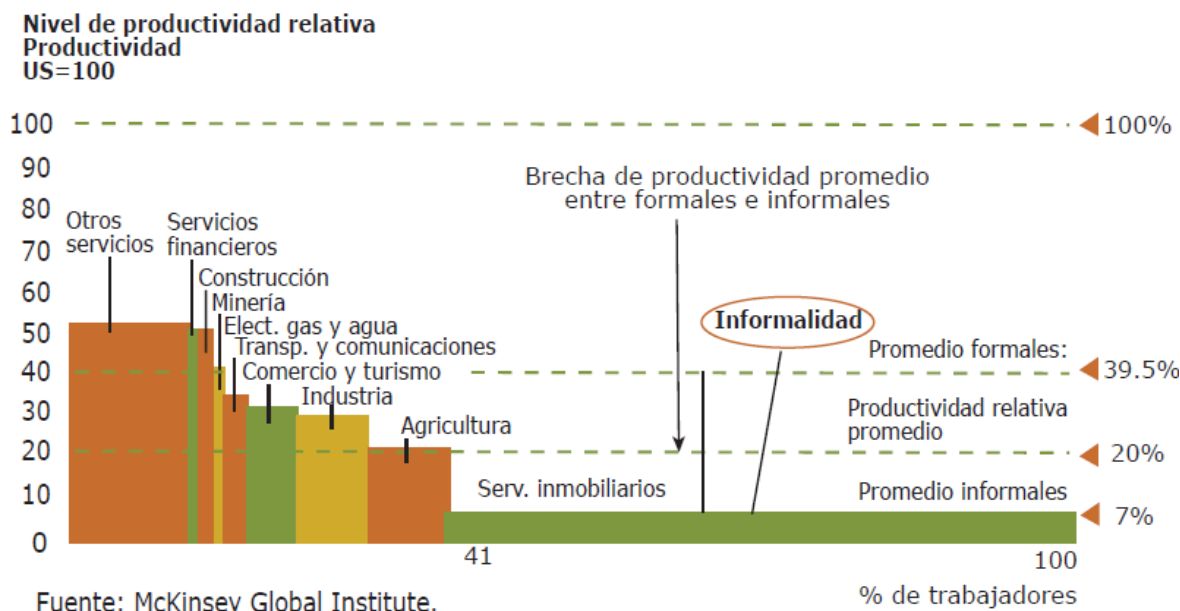
Brecha de productividad

El profundo diagnóstico sobre los problemas de la productividad en América Latina realizado por los investigadores del Banco Interamericano de Desarrollo (Pagés, 2010) (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014) conduce directamente al concepto de *brecha de productividad*.

Tal como existen diferentes productividades, también existen brechas con respecto a cada una: brecha de productividad del capital, brecha de productividad laboral y brecha de productividad total de los factores (PTF). Se expresan como un **diferencial relativo entre los niveles de productividad de países, empresas o personas**. La productividad laboral también se suele expresar mediante unidades monetarias por hora trabajada.

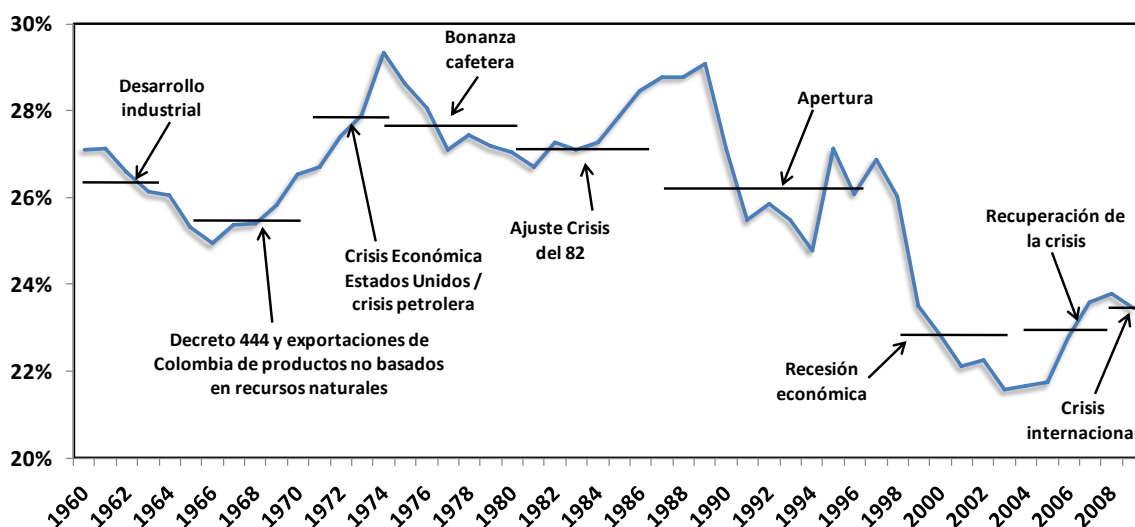
En 2006, el Instituto Global McKinsey desarrolló un estudio sobre la medición de la brecha de la productividad relativa de Colombia respecto a Estados Unidos (Gráfico 1). Este destapó serias implicaciones sobre la calidad del trabajo realizado en Colombia ya que la informalidad – que representó aproximadamente el 60% de la suma agregada de la mano de obra en Colombia – se ha estado llevando gran parte de la productividad del país (7% relativo a Estados Unidos) respecto a la economía formal (39.5% relativo a Estados Unidos).

Gráfico 1. Productividad laboral relativa de los sectores económicos en Colombia (frente a Estados Unidos). Fuente: (Consejo Privado de Competitividad, 2007)



En conjunto, la productividad relativa total de Colombia representó aproximadamente el 20% de la productividad de Estados Unidos. “Esto significa que se requieren cinco trabajadores en Colombia para alcanzar el mismo nivel de producto que logra un trabajador norteamericano en una hora” (Consejo Privado de Competitividad, 2007). Lo que resulta más trágico aún es tener que contrastar que esta tendencia se ha mantenido a través de los años; como lo resalta el Gráfico 2.

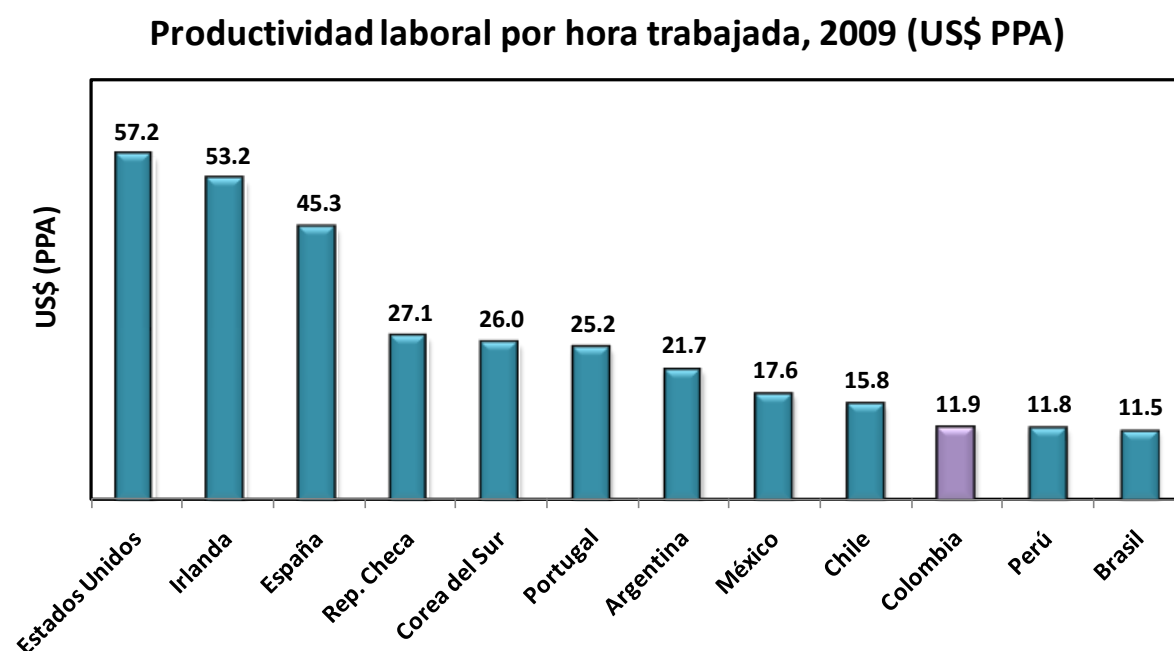
Gráfico 2. Productividad Laboral total relativa de Colombia frente a Estados Unidos (EEUU=100%). Fuente: (Mitchell, 2010)



Del mismo modo, la productividad laboral relativa promedio de Colombia respecto a Estados Unidos durante el 2010 continuó siendo de aproximadamente 20%. En este sentido es de destacar que los sectores que tienen mayor productividad son los que abarcan la menor cantidad de personas (como la exportación de minas y canteras y el suministro de electricidad, gas y agua) y los sectores en los que hay mayor participación en el empleo son los menos productivos (agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y casa; y transporte, almacenamiento y comunicadores) (Consejo Privado Competitividad, 2012). De igual manera, una gran proporción de la población trabaja en la informalidad y en promedio este segmento aporta la menor productividad a la economía: una influencia drástica y negativa (Pagés, 2010).

Otra manera de medir la productividad laboral de una economía consiste en calcular el valor agregado en dólares por hora trabajada. Por ejemplo, el Gráfico 3 registra el comportamiento de la productividad laboral (dólares de 2009, en paridad de poder adquisitivo) por hora trabajada durante el año 2009, posterior a la crisis económica mundial del 2008. Colombia (11.9 USD) estuvo al 20.8% de productividad laboral respecto a Estados Unidos (57.2 USD), mientras que países como España e Irlanda se ubicaron al 79.2% y 93.0%, respectivamente.

Gráfico 3. Productividad laboral en la región latinoamericana. Fuente: (Mitchell, 2010)



Durante el 2013 en América Latina, Chile y Uruguay resaltaron en la región como los mejores en productividad laboral con 21 dólares producidos por hora hombre y 19 dólares respectivamente. Por el contrario Brasil y Colombia aparecen en América Latina con la menor productividad laboral: 11 dólares por hora trabajada para ambos países.

Según la lista del Conference Board Economy Database sobre productividad laboral, “el promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) se situó en

\$44,7 USD por hora”. Fuera de México – con una cifra de \$17 USD –, Chile (\$21 USD) muestra la peor productividad laboral de los 34 estados miembros de la entidad. “Latinoamérica, en general, se encuentra muy atrás en la medición que, por ejemplo, evidencia a Estados Unidos y países industrializados con un producto por hora de US\$67” (Mariño, 2014).

Ilustración 5. Productividad laboral de algunos de los países de América Latina. Fuente: (Mariño, 2014)



La productividad tiene implicaciones serias sobre la calidad de vida de las personas. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en Colombia se trabaja en promedio 10.1 horas diariamente lo que representa 2.770 horas al año de trabajo (incluyendo los sábados y excluyendo los días festivos y la recompensa de 1.2 días por cada mes de trabajo) mientras que en Estados Unidos se trabaja en promedio 1.788 y en Alemania 1.388 (Ruiz Granados, 2014).

Las economías desarrolladas tienen índices de pocas horas laborales, pues van de la mano la calidad de vida de los trabajadores y su productividad. En Noruega se trabajan 27 horas semanales, en Francia 35 y Holanda 36. En Latinoamérica, Chile trabaja en promedio 38 horas semanales, Ecuador 40 horas y Colombia aproximadamente 53 horas. “La tendencia mundial sobre las horas que debe laborar una persona al año demarca que cada vez se reducen las jornadas, pues está demostrado que a mayor número de horas, menor es la productividad” (Ruiz Granados, 2014).¹

“Millones de personas padecen limitaciones que podrían resolverse si se emplearan mejor los recursos que existen en América Latina. Millones de trabajadores están condenados a empleos de baja productividad que no pagan lo suficiente para sacarlos, a ellos y a sus familias, de la pobreza” (Pagés, 2010). El afán de medir la brecha es el de cerrarla definitivamente y mejorar así la calidad de vida de naciones en desarrollo como la colombiana.

¹ Para mayor información sobre la cantidad de horas trabajadas en algunos países del mundo incluido Colombia, se remite al lector al Anexo 3.

En resumen, la brecha de la productividad explica en gran medida muchos de los problemas de desarrollo en Latinoamérica y específicamente en Colombia. El hecho de estar aproximadamente al 20% de productividad significa que un trabajador en Estados Unidos produce 5 veces más unidades del mismo producto con los mismos insumos que un trabajador en Colombia (El Espectador, 2014). Esto tiene implicaciones en la calidad de vida de los colombianos, así como en las finanzas del Estado, por su impacto vía impuestos perdidos y por los sobrecostos de la informalidad laboral, al no recaudarse una buena parte de los aportes a salud y pensiones previstos.

Adicionalmente, esta brecha de productividad es el principal obstáculo para aprovechar plenamente las oportunidades que ofrecen la apertura comercial y el libre comercio (ver Cadenas Globales de Valor) y por ello debe ser el foco estratégico de las políticas encaminadas al desarrollo productivo. Como solución a esta problemática, el Banco Interamericano de Desarrollo propone a partir de estos diagnósticos que la solución a la productividad se lleva intrínsecamente a cabo, entre otras cosas, a través de la inversión en I+D enfocada a una Transformación Productiva (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

Transformación productiva

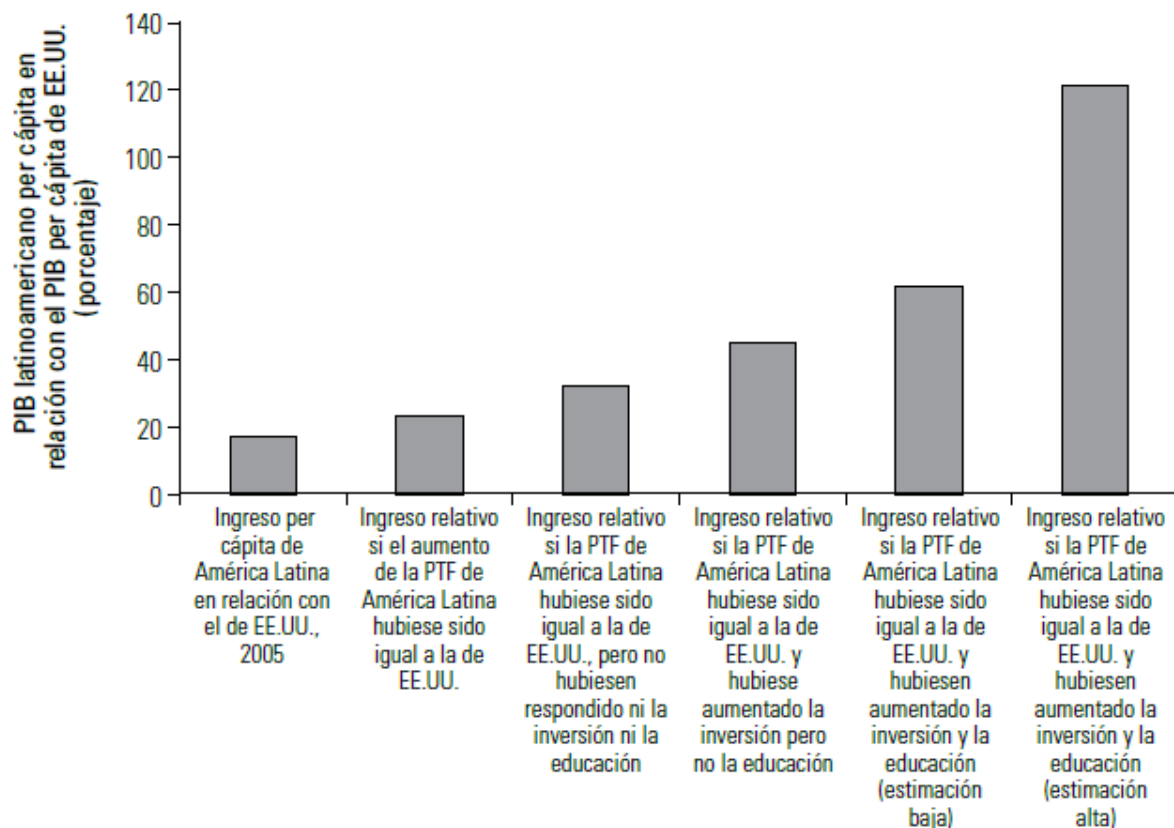
Elevar la productividad significa encontrar mejores formas de emplear con más el capital físico y humano que existen en la región (Pagés, 2010). En Colombia, una salida sostenible es adaptar el aparato productivo a las nuevas realidades de una profunda inserción en la economía global a través de las Cadenas Globales de Valor. Ese esfuerzo colectivo recibe el nombre de Transformación Productiva. Este concepto ha sido desarrollado entre otros por el economista Ricardo Hausmann (Hidalgo, Klinger, Barabási, & Hausmann, 2007) y consiste en determinar qué productos — dentro del universo de productos de la economía global, o “Espacio de Producto” — debería priorizar un país determinado, en función de sus capacidades productivas actuales y potenciales (Hausmann & Klinger, 2006). Esto exige una compleja coordinación de esfuerzos entre el sector público y el sector privado además de una relativa elevada inversión.

Para medir la transformación productiva es posible utilizar la PTF. Esto gracias a que es una medida de eficiencia y por lo tanto la transformación no solo implica, en ciertos casos, hacer mayores inversiones sino también hacer más con lo que siempre se ha tenido. En términos de firma, se puede entender que el crecimiento en ingresos está dependiendo de las inversiones (o cambios) en capital y en inversiones en talento humano, entre muchos otros factores. De esta manera es posible llevar un control sobre cuán efectiva está siendo la transformación productiva tanto a nivel micro como a nivel macro.

Algunas estimaciones sobre la productividad en América Latina datan de la posibilidad de lograr sobrepasar en producto interno bruto incluso a Estados Unidos. Estos escenarios implican una coordinación y colaboración mutua como región. El Gráfico 4 muestra los diferentes escenarios para América Latina si el desarrollo en la PTF hubiese sido significativo y si hubiese aumentado la inversión y la educación. Se puede identificar en 2005 una proporción aproximada del 20% de América Latina respecto a Estados Unidos y cómo hubiese sido posible llegar al 120% si el

escenario hubiese sido el mejor. Más allá de realizar una crítica a lo realizado en la región, esta situación abre la esperanza a desarrollar mecanismos de desarrollo que tengan en cuenta la trayectoria previa de economías desarrolladas sin dejar de lado los errores cometidos en economías en desarrollo a través de la historia.

Gráfico 4. PIB per cápita de América Latina en relación con el PIB per cápita de Estados Unidos en 2005 bajo diferentes escenarios. Fuente: (Pagés, 2010)

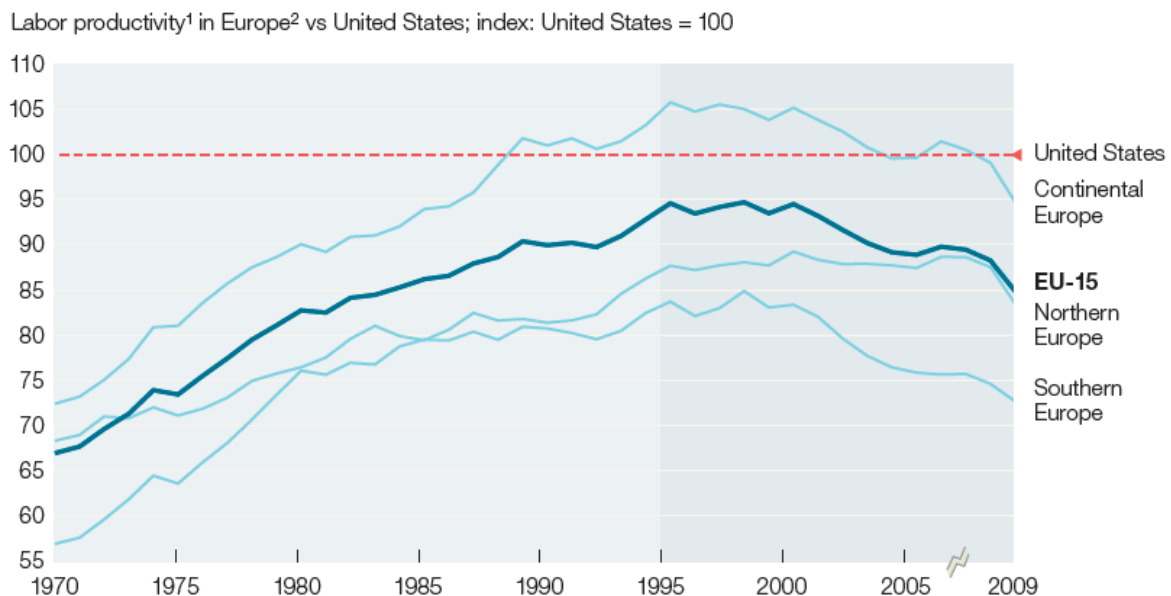


Fuente: Cálculos del autor con base en Banco Mundial (2008), Barro y Lee (2000), Heston, Summers y Aten (2006). Véanse los detalles en el capítulo 2.

Nota: PIB = producto interno bruto; PTF = productividad total de los factores.

Existe el caso de éxito de Europa Continental en la década de los 90's y los 2000's sobre una efectiva transformación productiva. Desde 1970 e incluso antes, esta Europa llevó a cabo una acelerada transformación productiva en donde pasó de estar en 73% en productividad laboral respecto a Estados Unidos y llegar incluso a sobrepasarlo en 1989 hasta 2008. Dadas las condiciones globales de desarrollo, Europa Continental – conformada por Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Luxemburgo y Holanda – tardó casi 20 años (desde 1970 hasta 1990) en cerrar su brecha de productividad en 27 puntos porcentuales (Mischke, Regout, & Roxburgh, 2010) y por lo tanto da una mirada superficial de lo que le toca trabajar a América Latina. Sin embargo, se puede esperar que con el desarrollo tecnológico global actual (gracias a las telecomunicaciones, las cadenas globales de valor y los viajes internacionales) sea posible realizar una transformación productiva en menor tiempo y causando un mayor impacto.

Gráfico 5. Productividad laboral de Europa respecto a Estados Unidos. Fuente: (Mischke, Regout, & Roxburgh, 2010)



¹ Expressed in 2009 dollars adjusted for purchasing-power parity using Elteto-Koves-Szulc (EKS) method.

² EU15: Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal, Spain, Sweden, and United Kingdom; Continental Europe: Austria, Belgium, France, Germany, Luxembourg, Netherlands; Northern Europe: Ireland, Denmark, Finland, Sweden, and United Kingdom; Southern Europe: Greece, Italy, Portugal, Spain.

Source: The Conference Board; McKinsey Global Institute analysis

Espacio de Producto

Las economías crecen a través de la sofisticación de los productos que ellas producen y exportan. Las tecnologías, capital, instituciones y habilidades necesitadas para hacer productos nuevos son fácilmente más adoptadas por unos productos que otros. Existen diferentes conectividades entre productos en donde los más sofisticados ocupan una periferia menos conectada.

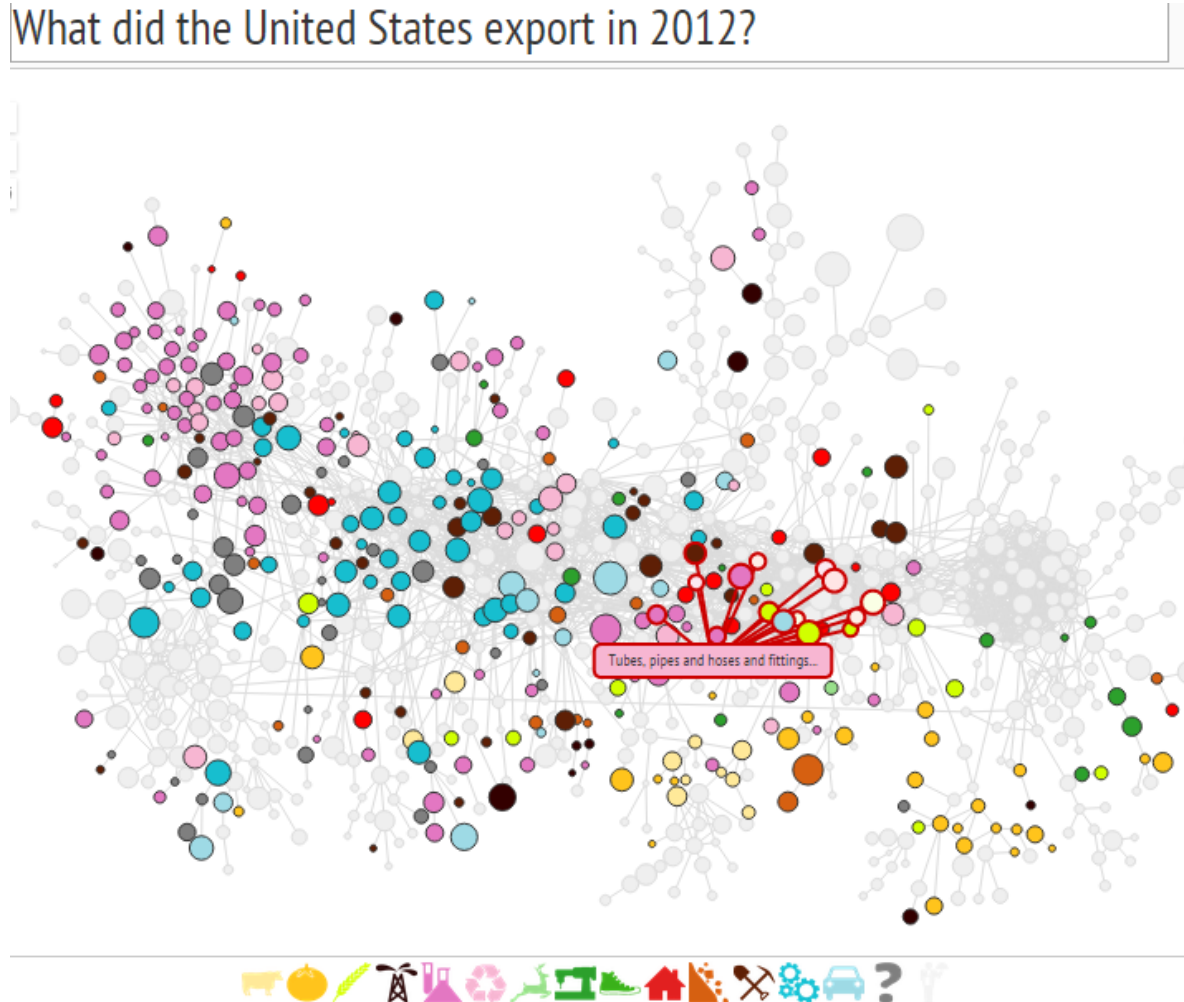
Los países se mueven a través del espacio de producto desarrollando bienes cercanos a aquellos que ellos actualmente producen. La mayoría de países pueden alcanzar su foco estratégico solo atravesando empíricamente distancias infrecuentes, las cuales pueden ayudar a explicar por qué los países pobres tienen problemas desarrollando exportaciones más competitivas y fallan en converger a los niveles de ingreso de los países ricos (Hidalgo, Klinger, Barabási, & Hausmann, 2007).

El Centro de Desarrollo Internacional de la Universidad de Harvard desarrolló el Atlas de Complejidad Económica en donde se expone la información relevante de productos de diferentes países en diferentes años. Este permite desglosar los productos importados y exportados en cada país además de facilitar una visualización de complejidad y comercio mundial de todos los productos. En este sentido, es una herramienta útil para identificar las tendencias en producto de cada país y su comportamiento (transformación) a través de los años.

La Ilustración 6 muestra el espacio de productos exportados por Estados Unidos durante el 2012 en donde cada color representa un sector de la economía y el tamaño de cada producto

(circunferencia) representa el volumen de transacciones realizadas durante el 2012. Al mismo tiempo, cada conglomerado de productos representa el nivel de sofisticación en el que cada producto está y las respectivas conexiones (CID Harvard University, 2014).

Ilustración 6. Espacio de productos exportados por Estados Unidos en el 2012. Fuente: (CID Harvard University, 2014)



En el espacio de producto, cada bien se puede imaginar como un árbol y el conjunto de todos los productos como un bosque. Un país está compuesto por una colección de firmas, que — siguiendo la metáfora de Hausmann — se podrían asemejar a los monos que viven en diferentes árboles y se alimentan de su follaje y de sus frutos.

Análogamente, el proceso de transformación productiva implica entonces lograr que los monos se muevan de una parte pobre del bosque, donde los árboles producen frutas escasas o de mala calidad, a las mejores partes del bosque. Esto significa que los monos tendrían que saltar distancias de una rama a otra, de un árbol al siguiente. Este esfuerzo colectivo implica reestructurar el capital (humano, físico e institucional) hacia bienes o servicios diferentes a aquellos que se producen actualmente.

La teoría tradicional del crecimiento asume que hay siempre un árbol al alcance; y por lo tanto, la estructura del bosque es irrelevante. Sin embargo, si este bosque es heterogéneo, con algunas áreas densas y otras más desérticas, y si los monos pueden saltar solamente distancias limitadas, entonces los monos podrían tener limitaciones para moverse por el bosque. “Si este es el caso, la estructura de este espacio y la orientación de un país hacia sí mismo se vuelven relevantes en el desarrollo del mismo” (Hausmann & Klinger, 2006) (Traducción del Autor).

Otro aspecto relevante es la sofisticación del producto y su representación en el espacio de producto. Entre un producto esté más cercano al centro de un conglomerado sectorial estará más cerca de mejores niveles de sofisticación tecnológica. Hay empresas, sectores o países ubicados en la periferia y especializados en productos de baja sofisticación (Hausmann & Klinger, 2006). En estos casos predomina una mano de obra económica, una cadena productiva elemental y por lo tanto fácil de replicar en países pobres o de bajo nivel de desarrollo industrial.

En Colombia, por ejemplo, durante el 2013 la industria textil y de confecciones se vio drásticamente afectada por el contrabando, el lavado, las masivas importaciones y el dólar barato (Revista Semana, 2013). Parte de la explicación del contrabando de este producto que ingresa al país viene del hecho de que cerca de 1 millón de personas trabajan en el sector (aproximadamente la mitad de manera informal) en actividades que tienen un relativo bajo nivel de sofisticación con un salario aproximado de 327 dólares. Sin embargo, la misma actividad (de bajo nivel de sofisticación) se puede realizar en México por 150 dólares, en Perú por 294, en China por 140, en Indonesia por 103 y en Pakistán por 82 dólares, por poner algunos ejemplos.

Es por este motivo que el proceso de transformación productiva está íntimamente relacionado con una clara comprensión de la estructura y la dinámica del espacio de producto y de la capacidad de las compañías de “saltar” en su interior. **Es en este punto en donde se conectan la transformación productiva, el cierre de la brecha de la productividad y la inversión en I+D.** Entre más innovación y valor agregado un producto contenga, mayor será la productividad necesaria para producirlo en términos laborales y de capital. Este proceso implica igualmente un proceso de inmersión asistida en las cadenas globales de valor.

Cadenas Globales de Valor

Las Cadenas Globales de Valor (CGV) son las cadenas de valor generadas a través de la interacción entre diferentes países para poner un producto en el mercado global. Este es un fenómeno mundial que surge gracias a las oportunidades que los gobiernos en diferentes países ofrecen y a las condiciones laborales, tecnológicas y estructurales que facilitan la producción de un producto en un país o en otro. En este sentido, es necesario entender que, si bien es una tendencia que se ha venido llevando a cabo durante las últimas décadas, será un factor determinante en las economías que ofrezcan mayor valor agregado al producto en su proceso de producción.

Las CGV en los países en desarrollo pueden desempeñar un papel importante en su crecimiento y desarrollo económico. El valor agregado que genera el comercio en países en desarrollo “contribuye, en promedio, con aproximadamente el 28% del PIB, en comparación con el 18% para

los países desarrollados”. Al mismo tiempo, “economías con una participación creciente en las CGV tienen un crecimiento de su PIB per cápita de cerca de 2 puntos porcentuales por encima del promedio” (Ferrando, 2013).

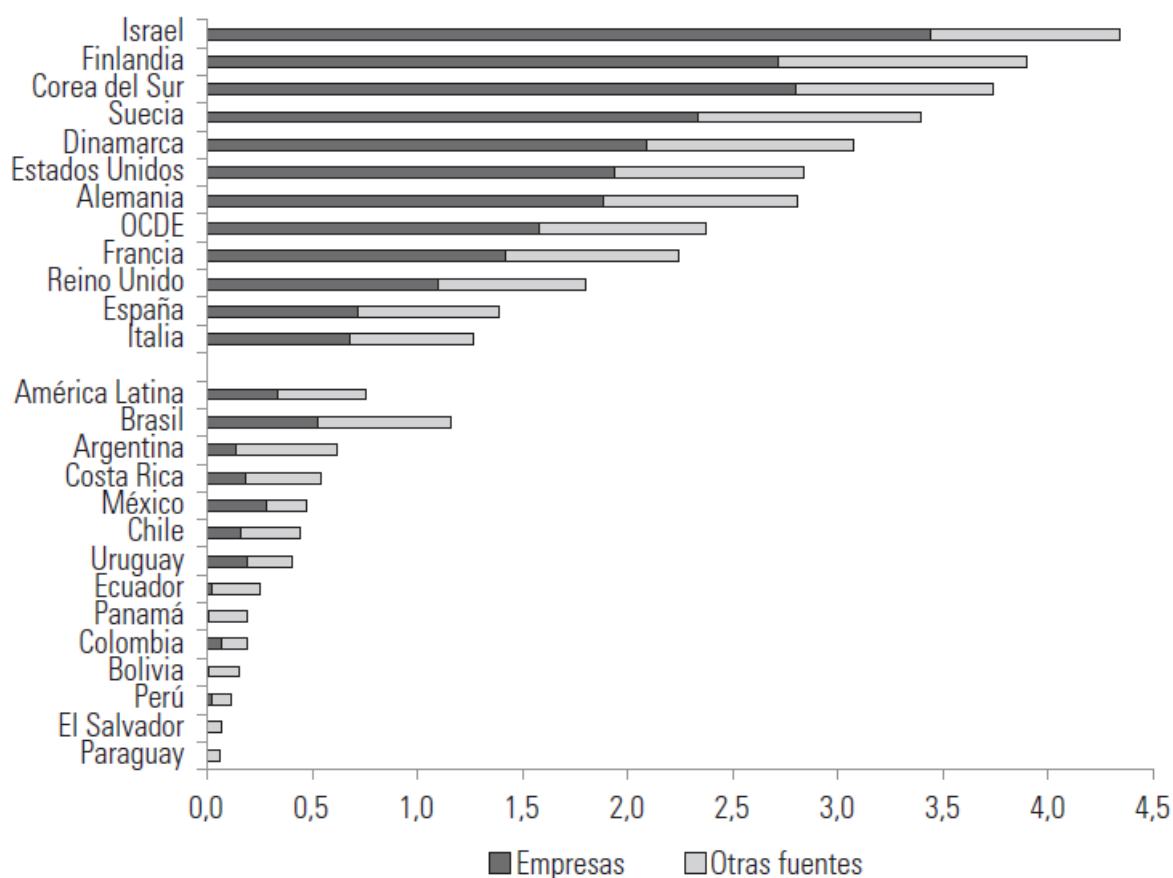
El hecho de transformar la productividad de una compañía y sofisticar sus productos implica una reestructuración en su cadena de valor y por lo tanto una necesidad de apertura de su mercado al contexto global. Es así como se pasa de producir, por ejemplo, “juguetes de plástico” como pelotas o muñecos para niños (de baja sofisticación y limitados a la demanda local) a producir “juguetes de plástico” como computadores o celulares (de alta sofisticación y demanda internacional). El desarrollo de productos sofisticados implica igualmente un sistema de proveedores internacionales especializados en materia prima para determinados productos e innovación.

Innovación

La innovación se puede definir como la implementación de productos, procesos, servicios o modelos organizacionales nuevos o significativamente mejorados (OCDE, 2005). Como tal, la innovación implica una mejora tecnológica al tiempo que implica cambios en modelos organizacionales y de mercadeo. La innovación abarca también desde pequeños cambios hasta avances radicales. “Es evidente que la innovación es un concepto sumamente subjetivo, ya que cada cual puede tener una idea muy diferente de cuán novedoso un nuevo artefacto o un proceso puede ser” (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

Sin embargo, a partir de Griliches (1979) y Smith (2006) ha sido posible ofrecer un cuadro relativamente integral acerca del proceso de innovación de una empresa. Al igual que la producción de bienes, la producción de ideas puede explicarse mediante una función de producción de conocimiento (Griliches, 1979). En este caso la innovación es el resultado de las inversiones de la empresa en I+D y del acervo del conocimiento previamente existente; además de inversiones en capital humano, en capacitación, en maquinaria, en licencias y en software, entre otros. Entre las aproximaciones a los resultados de la innovación se incluyen: los índices de productividad, el número de patentes y otros derechos de propiedad intelectual, las publicaciones científicas y las cifras de innovaciones recopiladas a partir de encuestas sobre innovación aplicada directamente a empresas (Smith, 2006).

Gráfico 6. Gastos en I+D como porcentaje del PIB y la fuente de financiamiento. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)



Fuente: OCDE (2010); RICYT (2013).

El Gráfico 6 evalúa el desempeño de América Latina y el Caribe respecto a países desarrollados en relación a un insumo de la innovación: el gasto en I+D como porcentaje del PIB. En cuanto a los gastos en I+D se puede evidenciar una inversión significativamente menor de países de América Latina y el Caribe frente a países desarrollados. Adicionalmente, los países con los mejores resultados del mundo son precisamente aquellos que han logrado converger con otros países desarrollados a lo largo de los últimos 20 o 30 años: Israel (4,3%), Finlandia (3,9%) y Corea del Sur (3,7%). Finalmente, en promedio, la I+D en países desarrollados es financiada en su mayoría por el sector privado (60%) mientras que la proporción en América Latina es inferior (35%) (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).²

Aun cuando en América Latina el sector público es el que más invierte en investigación y desarrollo, se enfoca en la investigación básica en lugar de hacerlo en la actividad productiva. “La actividad se concentra en universidades y centros de investigación públicos que, con valiosas

² Para mayor información sobre las comparación en innovación de América Latina respecto a economías desarrolladas se remite al lector al Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7 además de la lectura de (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)

excepciones, tienen poca influencia en la innovación productiva y resultados científicos insatisfactorios para los estándares internacionales” (Pagés, 2010). Según el profesor Marco Zago, de la Universidad de Sao Paulo, “América Latina y el Caribe aportan menos del 3 por ciento de la inversión global en investigación y desarrollo, mientras que Estados Unidos aporta un 34 por ciento y Europa un 25 por ciento” (Villarreal, 2014).

Otra de las formas de medir la innovación en una economía es a través de las patentes por millón de habitantes. En este sentido, países de América Latina y el Caribe datan de 40 patentes por millón de personas como Costa Rica mientras que Bolivia y Paraguay registran un valor de 0,7. Países vecinos como Colombia, Ecuador y Venezuela registran datos de 3,4, 3,5 y 8 respectivamente existiendo una brecha relativamente grande respecto a Costa Rica³ (Arias & Martínez Anaya, 2014).

Prueba de los esfuerzos en innovación está, por ejemplo, la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay en la Ciudad del Conocimiento en Ecuador. “El eje principal de este nuevo polo tecnológico de Latinoamérica es apoyar la transformación de la matriz productiva de Ecuador mediante la investigación aplicada, el desarrollo del talento humano y la generación de redes nacionales e internacionales de conocimiento” (Zúñiga, 2014).

Análogamente, Francia además de ser el primer país de la OCDE en términos de incentivos fiscales y ayudas públicas a la Investigación y Desarrollo (I+D) privada, beneficia a más de 18.000 empresas con el *Crédit d’Impôt Recherche* (CIR), incluso a unas 2.000 empresas extranjeras con sede en Francia. El CIR es una herramienta fiscal declarativa y opcional que fomenta el crecimiento de empresas que decidan invertir en investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. Dispone de un presupuesto de 5 billones de euros (Global Approach Consulting, 2014).

Una posible consecuencia de haber utilizado esta herramienta política económica es el hecho que Francia tiene la productividad más alta de los principales países de la Unión Europea, cuenta con el número de horas trabajadas más elevado de las 3 principales economías europeas y es el segundo país de Europa en número de licenciados en ciencia y tecnología (République Française Le Gouvernement, 2014).

Durante el 2014, la OCDE envió una serie de mensajes claves para Colombia en materia de políticas de innovación: “Colombia tiene un fuerte imperativo de innovar”, “se presenta una oportunidad única para la acción eficaz”, “es necesario situar el sector empresarial en el centro del sistema de innovación”, “la inversión en recursos humanos para la innovación es clave”, “se debe fortalecer el papel de las universidades y los institutos de investigación pública”, “se deben adaptar la gobernanza y la combinación de políticas” (OCDE, 2014).

³ Para mayor información sobre la innovación en América Latina se remite al lector al Anexo 4. Indicadores de Innovación en América Latina. Fuente: (Arias & Martínez Anaya, 2014).

Resulta evidente que para fomentar una transformación productiva, es indispensable la innovación en los grandes actores del aparato productivo. “Si bien todas las empresas de las economías en desarrollo invierten pocos recursos en investigación y desarrollo en comparación con las compañías de las economías desarrolladas, es aún menos probable que sean las pequeñas empresas las que se decidan a innovar, en relación con las más grandes. Las grandes compañías pueden distribuir los elevados costos fijos de la innovación en un volumen mayor de ventas, y tienen mejor acceso a los servicios financieros, a la tecnología, a los servicios de consultoría y a los mercados de capital humano especializado” (Pagés, 2010).

La inversión de las empresas latinoamericanas en innovación representa solo un 0.5% de los ingresos brutos, frente al 2% en los países de la OCDE. De hecho, la evidencia en el caso de Estados Unidos muestra que la inversión en I+D explica alrededor del 40% del aumento de la productividad observado desde la Segunda Guerra Mundial (Reikard, 2011).

Tabla 1. Inversión en Ciencia, Tecnología e Innovación como porcentaje del PIB. 2003-2011. Fuente: (OCyT, 2013)

País-región / Country-region	Año								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Argentina	0,46%	0,49%	0,53%	0,58%	0,61%	0,61%	0,67%	0,70%	0,73%
Brasil	1,26%	1,24%	1,27%	1,29%	1,40%	1,45%	1,63%	1,62%	1,64%
Canadá ¹	1,98%	2,01%	1,99%	1,96%	1,92%	1,87%	1,89%	1,81%	1,70%
Chile ¹	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,33%	0,39%	0,44%	0,45%	n.d.
Colombia	0,41%	0,44%	0,47%	0,42%	0,48%	0,51%	0,48%	0,50%	0,51%
Costa Rica	0,84%	1,00%	n.d.	1,33%	1,33%	1,39%	1,97%	1,86%	1,77%
Cuba	0,94%	0,93%	0,84%	0,69%	0,72%	0,83%	1,02%	1,01%	0,45%
Ecuador	0,18%	n.d.	n.d.	0,20%	0,23%	0,38%	n.d.	n.d.	n.d.
España ¹	1,05%	1,06%	1,12%	1,20%	1,27%	1,35%	1,39%	1,39%	1,33%
Estados Unidos ¹	2,63%	2,57%	2,59%	2,64%	2,71%	2,85%	2,90%	2,81%	2,84%
México	n.d.	0,75%	0,80%	0,78%	0,81%	0,81%	0,82%	0,82%	n.d.
Panamá	0,74%	0,90%	0,70%	0,68%	0,51%	0,50%	0,50%	0,47%	n.d.
Portugal ¹	0,71%	0,74%	0,78%	0,99%	1,17%	1,50%	1,64%	1,59%	1,52%
Trinidad y Tobago	0,23%	0,21%	0,19%	0,12%	0,10%	0,08%	0,15%	0,13%	0,12%
Uruguay	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,54%	0,52%	0,79%	1,01%	0,83%
Venezuela	0,31%	0,25%	0,35%	1,78%	2,69%	2,54%	2,36%	n.d.	n.d.
América Latina y el Caribe Latin America and the Caribbean	0,69%	0,67%	0,72%	0,81%	0,94%	1,01%	1,11%	1,11%	1,09%

Fuentes: Para Colombia OCyT, para México cuentas nacionales de CyT, para el resto de países RICyT

Cálculos: OCyT

¹ Hace referencia solo a I+D.

“Las empresas latinoamericanas dedican la mayor parte de los recursos que invierten en innovación a asimilar la tecnología en forma de equipo y maquinaria nuevos, mientras que los países desarrollados invierten sobre todo en investigación y desarrollo. Lamentablemente, el rendimiento a largo plazo de esta inversión en innovación es reducido debido a la capacidad limitada de las empresas para asimilar la tecnología importada. La inversión en innovación como porcentaje de las ventas es más alta en empresas con buen acceso al financiamiento, una protección eficaz de la propiedad intelectual, y cooperación tecnológica con sus clientes,

proveedores o entidades que intervienen en la transmisión del conocimiento aplicado” (Pagés, 2010).

Articulando actores

El motivo de resaltar a los siguientes actores (algunos potenciales) del aparato productivo, más allá de resaltar los valiosos esfuerzos individuales de cada uno (a través de iniciativas y políticas), es el de destacar la necesidad de realizar trabajos conjuntos y coordinados enfocados en la verdadera transformación productiva. “Desde la extracción de recursos naturales hasta la prestación de servicios médicos, todo depende de los esfuerzos coordinados de personas, empresas e instituciones en los sectores privado y público” (Pagés, 2010).

“En sintonía con las tendencias de los países desarrollados, los subsidios en América Latina se han centrado cada vez más en fomentar la colaboración entre los diferentes actores en el sistema de innovación. De hecho, los países se están desplazando progresivamente del apoyo a proyectos de innovación empresarial individual al respaldo de proyectos que implican una interacción universidad-industria, y hacia programas más integrales que abarcan a sectores enteros, tales como los consorcios tecnológicos” (Álvarez, Crespi, & Cuevas, 2012).

Programa de Transformación Productiva

En respuesta a las falencias en el sistema productivo colombiano, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo colombiano creó en el 2007 el Programa de Transformación Productiva (PTP). Este es un programa del Gobierno Nacional para “transformar a la industria colombiana e impulsar el desarrollo de las empresas de 20 sectores estratégicos de la economía nacional, para que compitan y crezcan. [...] El PTP propone una respuesta contundente del Estado para que las empresas aprovechen sus oportunidades para competir y crecer. Esto se logra **promoviendo un diálogo permanente con los empresarios, sus gremios y con las entidades de gobierno de todas las regiones del país**”. (Programa de Transformación Productiva, 2014).

Luego de diferentes procesos a través de la Red Colombia Compite, los convenios de cadena y el Consejo Nacional de Cadena (productividad), en 2011 se estipuló que la administración de dicho programa sería llevada a través del Banco de Comercio Exterior S.A. (Bancoldex); asignado por el artículo 50 de la ley 1450 de 2011 (Congreso de Colombia, 2011). La misión del PTP es “*fomentar el crecimiento sostenible en la economía y el empleo y busca además desarrollar sectores altamente competitivos y generadores de valor agregado; [...] igualmente busca la internacionalización de la economía colombiana a través de la modernización y transformación del aparato productivo*” para lograr que las ganancias potenciales de los Tratados de Libre Comercio se materialicen y tengan impacto en el crecimiento económico y la generación de empleo del país (CONPES, 2010).

El PTP tiene dos ejes fundamentales:

- a. “Impulsar el desarrollo de sectores nuevos y emergentes de clase mundial: estos sectores tienen alto potencial de crecimiento, una creciente demanda en mercados mundiales y son intensivos en tecnología y conocimiento.

- b. Estimular la producción de más y mejor de lo bueno, bajo estándares de clase mundial: consiste en una transformación dentro de los sectores ya establecidos, agregando valor e innovación” (Revista Dinero, 2008).

Para este programa se seleccionaron diversos sectores —algunos de ellos emergentes, otros más tradicionales— con el objetivo de convertirlos en sectores de clase mundial en un plazo relativamente corto. Los sectores fueron escogidos mediante una metodología propuesta por McKinsey, la firma de consultoría internacional contratada por el Gobierno Nacional.

Los 20 sectores productivos en los que el PTP se especializa son (PTP, 2014):

Manufacturas: 1. Cosméticos y artículos de aseo. 2. Editorial e industrial de la comunicación gráfica. 3. Industria de autopartes y vehículos. 4. Textiles y confecciones (Hace parte del sistema Moda). 5. Cuero, calzado y marroquinería (Hace parte del Sistema Moda). 6. Siderúrgico. 7. Metalmecánico. 8. Astillero.

Agroindustria: 9. Hortofrutícola. 10. Chocolatería, confitería y sus materias primas. 11. Acuícola. 12. Carne bovina. 13. Lácteo. 14. Palma, aceites, grasas vegetales y sus biocombustibles. 15. Energía eléctrica, bienes y servicios conexos.

Servicios: 16. Software & TI. 17. Tercerización de procesos de negocio BPO&O. 18. Turismo de Salud. 19. Turismo de bienestar. 20. Turismo de Naturaleza.

En cada uno de estos sectores, “se estructuró una colaboración público-privada para identificar los obstáculos, los bienes públicos necesarios y los problemas de coordinación y producir un plan de acción para resolverlos, con la ayuda de una firma de consultoría internacional. Sin embargo, las reglas del programa delimitan con claridad la naturaleza de las conversaciones que pueden tener lugar en el diálogo a nivel de sector: no se puede discutir sobre subsidios, protección u otras intervenciones de mercado. Si bien se ha obtenido un éxito parcial en algunos sectores (por ejemplo, el de cosmética), los críticos sostienen que el punto flaco del programa tiene que ver con las fallas de coordinación público-privada. Más concretamente, los líderes públicos de los clústeres, que supuestamente deben articular las necesidades del sector en el resto del sector público, suelen carecer de la autoridad o del respaldo necesario para conseguir la colaboración de los organismos públicos responsables de proveer lo necesario” (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

Otra de las falencias identificadas durante la investigación para este trabajo de tesis sobre el impacto de este programa gubernamental, además de la citada previamente, es la carencia de un foco estratégico. Cuando se habla de un programa diseñado para “mejorar”, “acelerar”, “fomentar” y “modernizar” se cae en el error de dejar el desempeño a la subjetividad. El hecho de declarar oficialmente que “la Transformación Productiva es un proceso que permite a los empresarios obtener resultados extraordinarios a partir de pensar diferente y actuar diferente” resulta una mirada subjetiva y *light* del problema abordado. Más aún cuando se argumenta que

“este proceso – la transformación productiva – no tiene fin, porque el país requiere estar en constante crecimiento de su economía y empleo” (PTP, 2014).

Una de las razones para profundizar en términos de la productividad – y más específicamente en términos de la *brecha de productividad* y en términos de baja inversión en I+D – es la de proporcionar un foco estratégico a la necesidad de una verdadera transformación productiva. No es lo mismo plantear que se planea “mejorar” la productividad de una economía – dejando a la subjetividad de mejorar tan solo 2% o 3% al pasar de 25% a 27% en productividad – a decir que se visiona “**cerrar la brecha de la productividad**” (cerrando una brecha que objetivamente es del 75% u 80% con respecto a Estados Unidos).

Más aún, los esfuerzos individuales de esta entidad no están alineados con la obtención de beneficios tributarios asociados a la inversión en I+D a través de grupos de investigación (ver Beneficios tributarios para inversión en I+D en Colombia) y, al mismo tiempo, propone una metodología estructurada, pero insostenible para las empresas.

La convocatoria 483 del PTP, por ejemplo, “busca identificar oportunidades de mejora e implementar herramientas que incrementen el desempeño de las empresas seleccionadas; con el acompañamiento de un experto en productividad”. En la convocatoria se propone la intervención de un consultor externo “experto en productividad” por empresa quien lleve a cabo el proceso de consultoría en tres fases: diagnóstico de la empresa⁴, diseño de plan de mejora e implementación de una acción de mejora⁵.

Este proceso consume 80 horas de consultoría contratada, que cuestan en total \$18.580.667 por empresa: ésta debe aportar el 40% y el PTP aporta el 60% restante. Es decir, cada hora de consultoría cuesta, en promedio, **\$232.258 COP**. Esa inversión en dinero y en tiempo no garantiza un resultado tangible más allá de la “implementación de por lo menos una (1) acción de mejora” (PTP, 2013).

Tal proceso resulta insostenible porque todo el capital invertido en consultoría puede apenas “mejorar” la empresa en unos cuantos aspectos pero no garantiza una verdadera transformación productiva o cierre de la brecha de productividad. Al mismo tiempo, a tal costo, **no es posible para una empresa pequeña o mediana pagar por las horas de consultoría experta necesarias para estructurar, encontrar financiación y ejecutar un proyecto de transformación productiva** (Winch & Arthur, 2002).

Beneficios tributarios para inversión en I+D en Colombia

Desde hace más de 20 años, el Gobierno Nacional colombiano ha buscado fomentar la inversión privada en actividades científicas y tecnológicas, mediante incentivos tributarios. Estos consisten

⁴ Algunas de las herramientas de productividad propuestas por la convocatoria son Toyota Production System, Lean Manufacturing, Six sigma, 5S, Tool Management, Kanban y el Diamante competitivo de la innovación

⁵ De nuevo la palabra “mejora” sin tener un foco estratégico.

en conceder un cupo de deducibilidad para el impuesto de renta cuando el proyecto de inversión en I+D que presenta una empresa es “calificado” frente a unos criterios técnicos exigentes.

El artículo 6 de la ley 29 de 1990 habla sobre el “otorgamiento de exenciones, descuentos tributarios y demás ventajas de orden fiscal reconocidos por la ley para fomentar las actividades científicas y tecnológicas” (Congreso de Colombia, 1990) y el requerimiento de *calificación* del Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales Francisco José de Caldas, Colciencias.

“Aunque el objetivo central de los incentivos fiscales es reducir el costo del capital para emprender inversiones en innovación, también pueden utilizarse para estimular la colaboración con otros actores en el sistema de innovación, como centros de investigación, institutos tecnológicos o firmas” (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

A partir de la Ley 633 de 2000 se modificó el artículo 158-1 del Estatuto Tributario manifestando que “las personas que realicen inversiones directamente o a través de Centros de Investigación, Centros de Desarrollo Tecnológico, constituidos como entidades sin ánimo de lucro, o Centros y Grupos de Investigación de Instituciones de Educación Superior, reconocidos por Colciencias, en proyectos calificados como de carácter científico, tecnológico o de innovación tecnológica, [...] tendrán derecho a deducir de su renta el ciento veinticinco por ciento (125%) del valor invertido en el período gravable en que se realizó la inversión. [...] Esta deducción no podrá exceder del veinte por ciento (20%) de la renta líquida, determinada antes de restar el valor de la inversión.”⁶ (Congreso de Colombia, 2000). En consecuencia fue necesario la implementación, al interior de Colciencias, de un consejo que gestionara estos procedimientos.

El Consejo Nacional de Beneficios Tributarios (CNBT) en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) fue creado a partir del artículo 31 de la Ley 1286 de 2009. Este consejo está integrado por el director(a) de Colciencias, quien lo preside, por el Ministro de Hacienda y Crédito Público, o por el Director de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacional (DIAN) o su representante, el Ministro de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT) o su representante, el Director del Departamento Nacional de Planeación (DNP) o su representante y por dos (2) expertos en ciencia, tecnología e innovación, designados por el Director de Colciencias (Congreso de Colombia, 2011). La Ley 1607 de 2012 en su artículo 161 estableció que el CNBT también estaría integrado por el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) o su representante.

El CNBT asume “las funciones que en materia de beneficios tributarios ha venido ejerciendo el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología” (Congreso de Colombia, 2011). De acuerdo con los numerales 1 y 2 del artículo 3 del Decreto de 121 de 2014, “es función del Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en Ciencia, Tecnología e Innovación, definir los criterios y condiciones para

⁶ Para mayor información sobre la tipología de proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico se remite al lector al Anexo 8. Tipología.

calificar los proyectos como de Ciencia, Tecnología e Innovación, y fijar los procedimientos de control, seguimiento y evaluación de los proyectos calificados” (CNBT en CTI, 2014).

El 16 de Junio de 2011 entró en vigencia en Colombia la Ley 1450 de 2011, “por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014”. El artículo 36 de esta ley modificó el artículo 158-1 del Estatuto Tributario cambiando no solo los montos de deducción (aumentando el cupo de deducción de 125% a 175% y el tope de renta líquida de 20% a 40%), sino otros temas relacionados con los grupos de investigación y su vinculación con los proyectos de inversión en investigación científica y desarrollo tecnológico (Congreso de Colombia, 2011). En la ley se establece que las inversiones se realizarán *a través* de grupos de investigación – entre otros – dejando esta expresión sin una definición precisa sobre cómo se debe interpretar su participación en las fases de estructuración, financiación y ejecución.

La Ley 1450 de 2011 estipuló:

“Las personas que realicen inversiones en proyectos calificados como de investigación y desarrollo tecnológico, según los criterios y las condiciones definidas por el Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en Ciencia, Tecnología e Innovación tendrán derecho a deducir de su renta, el ciento setenta y cinco por ciento (175%) del valor invertido en dichos proyectos en el periodo gravable en que se realizó la inversión. Esta deducción no podrá exceder el cuarenta por ciento (40%) de la renta líquida, determinada antes de restar el valor de la inversión.

Tales inversiones serán realizadas a través de Investigadores, Grupos o Centros de Investigación, Desarrollo Tecnológico o Innovación o Unidades de Investigación, Desarrollo Tecnológico o Innovación de Empresas, registrados y reconocidos por Colciencias.

Los proyectos calificados como de investigación o desarrollo tecnológico previstos en el presente artículo incluyen además la vinculación de nuevo personal calificado y acreditado de nivel de formación técnica profesional, tecnológica, profesional, maestría o doctorado a Centros o Grupos de Investigación o Innovación, según los criterios y las condiciones definidas por el Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en Ciencia, Tecnología e Innovación”

Fragmento del artículo 36 de la Ley 1450 de 2011

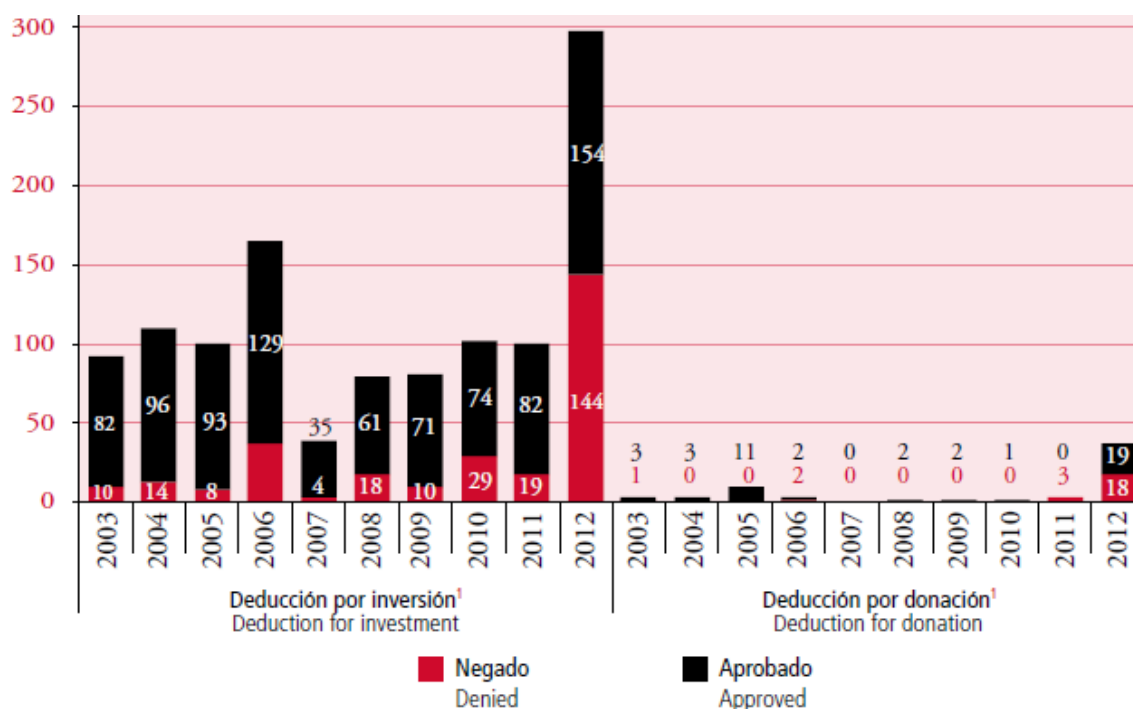
Ilustración 7. Clasificación de proyectos de investigación o desarrollo tecnológico. Fuente: (CNBT. A1, 2011)



El Capítulo 1 del Acuerdo 9 de 2014 del CNBT precisó el significado del término “a través”: “Investigadores, grupos de investigación; centros de investigación o de desarrollo tecnológico; unidades de investigación, desarrollo tecnológico o innovación de empresas, registrados y reconocidos por COLCIENCIAS, cuando hay co-ejecución en el proyecto, o, cuando tales personas o entidades participan directamente en el diseño, control, y supervisión técnica y financiera de la ejecución del proyecto” (CNBT en CTI, 2014). En este sentido, los actores en la investigación (investigadores, grupos o centros de investigación, etcétera) deberán ser los interventores (supervisores) y/o coejecutores (ejecutores simultáneos) de dichos proyectos para la aprobación y deducción por parte del CNBT.

Se resalta en el Gráfico 7 el crecimiento significativo que tuvo la presentación de proyectos y la utilización efectiva de estos beneficios tributarios durante el año 2012 con respecto a los demás años bajo la modalidad de ventanilla y de convocatoria (explicados más adelante). En términos de la deducción por inversión, se pasó de recibir 101 proyectos en 2011 a 298 en 2012. De manera similar, el crecimiento en solicitudes por donación fue significativamente superior a la de años previos. Mientras que en 2011 se presentaron y rechazaron 3 proyectos, en 2012 se presentaron 37 proyectos y se rechazaron 18.

Gráfico 7. Solicitudes para incentivos tributarios, 2003 - 2012. Fuente: (OCyT, 2013)



La recepción de proyectos se gestiona mediante dos modalidades: “convocatoria” y “ventanilla”:

- La convocatoria consiste en estipular unos plazos para la publicación de proyectos ante Colciencias para – una vez se cierre el plazo – comenzar con el proceso de calificación.
- La modalidad de ventanilla consiste en recibir proyectos sin fecha de cierre de recepción, lo que limita la calificación simultánea de proyectos.

Si bien antes del 2011 la mayoría de proyectos se gestionaban por ventanilla, la modalidad de convocatoria ha comenzado a adquirir mayor relevancia por la posibilidad de calificar simultáneamente los proyectos y a su vez por la intención de una distribución equitativa y simultánea de los recursos hacia las solicitudes.

Desde el 2000, con la Ley 633, la recepción de proyectos mediante ventanilla ha sido controlada a través de un par calificador experto, compuesto por un científico investigador y un empresario. Luego de pasar por este par, el proyecto pasa a un *panel*: comité especializado en calificar el proyecto mediante consejeros en Ciencia y Tecnología y/o delegados del CNBT. Una vez el proyecto pasa a través de este filtro, su proceso culmina en el CNBT quien es el que aprueba/desaprueba la deducción a través de beneficios tributarios.

Cuando se llevan a cabo proyectos por convocatoria, cada uno es evaluado por el *par experto* y luego todos son llevados, al mismo tiempo, a un panel de expertos empresarios e investigadores (paso adicional) quienes aprueban o reprueban simultáneamente los proyectos en la

convocatoria. Luego este conglomerado de proyectos pasa por un Pre-Consejo constituido por consejeros en Ciencia y Tecnología y delegados del CNBT. Finalmente, pasa al CNBT quien es el que toma la decisión final sobre qué proyectos y cuánto monto se aprueba.

Esta nueva migración en procedimiento no solo permite un mayor orden en gestión y calificación de proyectos sino que también asegura que los recursos asignados cada año sean destinados equilibradamente en sectores claves de la industria, sin importar el orden en el que fueron presentados.

Tabla 2. Número de solicitudes, montos y proporciones de proyectos presentados por deducción. Fuente: (Colciencias, 2014)

DEDUCCIONES				
AÑO	2010	2011	2012	2013
Número de solicitudes aprobadas	75	81	176	118
Número de solicitudes presentadas	104	100	340	231
Proporción de número de proyectos aprobados sobre los presentados	72,12%	81,00%	51,76%	51,08%
Monto total de solicitudes aprobadas (en millones de COP)	\$235.976	\$241.787	\$334.800	\$159.837
Monto total de solicitudes presentadas (en millones de COP)	\$350.716	\$301.083	\$513.634	\$864.264
Proporción de monto aprobado de proyectos sobre los montos solicitados	67,28%	80,31%	65,18%	18,49%
Monto Promedio de Proyecto Aprobado (en millones de COP)	\$3.146	\$2.985	\$1.902	\$1.355
Monto Promedio de Proyecto Presentado (en millones de COP)	\$3.372	\$3.011	\$1.511	\$3.741

La Tabla 2 presenta un resumen del número de proyectos y los montos presentados y aprobados por el CNBT desde el 2010 hasta el 2013. Las cantidades y montos presentados han ido aumentando con el pasar de los años y en proporción cada vez es menor el valor promedio aprobado de los proyectos. Es decir, si bien las solicitudes aprobadas en 2010 fueron de 75, en 2011 de 81, en 2012 de 176 y en 2013 de 118, en promedio cada año se fueron aprobando proyectos con montos cada vez menores. El valor promedio por proyecto en 2010 fue de 3.146 mil millones, en 2011 de 2.985 mil millones, en 2012 de 1.902 mil millones y en 2011 de 1.355 mil millones. Esto genera un indicio que cada vez se aprueban en promedio proyectos con montos cercanos al millón de dólares (2 mil millones de COP aproximadamente).

Así mismo, el cupo definido del que dispone el CNBT para realizar la deducción en proyectos ha sufrido dos cambios significativos. Una vez comenzó a regir la ley 1450 en 2011, el CNBT estableció a través de su Acuerdo 4 de 2011 que el “valor base de inversiones o donaciones con derecho a

deducción, para dichos proyectos” iba a ser de \$1.000.000.000.000 (es decir, 1 billón de pesos o un millón de millones de pesos). Este valor base dejó un monto total de deducción en proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico igual a \$1.750.000.000.000 correspondiente al 175% de deducción establecido por la ley (CNBT. A4, 2011). Esta norma rigió durante los siguientes dos años deduciendo \$334.800 millones de los \$513.634 millones solicitados en 2012. Para 2013, el monto en deducción solicitado fue de \$864.264 y, sin embargo, el valor aprobado fue de \$159.837.

Dada esta situación, el CNBT tomó la determinación de reducir el monto base máximo de deducción a la mitad a través de su Acuerdo 8 de 2014. Es decir, para el año gravable 2014, el monto total de deducción fue de \$875 miles de millones COP el cual corresponde a un valor base de inversiones o donaciones con derecho a deducción por un valor de \$500 miles de millones o medio billón de pesos (CNBT. A8, 2014). **Esta reducción en el monto total abre el debate de si se están aprovechando adecuadamente los beneficios tributarios pero sobre de cómo aprovecharlos al máximo.**

En este contexto, los beneficios tributarios son una iniciativa importante para fomentar una transformación productiva de las pymes colombianas. La distribución de recursos en beneficios tributarios cada año se realiza por tamaño de empresas. Las empresas clasificadas como grandes tendrán a disposición el 50% del cupo para deducciones colocado a disposición por el CNBT en CTI. Las empresas medianas tendrán el 25%, las pequeñas el 20% y las microempresas tendrán acceso al 5%. Sin embargo, “en el evento que el cupo solicitado por la micro, pequeña o mediana empresa supere el porcentaje establecido [...], dicho porcentaje se acrecentará disminuyendo el porcentaje asignado a las categorías superiores” (CNBT en CTI, 2014). Lo anterior significa que si las pymes requieren mayor disponibilidad de recursos les será suplida a partir de la disponibilidad de recursos de las empresas grandes fomentando así el crecimiento del sector pyme a través de proyectos de investigación científica o desarrollo tecnológico.

Aun así, la gran proporción de proyectos de Investigación y Desarrollo que llegan al CNBT son proyectos de grandes empresas con relativo fácil acceso a grupos de investigación. Para el año 2014, de los 22 proyectos de inversión aceptados por convocatoria para beneficios tributarios (Arias P. M., 2014), la mayoría son de empresas que están dentro del ranking de las 100 empresas más grandes de Colombia según la Revista Semana (Revista Semana, 2014). Entre estas están Ecopetrol S.A. (13 proyectos, ranking 1), Meta Petroleum (1 proyecto, ranking 7), Codensa S.A. (1 proyecto, ranking 18), Sociedad de Fabricación de Automotores S.A. Sofasa (1 proyecto, ranking 27) y Mexichem Resinas Colombia S.A.S. (1 proyecto, ranking 80).

Por ejemplo, Ecopetrol controla al Instituto Colombiano del Petróleo — centro de investigación y desarrollo para la industria petrolera creado en 1985 (Ecopetrol S.A., 2014) — con gran experiencia en la estructuración y en la ejecución de proyectos en I+D; lo que resulta evidente al observar el número de proyectos presentados y aprobados. Otras grandes compañías tienen a su disposición unidades de I+D especializadas en la estructuración de este tipo de proyectos y sin embargo todavía el número de proyectos presentados y aprobados resulta muy bajo. Según el

Observatorio Nacional de Ciencia y Tecnología (OCyT, 2013), de los 4,193 grupos de investigación activos en Colombia durante el 2012, solo el 1.2% (50 grupos) provenían de empresas privadas.

En el caso de las pymes, la situación es más compleja. A pesar de que la ley está a favor de proyectos de pymes para acceder a la deducción tributaria, estas por lo general no tienen quien les estructure, supervise o co-ejecute un proyecto de I+D a través de un grupo de investigación (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014). Generalmente los gerentes ejecutivos o subgerentes de planeación consagran la mayor parte de sus esfuerzos a la gestión diaria en tareas operativas o de coordinación. No tendrían la disposición de dedicar 2 o 3 meses a la estructuración de un proyecto de I+D, no disponen de una unidad operacional que los apoye en esa labor, y su formación profesional con frecuencia no corresponde al tipo de capital humano idóneo para ello (Pagés, 2010). En resumen, **no hay quien estructure los proyectos para empresas con acceso restringido a grupos de investigación.**

Jóvenes profesionales

Los profesionales jóvenes juegan un rol fundamental en el diseño y en el desarrollo de esta propuesta metodológica de tesis. Motivos de orden empírico y teórico soportan esta posición. Por ejemplo, Este subconjunto de la población, es considerado como capital humano calificado pero inexperto por su nula o limitada cantidad de años de experiencia laboral; producto de un viejo prejuicio de la era industrial (Gaitán Villegas, 2014).

Pero paradójicamente posee competencias y habilidades relevantes para el desarrollo de proyectos de I+D, completamente desaprovechadas. Al ser relegados a actividades puramente operativas durante los primeros años de su actividad profesional, se está agudizando la brecha de la PTF frente a países desarrollados que sí los aprovechan en procesos altamente intensivos en conocimientos avanzados y en tecnologías para la investigación aplicada, el desarrollo experimental y el desarrollo tecnológico.

La tasa de desempleo de jóvenes en Colombia fue de 16.6% durante el 2013 frente a 9,6% del total de desempleados en Colombia, 13,6% en jóvenes en América Latina y el Caribe y 13,1% en todo el mundo para el mismo periodo (Fedesarrollo & ACRIP, 2014). En esencia, los beneficios de trabajar con jóvenes profesionales (algunos intangibles y relativos) son: mano de obra económica (Prieto, 2014), con conocimiento teórico profesional (recién egresados), globalizada (gracias al internet), entusiasta y propositiva.

En “La Quinta Disciplina”, Peter Senge aporta elementos de prueba sobre el potencial de entusiasmo y la capacidad propositiva desaprovechados en los jóvenes: “Las personas ingresan en los negocios como individuos brillantes, cultos y entusiastas, rebosantes de energías y deseos de introducir cambios – dice Bill O’Brien, de Hanover Insurance –. Cuando llegan a los treinta años, algunos se concentran sólo en su propia promoción y los demás reservan su tiempo para hacer lo que les interesa en el fin de semana. Pierden el compromiso, el sentido de misión y el estímulo con que iniciaron su carrera. Aprovechamos muy poco de sus energías y casi nada de su espíritu” (Senge, 1990).

En consecuencia, una buena proporción de jóvenes opta por prolongar sus estudios superiores para acumular aún más conocimiento a través de actividades de investigación básica y aplicada. Decide aplazar su ingreso al mundo laboral, que tanto los necesita, pero que no sabe cómo aprovecharlos en forma realmente productiva.

Colciencias

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) fomenta la investigación científica y el desarrollo tecnológico a partir de convocatorias en investigación, innovación, internacionalización, apropiación social y becas. En este sentido, existe una beca llamada “jóvenes investigadores” que busca el **“fortalecimiento de las capacidades de los Grupos de Investigación de las entidades del SNCTI a través del apoyo a jóvenes investigadores”** y tiene un **presupuesto anual de 15,3 mil millones COP** (Colciencias, 2014). La Tabla 3 muestra parte de esta inversión en jóvenes según el área de la OCDE. Esta iniciativa tiene el potencial de respaldar proyectos de transformación productiva (en I+D) sostenibles a través del talento de los jóvenes en el campo “ingeniería y tecnología”.

Tabla 3. Jóvenes investigadores apoyados por Colciencias según área OCDE, 2003-2012. Fuente: (OCyT, 2013)

Área OCDE / OECD field	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Ciencias naturales y exactas Natural sciences	44	n.d.	n.d.	66	82	63	139	124	273	304	1.095
Ingeniería y tecnología Engineering and technology	84	n.d.	n.d.	84	136	59	124	194	224	346	1.251
Ciencias médicas y de la salud Medical and health sciences	33	n.d.	n.d.	6	27	24	188	178	113	188	757
Ciencias agrícolas Agricultural sciences	19	n.d.	n.d.	4	5	15	94	186	107	143	573
Ciencias sociales y humanidades Social sciences and humanities	36	n.d.	n.d.	47	94	77	219	269	283	130	1.155
Sin clasificar Unclassified	0	157	195	12	29	0	0	0	0	0	393
Total	216	157	195	219	373	238	764	951	1.000	1.111	5.224

Fuente: Colciencias

Cálculos: OCyT

* Para los años 2003 a 2007, las áreas OCDE se calcularon a partir de las profesiones de los beneficiarios. Desde el año 2008 a 2012 los datos se calculan a partir de la información registrada de propuestas presentadas por cada joven investigador. En 2012 se clasificaron de acuerdo del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología (PNCyT).

For 2003 to 2007 OECD fields were obtained from the profession of the beneficiaries. For 2008 - 2012, fields were established from the proposals presented by young researchers. In 2012, fields were classified by National Science and Technology Program (PNCyT).

AIASEC

Es necesario comenzar por organizar a los jóvenes profesionales en redes de colaboración, y luego, formarlos y prepararlos para trabajar en equipo. Existe una ONG de nivel global que asumió la misión de movilizar a jóvenes para trabajar en proyectos de desarrollo productivo y social a escala mundial. Esta ONG se llama AIASEC: liderada y auto-gestionada por jóvenes voluntarios, ha acumulado una amplia experiencia en el mercado de “intercambios”; es decir, de prácticas profesionales para recién egresados o para estudiantes próximos a graduarse.

Con más de 60 años de historia a nivel mundial, constituye una poderosa plataforma internacional que facilita a jóvenes talentos en más de 120 países entrar en contacto con empresas y otras organizaciones de diferentes partes del mundo con la intención de generar cambios culturales y de contribuir a la formación profesional de nuevos líderes en diferentes sectores. A nivel global, entre agosto de 2012 y julio de 2013 realizaron 26.281 intercambios (AIESEC International, 2013).

“AIESEC es una organización global, no política, independiente, sin fines de lucro dirigida por estudiantes graduados de instituciones de educación superior. Nuestros miembros están interesados en temas mundiales, liderazgo y gestión. AIESEC no discrimina por razones de raza, color, género, orientación sexual, credo, religión, origen nacional, étnico o social” (AIESEC en Colombia, 2014). La organización ofrece tres programas para los que enfoca a su membresía a trabajar: Profesional Global, Ciudadano Global y Familias Globales.

- El primero, *Profesional Global*, **busca fomentar el intercambio profesional a través de la consecución de empresas dispuestas a incluir talento humano extranjero en ellas** o a través de la consecución de talento humano nacional que busque realizar una pasantía en el exterior. Este programa para un joven interesado cuesta 1'002.560 COP⁷ e incluye un contrato laboral remunerado de 6 meses con una compañía en el exterior, un seminario de choque cultural y la asesoría y acompañamiento de la organización al entrenado.
- El segundo programa, *Ciudadano Global*, fomenta el intercambio de estudiantes enfocado a realizar un impacto social. En este sentido, se buscan organizaciones de índole social (como ONGs, fundaciones y colegios) en donde el extranjero procede a enseñar conocimientos en lenguaje, emprendimiento, sexualidad y matemáticas, entre muchos otros campos. Esto funciona igualmente para aquellos nacionales que quieran desarrollar y trabajar en proyectos sociales en el exterior. Este programa cuesta 708.400 COP e incluye el acompañamiento legal y personal al participante durante su intercambio.
- Finalmente, el programa *Familias Globales* consiste en buscar familias locales interesadas en vivir una experiencia internacional a través de brindar alojamiento gratuito al extranjero durante la duración del proyecto en el que trabaje en Colombia.

AIESEC funciona como un voluntariado altamente eficiente en donde los jóvenes desarrollan habilidades de gestión de proyectos, de planeación y en área como mercadeo, talento humano, ventas, relaciones públicas y comunicaciones a nivel empresarial y social promoviendo sus tres programas. Por lo tanto, el potencial ofrecido al desarrollo de proyectos sostenibles de transformación productiva es significativamente amplio, al considerar el entusiasmo, los bajos costos y el saber práctico-teórico de un talento joven de esta índole.

La estrategia vigente de AIESEC a nivel internacional es la de desarrollar el programa Profesional Global por lo que una metodología fomentadora de talento estaría alineada con los intereses de

⁷ Cifra que será útil durante el coste de la metodología

la organización y sería la apropiada para desarrollar el potencial joven colombiano en el ámbito profesional a través de intercambios.

Descoordinación institucional

Como lo resalta Rosario Córdoba, presidenta del Consejo Privado de Competitividad e Innovación, “si uno pudiera lograr canalizar todos los esfuerzos hacia un objetivo claro, el impacto que tendrían las organizaciones del sector privado sería mayor [...] El Estado puede hacer muchas cosas, pero si no es eficiente en la articulación y la coordinación, puede que todos los esfuerzos se pierdan y los resultados sean mínimos. Uno ve una serie de entidades haciendo la misma tarea” (Córdoba, 2014). Se trata de un problema clásico de coordinación y de optimización. En gran medida, se trata también de un problema de comunicación: **los mapas mentales de los diferentes actores con frecuencia impiden una articulación efectiva.**

Desde 2007, las autoridades colombianas están conscientes de la necesidad imperativa de hacer la Transformación Productiva: se han tomado medidas prudentes de carácter macroeconómico que hoy garantizan un entorno estable y próspero, se han implementado políticas de carácter sectorial — como el Programa de Transformación Productiva — o programas para estimular la innovación empresarial — como INNpulsa (INNpulsa, 2014), y se han implementado mecanismos de estímulos tributarios para la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) – a través del Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en Ciencia, Tecnología e Innovación y Colciencias. Los jóvenes, a su vez, tienen un potencial estructurador de proyectos y algunos están vinculados a grupos de investigación lo que les da una oportunidad laboral enorme para transformar el país.

Sin embargo, el costo de oportunidad de trabajar de manera descoordinada está siendo muy alto (sección Brecha de productividad). Una adecuada combinación de saberes (científico, tecnológico y empírico) facilitaría la articulación de las políticas públicas y sus herramientas (como incentivos tributarios, subsidios, transferencia tecnológica, entre otros) para generar nuevo conocimiento (investigación aplicada y desarrollo experimental) que permita estructurar a gran escala proyectos de inversión para los empresarios del sector productivo. Es preciso encontrar una forma de articular los actores del sistema productivo de manera inteligente; es decir, en función de sus propios mapas mentales y de sus propios intereses.

Metodología

El reto de articular actores y entablar un diálogo productivo mediante un lenguaje común con el empresario colombiano para abordar el proceso de la transformación productiva de su firma implica la utilización de métodos de modelación de sistemas dinámicos (sección La Ingeniería Industrial). La razón principal es la de encontrar maneras efectivas de comunicación mediante *modelos genéricos parametrizados para empresas* (Winch & Arthur, 2002) que pongan el lenguaje de la academia al mismo nivel del empresario e incentiven a este a invertir en innovación. De ahí que sea tan importante la utilización de beneficios tributarios y herramientas de generación de valor para mitigar el riesgo de modificar una compañía y, por el contrario, incite a la inversión en I+D.

Se presenta a continuación el diagrama causal de la metodología a través del software de simulación Vensim PLE. El objetivo de presentar este diagrama es el de mostrar cómo el problema de la inversión en I+D (y en consecuencia el de la brecha de la productividad) es un problema de *pensamiento operacional* (Olaya, 2012) que los métodos econométricos no han logrado resolver. El diagrama causal es:

Ilustración 8. Diagrama causal de inversión en I+D. Fuente: Autor.

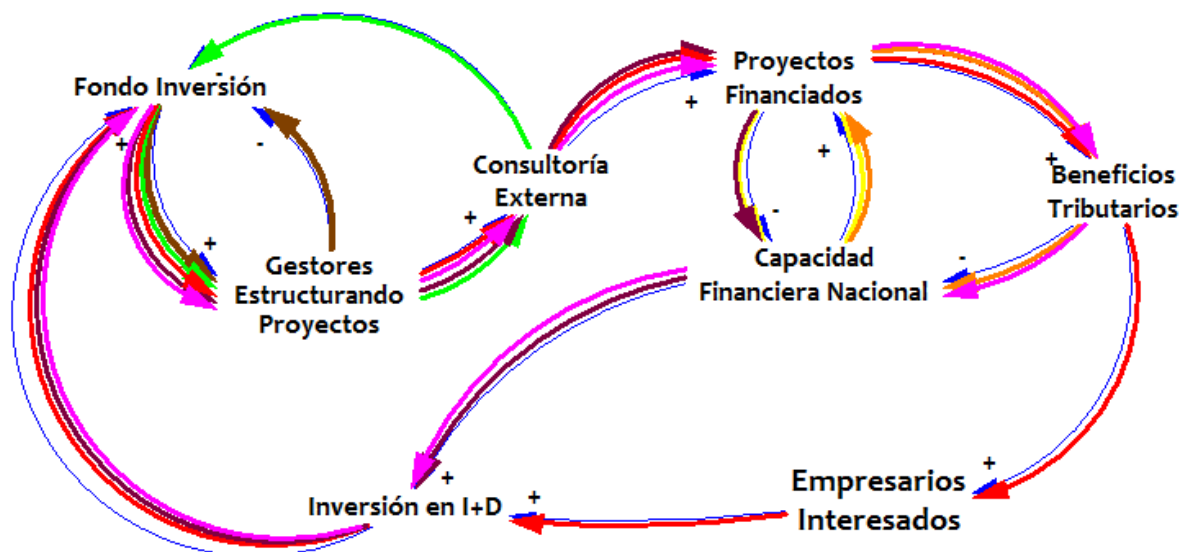
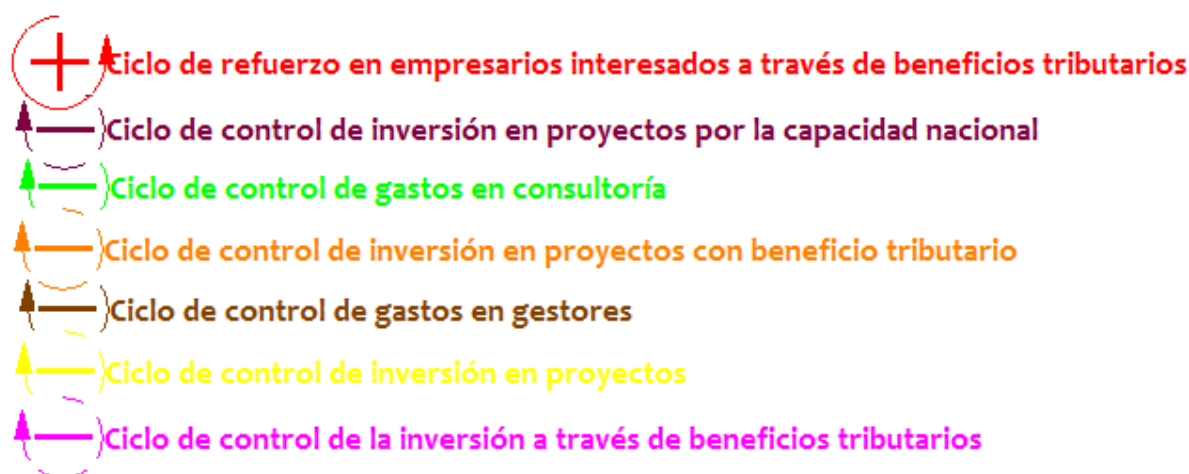


Ilustración 9. Ciclos identificados en el diagrama causal de inversión en I+D. Fuente Autor.



Más adelante en el documento se explicará a nivel de detalle cada una de las variables del diagrama causal. Por ahora, de manera general, se propone destinar un fondo de inversión de recursos para gestores⁸ de proyectos quienes en su momento estarán respaldados por consultores externos expertos en proyectos de inversión en I+D. Una vez que el proyecto está avalado por el consultor, pasa a una etapa de financiación en donde es presentado a través de beneficios tributarios y/o fondos de inversión de capital público y/o privados. Esto es lo que se denomina como “capacidad financiera nacional”. A mayor capacidad financiera nacional, mayor cantidad de proyectos financiados y en consecuencia esto disminuye la capacidad financiera (ciclo de balance). Cuando el proyecto pasa a través de beneficios tributarios los empresarios se interesan cada vez más en invertir en I+D al tiempo que la capacidad financiera nacional invertirá en la medida en que se disponga de recursos. Finalmente, esta “inversión en I+D” irá destinada a hacer del fondo de inversión algo sostenible en el largo plazo mediante la gestión de proyectos.

En este sentido, son los proyectos la base de la inversión en I+D de esta propuesta. Es por esto que se presentará la metodología de acuerdo a las fases de un proyecto de inversión en I+D y en cada etapa se desglosarán los detalles de la propuesta. Estas fases son Estructuración, Financiación y Ejecución.

Fase de Estructuración

La fase de estructuración de un proyecto de inversión consiste en la etapa de organización de ideas y mecanismos para la correcta consecución de recursos y posterior ejecución. La duración aproximada de esta fase de estructuración será de 16 meses con un costo por persona estimado de 17.2 millones COP. La Ilustración 10 muestra la secuencia de procesos propuestos por la metodología para esta fase.

⁸ El término “gestores” hará alusión a jóvenes investigadores enfocados en la estructuración, financiación y ejecución de proyectos de inversión en I+D.

Ilustración 10. Proceso propuesto de Estructuración de un Proyecto de I+D.



En cuanto a la estructura de costos se desglosan las cuatro etapas de la siguiente manera.

Tabla 4. Costos en la Fase de Estructuración.

Fase Estructuración		\$	17.200.000
Diplomado	Curso	\$	6.000.000
	Subsidio	\$	1.200.000
Intercambio	Plataforma	\$	1.000.000
	Tiquetes	\$	2.500.000
Pyme Focal	Subsidio Salario	\$	2.000.000
Estructuración	Consultoría Externa	\$	2.500.000
	Salario	\$	2.000.000

Diplomado

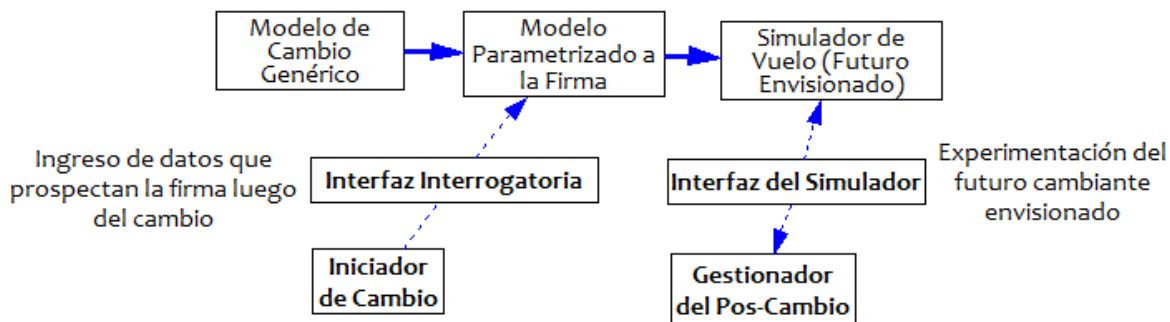
El objetivo de ofrecer al futuro gestor de proyectos de inversión en I+D este diplomado es doble:

- Entregar en forma ordenada las herramientas técnicas necesarias para que el joven gestor pueda medir la productividad en una pyme local y en una firma internacional.
- Recibir un entrenamiento práctico para desarrollar las habilidades necesarias para estructurar, financiar y ejecutar proyectos de I+D.

Este seminario-taller girará alrededor de un eje central: la estructuración de proyectos concretos de Transformación Productiva en empresas reales. Estaría avalado académicamente por la Facultad de Ingeniería Industrial de universidades prestigiosas. Se espera obtener el apoyo financiero, estratégico y logístico de Colciencias, mediante el programa de becas-pasantías para jóvenes investigadores e innovadores.

Se conformarán grupos de trabajo interdisciplinarios alrededor de cada proyecto, constituidos en todos los casos por los empresarios, por profesores con experiencia en consultoría o interés en desarrollar actividades de consultoría y por estudiantes de posgrado, combinando así perspectivas profesionales diferentes: ingenieros, científicos, financistas y juristas.

Ilustración 11. Proceso de adaptación de un Modelo genérico, a una pyme específica. Fuente: (Winch & Arthur, 2002). Traducido por: el autor.



En su artículo “User-parametrized generic models: a solution to the conundrum of modelling access for SMEs?”, (Winch & Arthur, 2002) Graham Winch y Daniel Arthur realizaron pruebas de modelos genéricos de simulación con el fin de que gerentes de pymes los parametrizaran mediante un proceso colaborativo. El propósito es desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para empresarios que han asumido el reto de realizar grandes cambios (*major changes*) en sus organizaciones. La metodología utilizada se presenta en la Ilustración 11.

Llegaron a la conclusión que este tipo de modelos ofrece un gran potencial para modelar el mapa mental del empresario y establecer una estrategia coherente con el futuro imaginado por él. “Puede por lo tanto ser la única opción viable para muchas pequeñas compañías de beneficiarse del modelamiento de la dinámica de sistemas y la planeación de escenarios” (Winch & Arthur, 2002). En su artículo resaltan también lo costoso que resulta la modelación dinámica y cómo el acceso a ella por parte de la pyme puede estar limitado por una de las cuatro siguientes situaciones:

- El modelaje es llevado a cabo por emprendedores con conocimientos en el tema adquirido a través de MBA’s, experiencias en grandes organizaciones o firmas de consultoría; o acaban de ser preparados para invertir suficiente tiempo para desarrollar esta capacidad.
- Estudios donde el esfuerzo de modelación (o al menos una gran parte de esta) es pagado por una agencia externa, por ejemplo iniciativas gubernamentales o locales de desarrollo de negocios.
- **Los ejercicios de modelaje son tomados por estudiantes como “consultores” a cero-costo a través de su proceso de formación de MBA o PhD.**
- Consorcios de varias compañías pequeñas lidiando situaciones similares, dispuestas entre todas a invertir en un único modelo replicable entre ellas.

Se resalta el tercer literal pues el ideal es que el gestor sea financiado por Colciencias a través de su programa de jóvenes investigadores y que reciba el apoyo de la universidad en un programa de Máster o Doctorado. El gestor trabajaría de la mano con el empresario como gestor del

proyecto de transformación productiva mediante la inversión en I+D; el cual podría convertirse en su propia tesis de investigación aplicada.

Volviendo al diplomado, se hará uso intensivo del software de simulación dinámica iThink 9.1 para desarrollar la disciplina y las habilidades del modelaje estratégico en un entorno de sistemas empresariales dinámicos para visualizar y conceptualizar modelos de negocio precisos y parametrizados. En consecuencia, se adquirirán destrezas en la simulación dinámica de la pyme real para así poder evaluar en un ambiente controlado de laboratorio las causas endógenas y el impacto de las decisiones y el comportamiento de los factores críticos de éxito.

Entre otras, la formación en ingeniería industrial le habrá dado acceso a otras herramientas sofisticadas de análisis como las series de tiempo, el análisis de datos multivariantes, la teoría de la decisión, la dinámica de sistemas, la valoración de empresas, y el pensamiento sistémico, entre muchas otras. **Un proyecto de inversión en I+D posee el atractivo de aplicar en forma práctica los conocimientos adquiridos en la carrera en forma dispersa.**

El diplomado estará dividido en 3 módulos:

- El primero, de 30 horas, resultará en una nivelación conceptual de conocimientos en donde se busque introducir las herramientas conceptuales que serán puestas en práctica durante el desarrollo del curso.
- El segundo módulo estará compuesto por una etapa de diagnóstico y simulación estratégica de sistemas empresariales. En este se desarrollarán habilidades en el diagnóstico y en la modelación estratégica de alternativas de transformación productiva, con la ayuda de herramientas tecnológicas avanzadas y con base en un modelo genérico de simulación dinámica (Winch & Arthur, 2002) estructurado para la pyme y su entorno. La duración estimada de este módulo será de 42 horas.
- Finalmente, el último módulo tardará 48 horas y estará enfocado a la gestión estratégica de proyectos de transformación productiva en pymes colombianas. Consistirá en un entrenamiento práctica en la estructuración, la financiación y la ejecución de un proyecto de inversión en I+D.

Se aplicará el *Project Financing* como metodología de financiación del capital requerido por el proyecto. Esta técnica avanzada de finanzas corporativas – desarrollada en detalle por John D. Finnerty en 1996 – consiste en estructurar un préstamo para un proyecto que beneficie a los promotores o socios, procurando recurrir en forma mínima al crédito bancario y utilizando el capital privado (*private equity*) como fuente principal de financiamiento.

Esta forma de estructurar financieramente un proyecto exige como garantías no solo los flujos generados por el proyecto mismo y los activos productivos que sirven como subyacente, sino otras garantías de terceros (como contratos de compra a futuro, contratos de proveedores, etc.) o capital adicional de los promotores, de manera que se cubra adecuadamente el riesgo de los inversionistas.



Este proceso de coordinación y de optimización solo será posible si cada uno de los actores logra comunicarse en un lenguaje común de alto nivel de sofisticación: un lenguaje estructurante común. Uno de los retos más atractivos de esta investigación consiste en apostar a que tal lenguaje de alto nivel se puede alcanzar mediante la Modelación Dinámica de Sistemas.

Inmersión internacional

Una vez el gestor culmine con éxito su entrenamiento mediante el diplomado, habrá desarrollado competencias en la estructuración, la financiación y la ejecución de proyectos de transformación productiva (I+D); al igual que dispondrá de una “caja de herramientas” para iniciar su propio proyecto.

La primera etapa consistirá en realizar una inmersión profunda en una empresa extranjera de alta productividad. Un proveedor global de intercambios profesionales juega un rol fundamental en esta etapa. Se ha identificado a AIESEC – ONG global especializada en esta actividad – para rastrear empresas en el exterior interesadas en contar con capital humano altamente capacitado, pero joven y globalizado, con el fin de ejecutar proyectos enfocados en el diagnóstico de productividad y competitividad comparadas. La duración propuesta para esta etapa será de 6 meses.

Esta plataforma internacional de profesionales jóvenes – además de trabajar activamente para lograr el “matching” entre las compañías y los candidatos – busca ofrecer una experiencia de calidad a los participantes en estos “intercambios”, aspecto relevante en el desarrollo personal y profesional del gestor. Brinda soporte logístico para la documentación legal internacional como visados, requisitos, permisos, cartas de aceptación y seguimiento de cada experiencia, entre otros. También, se encarga de pactar con la empresa el salario mensual final del gestor y otros beneficios adicionales.

Una vez el gestor comienza a laborar en una firma que opera en un entorno de alta productividad, tiene la oportunidad de realizar un diagnóstico especializado de la compañía aplicando las herramientas metodológicas suministradas en el diplomado. Pero el gestor también representa para la empresa extranjera una posibilidad de identificar oportunidades estratégicas — comerciales o de inversión — sobre el mercado colombiano y latinoamericano. El gestor entrenado tendrá acceso directo a procesos, tecnologías y sistemas de gestión para comenzar a *comparar* la productividad de esta empresa con cualquiera del mismo sector en el mundo: podrá medir la brecha de productividad y analizar sus causas.

El gestor podrá construir una perspectiva globalizada sobre la cadena de suministros, los procesos, la maquinaria, la calidad de la mano de obra, las capacitaciones y demás factores productivos. Una vez finalizado el proyecto y entregado un informe de gestión, el gestor regresa a su país a abordar el mismo ejercicio de inmersión al interior de la empresa focal de su preferencia.

Se estima que el costo directo aproximado del intercambio será de 3.5 millones COP y tendrá una duración de 6 meses. Este valor se desglosa de la siguiente forma: 1 millón de pesos por el acceso

a la plataforma internacional de AIESEC y 2.5 millones para financiar los tiquetes de ida y regreso del gestor. Mediante el acceso a esta plataforma internacional, el gestor podrá identificar empresas dispuestas a abrir “cupos” para pasantes internacionales interesados en trabajar en diagnósticos de productividad y competitividad. Se comprometen a financiar la estadía del gestor a cambio de su trabajo, por lo cual este costo no debe ser financiado desde Colombia.

Inmersión local

La transformación productiva a nivel local debe elevar el grado de sofisticación tecnológica en la cadena de valor de la empresa analizada. Mediante la inmersión asistida del gestor en una empresa que cumple con estándares internacionales, se va construyendo una visión holística del entorno donde evoluciona la firma de alta productividad y se identifican las oportunidades que ofrecen las cadenas globales de valor para una empresa local.

Un diálogo estructurante entre el gestor y el empresario en torno a cómo cerrar la brecha de productividad y la consiguiente generación de mayores utilidades y de nuevas fuentes de crecimiento para la firma permite iniciar un trabajo colaborativo en torno a la estructuración del proyecto de inversión en I+D. De manera general, este diálogo consiste en mezclar cuidadosamente el conocimiento teórico, académico y explícito, del gestor con el conocimiento práctico, empírico y tácito del empresario para lograr un objetivo común.

Este ejercicio presenta retos de comunicación entre el gestor y el empresario; en especial cuando se analice la entrada en el proyecto de terceros como inversionistas de capital privado. Es posible mitigar los riesgos inherentes mediante:

1. **El potencial de los beneficios tributarios.** Trabajando en conjunto con grupos de investigación es posible obtener un importante ahorro en términos del impuesto de renta al invertir en proyectos de I+D.
2. **La seguridad de conservar su participación accionaria.** La metodología *project financing* propone que el resultado final de un proyecto de inversión sea el de entregar retorno a la inversión usando como respaldo los activos de la compañía. El patrimonio no se compromete ya que el riesgo es asumido por los activos.
3. **La inserción de la firma en las cadenas globales de valor.** Al haber tenido acceso a una empresa extranjera de alta productividad, el gestor tiene la posibilidad de conectar al empresario con esta empresa y con otras similares, para establecer relaciones como aliados, clientes o proveedores.

Durante los 4 meses que el gestor pasará trabajando en la pyme local, recibirá un subsidio de \$500 mil pesos mensuales adicionales al salario que la empresa disponga por sus servicios de diagnóstico.

Estructuración del proyecto de inversión en I+D

Una vez realizada la medición de la brecha de productividad entre ambas empresas, gracias a la caja de herramientas, se da comienzo al proceso de estructurar un proyecto para cerrarla. Se

estima que esta etapa durará 2 meses y costará aproximadamente 2 millones de pesos como subsidio.

A estas alturas, el diplomado, la inmersión internacional y la inmersión en la pyme local han permitido que el gestor desarrolle competencias especializadas que lo convierten en capital humano altamente calificado en la estructuración, la financiación y la ejecución de proyectos de I+D. El Anexo 1, el Anexo 2 y el Acuerdo 9 (CNBT en CTI, 2014) resaltan aspectos relevantes y la tipología nacional establecida por el Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en CTI, que definen los lineamientos de un proyecto de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. El gestor deberá ceñirse estrictamente a estas reglas para maximizar las probabilidades de que el proyecto sea “calificado” positivamente por el CNBT, lo que posteriormente abre las puertas del mercado de capitales.

Para comenzar esta etapa, el proyecto a estructurar debe tener información que involucre el cierre de la brecha de la productividad, la inteligencia competitiva y estrategias tecnológicas y de sostenibilidad social, ambiental y financiera. En cuanto a la brecha de la productividad, el gestor a través de sus experiencias previas internacionales y de trabajo en la pyme local, tiene parámetros suficientes para generar estrategias de mejora en cuanto a maquinaria (tecnología), personal (capacitaciones), ambiente laboral, liderazgo, trabajo en equipo, entre otros; al tiempo que cuenta con indicadores de productividad medidos por él mismo en ambas empresas — como dólares producidos por trabajador o retorno sobre la inversión en CAPEX (inversiones en capital o *capital expenditures*), entre otros.

En consecuencia, el transformar una empresa implica un cambio en su estructura de capital y por lo tanto una sofisticación del producto que actualmente se produce en la pyme local. Al cambiar de producto, automáticamente su cadena de valor cambia y es aquí donde toma papel la inteligencia competitiva al ajustar esta nueva cadena a ofertas y demandas internacionales. Este proceso se reconoce como una inmersión en las cadenas globales de valor.

Una vez se tienen en cuenta las dinámicas globales que se quieren abordar, se realizan estrategias necesarias en tecnología y sostenibilidad para garantizar retornos sobre la inversión e innovación constante cuando la empresa se encuentre al nivel de países altamente sofisticados. Estas serán las bases que cimienten un proyecto de inversión en I+D para su posterior financiación.

En cuanto al salario del gestor durante la estructuración del proyecto, se propone que sea financiado por Colciencias o por Bancoldex a través del Programa de Transformación Productiva o de INNpulsar. La razón principal es porque Colciencias — como ente promotor de la I+D en Colombia — tiene como objetivo misional apoyar a personas dispuestas a estructurar proyectos de esta índole. Del mismo modo, Bancoldex tiene a su cargo la gestión del Programa de Transformación Productiva y por lo tanto es natural pensar que tendrá intereses en que se estructuren proyectos de este tipo.

Como paso final, el proyecto estructurado por el gestor en todos los casos será sometido al examen riguroso de un consultor externo, experto en proyectos de inversión en I+D y de preferencia miembro de un grupo de investigación. La justificación principal de este último proceso es garantizar el aval de un profesional y, en el caso de los grupos de investigación, facilitar el respaldo futuro para la obtención de los beneficios tributarios en la fase de financiación. Para esta etapa se estima que se requerirán entre 10 y 20 horas/hombre de consultoría, a un costo aproximado de 250.000 COP⁹ por hora para cada proyecto.

Fase de Financiación

Una vez finaliza la estructuración del proyecto de inversión, es necesario buscar su respectiva financiación en el mercado privado o público. Esta fase consiste en identificar fuentes viables de financiación en diferentes actores del mercado de capitales, y otros recursos provenientes del gobierno nacional, local y demás instituciones interesadas en promover la inversión en I+D, que pueden contribuir a mejorar el perfil de riesgo del proyecto (como el Fondo Nacional de Garantías) o a alcanzar el cierre financiero mediante subsidios o donaciones.

Este proceso puede tomar entre 2 meses y 1 año dependiendo de las habilidades del gestor, de su disponibilidad de tiempo para esta fase y de las oportunidades disponibles en el sector público y privado. También es de tener en cuenta que esta fase estará contemplando el tiempo que un proyecto estaría en proceso de aprobación ante el CNBT; la cual es también una financiación. En resumen, esta fase constaría del gestor buscando la financiación del proyecto.

Se estima que cada proyecto de transformación productiva cuesta entre 2 mil y 4 mil millones COP (aproximadamente entre 1 y 2 millones USD). El primer argumento que respalda esta afirmación serán los proyectos presentados y aprobados ante el CNBT para el cupo de deducción. El promedio de monto aprobado por proyecto durante el 2010 fue de 3,146 millones COP, durante 2011 de 2,985 millones, en 2012 de 1,902 y en 2013 de 1,355 (información disponible en la Tabla 2).

El segundo argumento vendría sobre la muestra anual de empresas de la Superintendencia de Sociedades. El Anexo 9 muestra, por tamaño en las ventas, los sectores de manufactura, agropecuario y servicios; junto con el potencial que tienen para estructurar proyectos en I+D. En total se encuentran registradas 4,315 empresas del sector manufacturero las cuales tuvieron una utilidad antes de impuestos durante 2013 de 7.17 billones (millones de millones) COP. Si se tiene en cuenta que esta cantidad es aproximadamente la renta líquida gravable, que el 40% es el tope máximo de descuento en proyectos de I+D estipulados por ley, y que el CNBT reconoce beneficios tributarios hasta por el 175% del valor de un proyecto, entonces habría una capacidad de inversión en I+D a través de beneficios tributarios de $\frac{7.17 * 40\%}{1.75} = 1.64$ billones de pesos. En el sector agroindustrial esta capacidad es de 73 mil millones y en servicios de 3.18 billones.

⁹ Cifra aproximada tomada como referencia de los 230 mil COP que cuesta según el Programa de Transformación Productiva (PTP, 2013).

En este orden de ideas, para empresas del sector manufacturero cuyos ingresos brutos están entre 5.000 y 10.000 millones de pesos durante el 2013, el patrimonio promedio es de 4.093 millones de pesos. Para el rango de entre 10.000 y 20.000 millones el patrimonio promedio es de 8.365 millones de pesos (SuperSociedades, 2014). Inicialmente, se puede estimar que la inversión requerida para cada proyecto de inversión para la Transformación Productiva sea un porcentaje del patrimonio promedio del 50% de las empresas de ingresos entre 5 mil y 20 mil millones COP (1,172 en total) con base en observaciones reales.

Por ejemplo, la empresa CUPERZ (Nit 860032932) invirtió en 2008, a través de diferentes inversiones, un monto de 4.000 millones de pesos en su propio proyecto de transformación productiva para lograr ser reconocido como proveedor de Sofasa (Renault) y Colmotores (GMC) (Gaitán Villegas, 2014). El Anexo 10 destaca el comportamiento desde 2008 hasta 2013 de CUPERZ en términos de su balance general y estado de resultados (SuperSociedades, 2014). Mientras que en 2009 vendieron 6.1 mil millones de pesos en 2013 llegaron a vender 15.5. Este marcado aumento en las ventas estuvo respaldado por una inversión en patrimonio en 2011 de 1.4 mil millones; un aumento en el patrimonio del 47.3% del año 2010 al 2011. En consecuencia a esta inversión, las utilidades netas crecieron en un 337% del 2008 al 2013 y el retorno al patrimonio (ROE por sus siglas en inglés) fue de 15.13% durante el 2013; superior a un promedio estimado de rentabilidad de mercado de 12.3%. Es por esto que se estima que una pyme manufacturera en el rango de ingresos propuesto anteriormente deberá reinvertir por lo menos el 50% de su patrimonio para realizar su transformación productiva; es decir, entre 2 mil y 4 mil millones de pesos (ver Anexo 9).

Una vez calculado el monto del proyecto de inversión, se procede a buscar su respectiva financiación. Esta fase está prevista para que financie el salario del gestor a través del programa de jóvenes investigadores de Colciencias. Al haber estructurado un proyecto en I+D, el ideal es que sea Colciencias — a quién es responsabilidad realizar I+D en el país — quien lo sostenga mientras encuentra la financiación. De manera análoga, el proyecto también se puede pasar a Bancoldex — por su responsabilidad en la transformación productiva — quien se puede encargar de (i) mover el proyecto al mercado de capitales o (ii) financiarlo de acuerdo a su capacidad de inversión.

Fase de Ejecución

Una vez obtenidos los recursos para financiar el proyecto, estos serán depositados en una cuenta de administración fiduciaria, de manera que los fondos estén exclusivamente a disposición del proyecto bajo reglas estrictas para los desembolsos autorizados por la Junta de Monitoreo.

Uno de los primeros desembolsos se hará al Fondo de Inversión: una contribución previamente pactada del orden de 2% permitirá recuperar la pre-inversión realizada durante la Fase de Estructuración y alimentará los recursos necesarios para garantizar la formación de nuevos gestores y la estructuración de proyectos en I+D a gran escala.

Las actividades típicas en la fase de ejecución se concentrarán en la puesta en marcha de procesos complejos como la instalación de equipos tecnológicos avanzados y de maquinaria sofisticada en paralelo con la operación normal de la empresa. Igualmente, será necesario el entrenamiento y la capacitación de los directivos, del personal administrativo y de los operarios, con el fin de formar un equipo con un nivel más elevado de capital humano altamente calificado.

La aplicación de los resultados obtenidos durante la Fase de Estructuración en términos de inteligencia competencia, de vigilancia tecnológica y de estrategia tecnológica se materializarán en un plan detallado.

Como ya se ha explicado anteriormente, el costo estimado promedio en términos del capital invertido por proyecto fluctuará entre 2 y 4 mil millones de pesos y podrá tomarse entre 3 y 5 años.

Tabla 5. Costo estimado de la Fase de Ejecución con porcentajes para un proyecto estimado de 3 mil millones.
Fuente: Cálculos del Autor.

Fase Ejecución		\$ 3.000.000.000	100%
Retribución en Estructuración	Devolución pre-inversión	\$ 30.000.000	1,0%
	Siguiente estructuración	\$ 30.000.000	1,0%
Salario gestor	Gestor	\$210.000.000	7,0%
Inteligencia Competitiva	Inmersión CGV (patentes)	\$ 270.000.000	9,0%
	Prospectiva Tecnológica	\$135.000.000	4,5%
	Estrategia Tecnológica	\$ 90.000.000	3,0%
Trans. Productiva	Inversiones	\$2.100.000.000	70,0%
Estrategia I+D	Planteamientos	\$135.000.000	4,5%

Reinversión en estructuración

No sobra reiterar que esta propuesta metodológica contempla reinvertir una contribución de cada proyecto que entre a la Fase de Ejecución hacia dos objetivos estratégicos:

- El primero es re invertir en la formación de nuevos gestores.
- Para garantizar la sostenibilidad en el largo plazo del programa que se desprende de la metodología propuesta en este trabajo de tesis. Se busca generar un “préstamo” horizontal entre proyectos, de manera que se vaya asegurando el financiamiento de la Fase de Estructuración de los proyectos futuros, que constituye un verdadero cuello de botella en la organización actual de la inversión privada en I+D en Colombia. Por ejemplo, el proyecto 1 acaba de ser financiado con 3 mil millones de pesos y con el 1% de este dinero (30 millones) se invierte en la estructuración del proyecto 2. Una vez se financie el proyecto 2, el 1% de esta financiación irá destinada a pagarle al proyecto 1 por el “préstamo” en la estructuración; y otro 1% irá destinado a la estructuración del proyecto 3

Junta de Monitoreo

Cada proyecto será administrado por una Junta de Monitoreo que deberá garantizar su plena ejecución y en las condiciones pactadas en el contrato suscrito entre la empresa, los inversionistas y el gestor.

Por tal razón, este órgano estará conformado por cuatro miembros:

- **El gestor y estructurador del proyecto, quien ahora asume su rol de ejecutor en desarrollo de su compromiso personal y profesional con el proyecto mismo.**
- **Un representante de la junta directiva, el CEO o gerente de la pyme local objeto de la transformación productiva.**
- **Un representante del grupo de investigación que supervise o co-ejecute el proyecto.**
- **Un representante de los inversionistas, quien podrá ser un Fondo de Capital Privado, un inversionista ángel u otro actor del mercado de capitales.**

El contrato de administración fiduciaria definirá detalladamente las reglas para que la Junta de Monitoreo autorice los desembolsos en función del avance del proyecto. De igual manera, será la encargada de velar para que todo el proyecto se ejecute de acuerdo con la estructuración del mismo y que todas las modificaciones que se consideren necesarias estén debidamente justificadas y aprobadas por sus miembros.

La Junta de Monitoreo también será responsable de administrar el flujo de caja generado por el proyecto de manera que se configure el ahorro necesario para garantizar la distribución del capital invertido y del retorno a la inversión pactado. Se estima que la remuneración del grupo de investigación y del gestor alcance el 7% del valor total del proyecto.

Inteligencia Competitiva

Antes de formular la estrategia específica de transformación productiva y de pensar en invertir en maquinaria y equipos, es preciso realizar un conjunto de actividades de investigación que reciben el nombre genérico de *inteligencia competitiva*. El rubro estimado para la misma es de 16,5% del valor del proyecto dividido en 9% para análisis de Cadenas Globales de Valor, 4,5% para prospectiva tecnológica y 3% para gestionar una estrategia tecnológica. El objetivo de esta etapa es encontrar las tendencias del mercado y alinear las ambiciones del proyecto con estas.

Es aquí donde empieza el análisis de las Cadenas Globales de Valor. Esto con el objetivo de tener una mirada estratégica hacia dónde sería mejor apuntar la sofisticación del producto o servicio de cada pyme. Bajo esta etapa será necesaria la disposición y disponibilidad del gerente y/o del gestor para viajar a compañías altamente productivas (como la compañía en la que estuvo el gestor trabajando en la etapa de estructuración, por ejemplo), entender de sus respectivos procesos; y gestionar posibles alianzas cooperativas con estas compañías. Esta etapa requiere una mirada global del mercado potencial y proveedores potenciales al tiempo que exige una investigación exhaustiva sobre las patentes vigentes en el mercado y la maquinaria – en términos de costos y disponibilidad – necesaria para producirlas. Es por esto que se propone un rubro del 9% del valor del proyecto para respaldar viajes e investigación de patentes.

Una vez se tiene una mirada holística del mercado, se realiza lo que se denomina como “prospectiva tecnológica”. Esta definición enmarca el análisis y estudios sobre las condiciones y tendencias técnicas, científicas, económicas y sociales de la realidad futura de la tecnología con el fin de anticiparse a ella en el presente. Esto requerirá de acceso a información valiosa (y posiblemente costosa) a nivel mundial en términos tecnológicos; y es por ello que se propone destinar un rubro del 4,5% del valor del proyecto en ella.

Una vez se tiene una mirada global del mercado y se estiman las tendencias tecnológicas – mediante la prospectiva – se realiza una estrategia tecnológica. Esta etapa básicamente consta de escoger lo que funcione mejor para la pyme en particular en términos tecnológicos a partir del conocimiento adquirido en etapas previas. El porcentaje de inversión del proyecto propuesto para esta etapa es de 3%.

Transformación Productiva

Esta etapa es la esencia del proyecto. Luego de haber realizado la inteligencia competitiva y de haber entendido las dinámicas que rigen al mundo en el producto sofisticado que se quiere incursionar, se procede a realizar las inversiones que darán cabida a la transformación productiva. Para ello, se introduce un término que facilitará la comprensión de la transformación y es el “vector tecnológico”.

Esta definición viene de la necesidad de cambiar la estructura de una compañía a través de la inversión en los 4 factores de desarrollo productivo de un producto. Estos son el capital, el trabajo, la tecnología y la materia prima. En este sentido, se busca llegar a una distribución estratégica en inversión en los cuatro factores por producto, basado en los análisis de inteligencia competitiva realizados previamente. Cambios estratégicos en el vector tecnológico de una compañía implicarán que se llegue a hacer más con lo mismo o inclusive llegar a mejores resultados con pocas – pero significativas – mejoras.

Dadas las dinámicas del mercado mundial y las razones por las que existen compañías más productivas que la local, se realizan inversiones para cerrar esta brecha en productividad. Inversiones en capital mediante maquinaria y equipos, en trabajo a través de capacitaciones y mano de obra capacitada, en tecnología mediante la sofisticación de procesos – por ejemplo mecanismos de medición de tiempos y cálculos en eficiencia – y finalmente en materia prima a través de la importación (en caso de ser necesaria) o mejora de proveedores locales que ayuden a suplir la demanda mundial. La pregunta que busca responder este vector tecnológico es ¿cuál es la distribución de factores productivos necesaria para tener una unidad de producto en la pyme?

Por ejemplo, un producto determinado puede estar compuesto de una distribución de 25% de capital, 50% de mano de obra, 15% de tecnología y 10% de materia prima. Del mismo modo, en una empresa paralela, puede existir el mismo producto pero realizado bajo una distribución tecnológica de 40% en capital, 20% en trabajo, 30% en tecnología y 10% en materia prima. El primer producto puede llegar a requerir mayor mano de obra de baja capacitación (50%) pues la maquinaria (25%) y la tecnología (15%) no son lo suficientemente sofisticadas para producirlo.

Esto en términos sociales fomenta el empleo de baja sofisticación y el uso de maquinarias relativamente obsoletas. Del mismo modo, el producto realizado bajo la distribución dos, a pesar de requerir menor capital humano (20%), se produjo con tecnología sofisticada (30%) y maquinaria de calidad (40%) necesaria para producir la misma cantidad de producto con las mismas materias primas.

Las ventajas de utilizar un vector tecnológico de alta sofisticación y baja mano de obra están estrechamente conectadas con las sinergias y ambientes laborales – juntos intangibles – generados entre trabajadores a través de la interacción de ideas. Esto es, el cerrar la brecha de la productividad laboral, a pesar que en primera medida aumenta el desempleo, implica necesariamente la adquisición de capital humano capacitado, lo que en su medida fomenta la educación superior y en consecuencia genera externalidades positivas en la sociedad a través de la mejora en la calidad de la educación. Lo mismo sucede con la productividad del capital y tecnológica. De esta manera, es posible deducir que el cerrar las demás brechas necesariamente potenciará la PTF pues esta es una medida de las sinergias generadas en las demás productividades.

Realizar la transformación productiva es una labor de intenso capital y talento humano. Es por esto que se propone destinar el 72% de la inversión en el proyecto en esta etapa. Gracias a la inteligencia competitiva realizada previamente se tiene acceso y contacto a maquinarias y patentes en el mundo necesarios para sofisticar el producto estrella de una compañía en un proceso que puede tardar entre 1 o 2 años.

Estrategia I+D

Una vez transformado el trabajo y el capital de una compañía, es necesario realizar una estrategia en I+D. Esto con el objetivo de fomentar la incursión de nuevos conocimientos en la empresa y, adicionalmente, limitar la necesidad de una abrupta futura transformación productiva. Igualmente, esta estrategia debe tener en cuenta una inversión sostenida en el tiempo hacia la I+D que garantice la innovación constante. La propuesta en proporción de dinero respecto al valor del proyecto es de 3,5% y su fundamento viene de la proporción promedio de las ventas que en promedio las empresas en países sofisticados destinan a la I+D. En Suecia es de 4.5%, en Francia es de 3.2%, y en Dinamarca de 3.1% (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014).

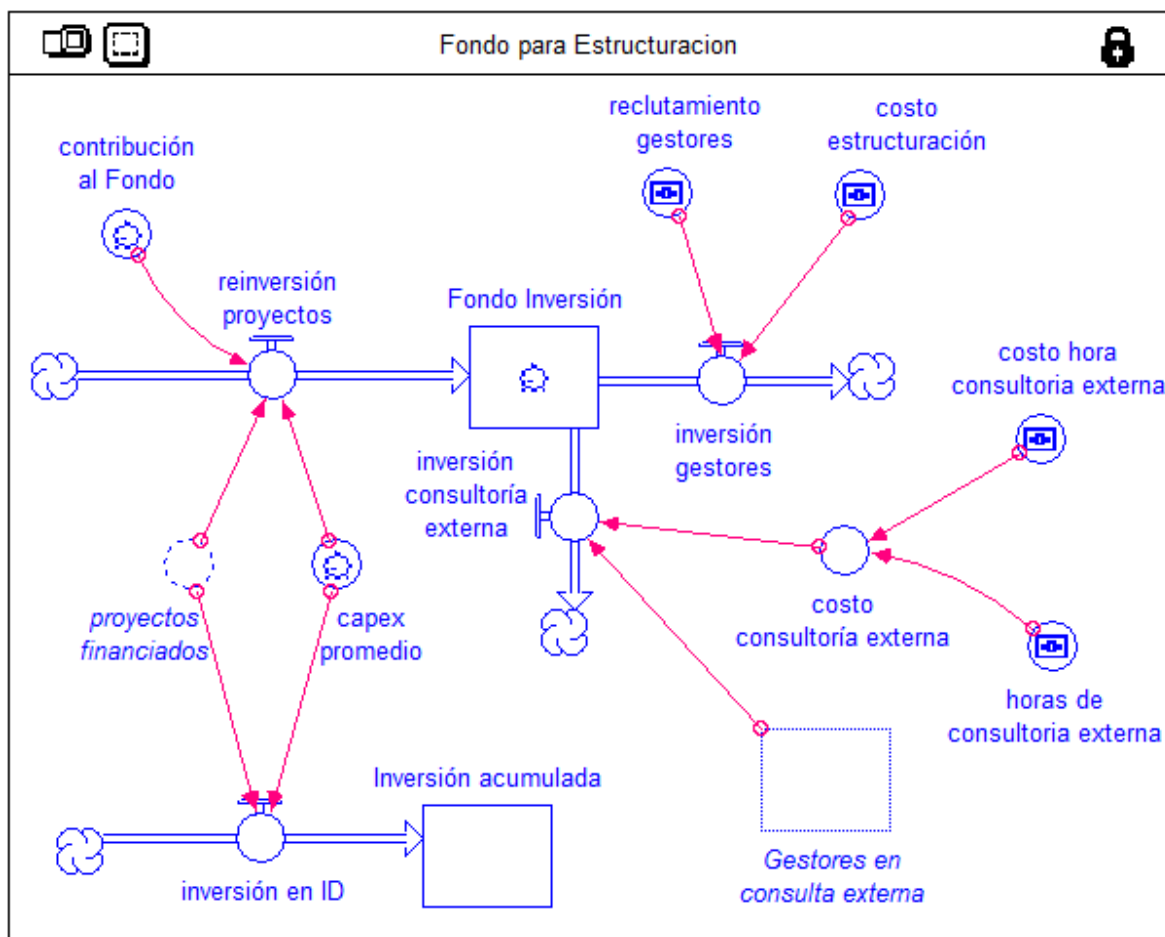
Modelación dinámica

Se presenta a continuación el modelo de simulación dinámica de la metodología utilizando el software de simulación iThink. El objetivo es encontrar escenarios de solución sostenibles al problema de la brecha de productividad, mediante una intervención directa a gran escala en la inversión privada en investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) en Colombia.

Simulación Dinámica

Flujo de Dinero

Ilustración 13. Diagrama de Flujo de Dinero. Fuente: Autor.



Como se mencionó anteriormente, se propone la creación de un Fondo de Inversión, que en principio será financiado por Colciencias y/o Bancoldex. El Fondo de Inversión constaría de tres

flujos: dos de salida y uno de entrada (Ilustración 13). Inicialmente, el fondo contaría con 5,000¹⁰ millones y dependería de tres procesos:

- La formación de gestores mensuales reclutados en la prueba piloto a través del flujo de “inversión gestores”. El flujo de dinero dependerá del volumen de reclutamiento que se adopte: el escenario base parte de 10 gestores por mes, la etapa de estructuración tiene un costo estimado por proyecto de 15 millones de pesos (sin contar la consultoría externa) con una duración de 16 meses explicados posteriormente.
- Luego, cuando el gestor llega a tener estructurado su proyecto, se invierte a través del fondo en consultoría externa profesional en proyectos de inversión en I+D. Este es el flujo “inversión consultoría externa” y recibe como parámetros el número de gestores a la espera de recibir consultoría externa (nivel variable) y el “costo de consultoría por proyecto”; estimado en 2,500.000 COP¹¹.
- Finalmente, para lograr la sostenibilidad, este fondo se financiará mediante la inyección de nuevos recursos que resultan de multiplicar el flujo de proyectos financiados por el valor promedio de un proyecto (estimado en 3 mil millones COP) por un porcentaje de la inversión promedio en capital (2%) (Ecuación 3). De este último porcentaje, la mitad será para recuperar la pre-inversión en la estructuración del mismo y la segunda mitad para financiar la estructuración de un proyecto nuevo.

Ecuación 3. Flujo de Reinversión de Proyectos para el Fondo. Fuente: Autor

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{reinversión proyectos}}{dt} &= \frac{(\text{contribución al Fondo}) * (\text{capex promedio}) * (\text{proyectos financiados})}{dt} \\
 &= \frac{(2\%) * (3\,000) * (\text{proyectos financiados})}{dt}
 \end{aligned}$$

Al ser esta última parte una reinversión en proyectos de I+D, se almacenará esta información en un nivel (“Inversión acumulada”) para registrar al final de cada simulación cuánto se ha invertido en esta.

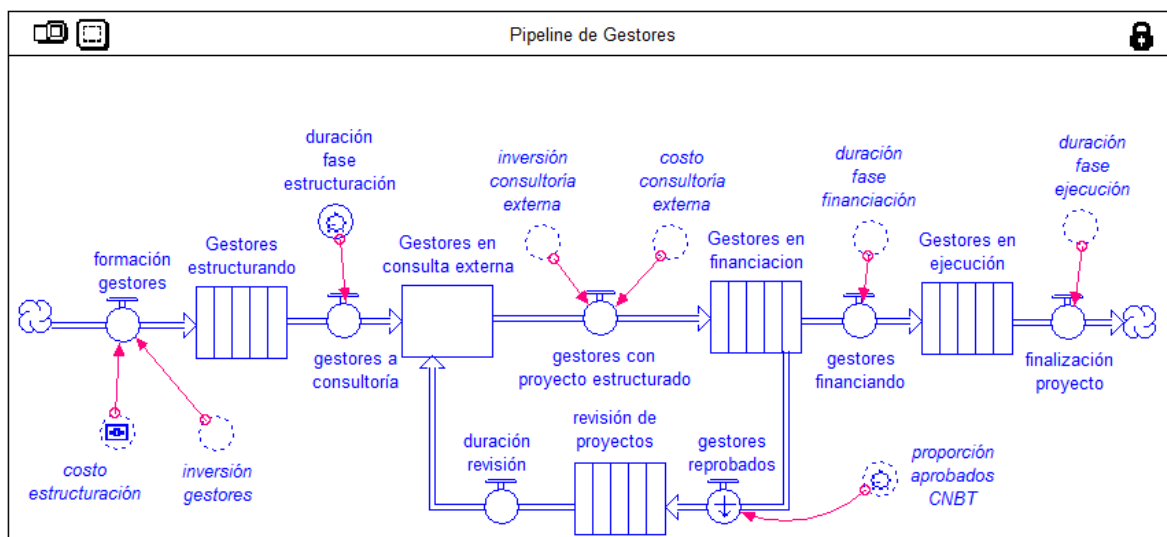
Flujo de Gestores

Para lograr un proyecto estructurado es necesario que el gestor se capacite a través del diplomado (4 meses), que realice una inmersión en una empresa de estándares internacionales (6 meses), que regrese al país y realice la misma inmersión en una empresa colombiana (4 meses) y finalmente, que termine de estructurar el proyecto propiamente dicho (2 meses). Este proceso tiene una duración estimada de 16 meses.

¹⁰ Las cifras propuestas en la metodología son las propuestas por el autor y están sujetas a cambios en todos los casos posibles.

¹¹ Valor calculado a partir de 10 horas estimadas que dedique en promedio un consultor en el Proyecto y teniendo en cuenta un costo por hora de 250.000 COP, valor aproximado al costo sugerido por el PTP.

Ilustración 14. Diagrama de Flujo de Gestores. Fuente: Autor



Una vez el gestor ha finalizado la estructuración, el proyecto pasa a manos de los consultores expertos que agregan valor al examinar técnicamente el proyecto y dar su aprobación. Dos tipos de gestores con proyectos estructurados abordarán a los consultores externos:

- Los que acaban de estructurar su proyecto
- Los que fueron reprobados por el CNBT (Ilustración 14).

Terminado el proceso de examen técnico del proyecto por parte del consultor (que consumirá entre 10 y 15 horas/hombre), el gestor por fin estará listo para iniciar el proceso de identificación de las fuentes de recursos de capital para financiar su proyecto. Se prevé que este proceso se tome aproximadamente 6 meses (“duración financiación”) y tendrá en cuenta aquellos proyectos demorados por los procedimientos naturales del CNBT.

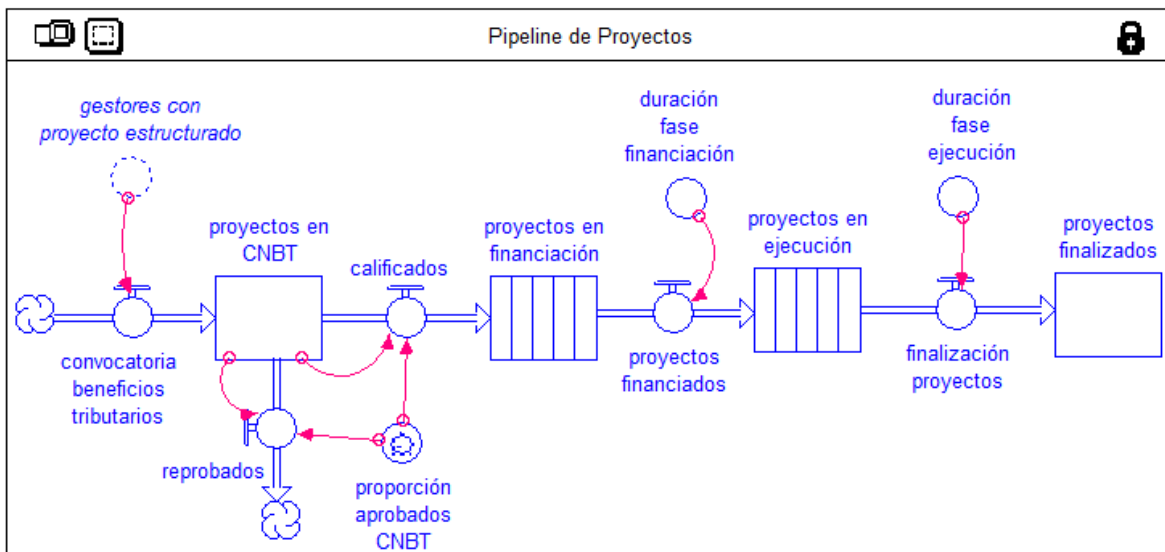
Una vez identificados los inversionistas de capital privado y otras fuentes de recursos financieros, el gestor avanzará en el proceso de definir las condiciones jurídicas y financieras para la entrega de los fondos. Solo cuando estos hayan sido depositados en una cuenta de administración fiduciaria, se puede considerar terminada la Fase de Financiación y comenzada la Fase de Ejecución.

Esta fase podrá durar aproximadamente 4 años. A partir de aquí, se deja abierta la posibilidad de que un gestor pueda volver a trabajar en un nuevo proyecto cuando finalice el que estaba ejecutando. Este supuesto no se tuvo en cuenta en el modelo de simulación pues su objetivo principal es comprobar la sostenibilidad financiera de la metodología sobre la base del “préstamo” entre proyectos. No se ha considerado el reintegro de gestores capacitados y experimentados, algo que probablemente ocurra en cierta proporción, y es posible también que muchos gestores terminen contratados por las empresas que ayudaron a transformar y que seguirán realizando actividades de I+D.

Flujo de Proyectos

La Ilustración 15 muestra el flujo proyectos una vez terminan la Fase de Estructuración. El primer paso para abrir las puertas del mercado de capitales es someterlos a la convocatoria del CNBT. El escenario de base asume una probabilidad del 80% de que los proyectos presentados sean aprobados. El 20% de desaprobación es mucho menor a la evidencia empírica para 2012 (48%, ver Gráfico 7), porque se considera que en el proceso de estructuración se siguieron rigurosamente las pautas establecidas por el Consejo Nacional de Beneficios Tributarios. Además, es necesario anticipar contingencias y prever demoras adicionales propias del proceso de aprobación, en particular cuando los proyectos se presentan por la modalidad de ventanilla abierta.

Ilustración 15. Diagrama de Flujo de Proyectos. Fuente: Autor.



El riesgo de que un proyecto no sea aprobado por el CNBT se ha modelado como una demora del proyecto, un sobrecosto de una mala estructuración y un costo de oportunidad perdido, pero cada proyecto tiene finalmente la oportunidad de entrar a la Fase de Financiación.

Se estima una duración aproximada de 6 meses en la Fase de Financiación, antes de entrar en la etapa de Ejecución. A partir de este punto, cada proyecto financiado va a contribuir con un 2% de sus recursos al Fondo de Inversión, para continuar con la estructuración de otros proyectos.

Escenario base

Antes de comenzar con la presentación de los resultados obtenidos mediante el escenario base analizado, es importante que el lector tenga en mente cuál es el verdadero objetivo de la herramienta de simulación dinámica. El éxito de la simulación no radica en la disponibilidad y calidad de los resultados numéricos de las variables de decisión, sino en que el propio proceso de modelación haya permitido alcanzar una comprensión profunda de las causas endógenas que determinan el comportamiento del sistema analizado. “Un modelo de dinámica de sistemas no es un modelo de datos, es un modelo de reglas de decisión” (Olaya, 2012).

Con los parámetros iniciales (Tabla 6) argumentados a lo largo del documento, se llevó a cabo la simulación del modelo durante 10 años (120 meses). La simulación se programó para que se detuviera cada año y tener así, la posibilidad de tomar decisiones.

Tabla 6. Parámetros iniciales. Escenario Probable. Fuente: Autor

ESCENARIO PROBABLE	UNIDADES	VALOR
<i>reclutamiento gestores</i>	$\left[\frac{\text{gestores}}{\text{mes}} \right]$	10
<i>costo estructuración</i>	$\left[\frac{(\text{millones COP})}{\text{proyecto}} \right]$	15
<i>costo hora consultoría externa</i>	$\left[\frac{(\text{millones COP})}{\text{proyecto}} \right]$	0.25
<i>horas de consultoría externa</i>	[horas]	10
<i>Fondo Inversión</i>	[millones COP]	5,000
<i>capex promedio</i>	$\left[\frac{\text{millones COP}}{\text{proyecto}} \right]$	3,000
<i>contribución al Fondo</i>	[porcentaje]	2%
<i>duración fase estructuración</i>	[meses]	16
<i>proporción aprobados CNBT</i>	[porcentaje]	80

En un principio, la simulación avanza durante los primeros dos años con los parámetros iniciales. En el primer año el valor del fondo alcanza a los 3,200 millones y en el segundo 1,138 millones COP. Al final del segundo año hay 160 gestores estructurando, 55 gestores en financiación, 48 proyectos en financiación y 8 gestores en ejecución. Al existir 48 proyectos en financiación se estima un aumento en el fondo y por lo tanto en el año 2 se toma la decisión de reclutar ya no 10 sino 25 gestores mensuales.

A partir del año 2, con la decisión de reclutamiento tomada, el fondo llega a 2,043 millones y 66 proyectos en financiación. Si se decide para el año 3 reclutar 50 gestores mensuales el fondo llega a cero. Es por esto que la decisión de 25 se mantiene durante el año 3 y solo al final del año 4 el fondo de inversión alcanza los 3,550 millones COP y 132 en financiación. Adicionalmente la inversión en I+D ha alcanzado los 644 mil millones COP en 4 años.

A partir del año 4 y de manera consecutiva, se aumenta el tamaño de gestores en 25 unidades anuales hasta llegar a 100. Es decir, para el año 4 se reclutan 50 gestores, en el año 5 se reclutan

75 y en el año 6 se reclutan 100 gestores mensuales (es decir, 1200 gestores al año). Esta cifra se mantiene para los últimos 4 años de simulación.

Esta decisión resulta al final de los 10 años en un total de 6,045 gestores distribuidos en 1600 en estructuración, 686 en financiación y 3759 en ejecución. Al mismo tiempo resulta en un total de 5079 proyectos de transformación productiva en la industria. Esto significa un impacto positivo para más de 5,000 empresas en el sector real y un desarrollo sostenido de la economía colombiana y sobre todo de la I+D. Finalmente el fondo alcanza valores de 142,428 millones COP (retorno sobre la inversión inicial de $\frac{142,428-5000}{5000} = 2,748\%$) y la inversión en I+D para el país alcanza los 13.44 billones (millones de millones) COP.

Gráfico 8. Desempeño de la Metodología. Fondo y Proyectos. Fuente: Autor

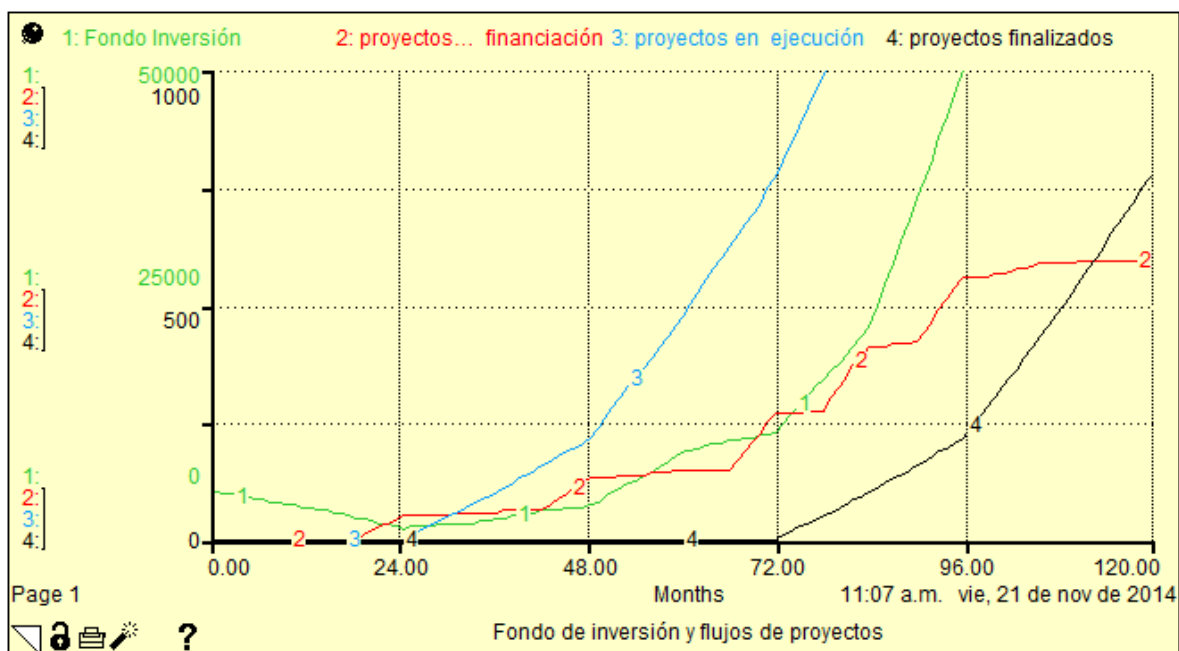


Gráfico 9. Desempeño de la Metodología. Gestores. Fuente: Autor

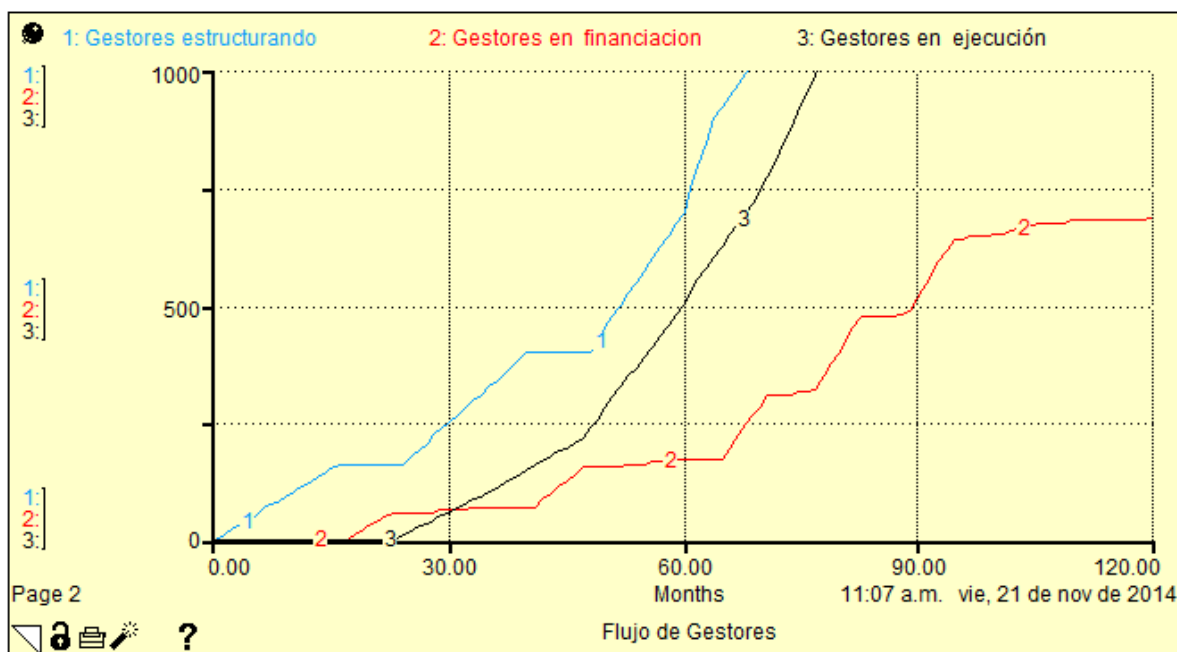


Tabla 7. Resultados escenario base. Fuente: Autor

Gestores estructurando	1600	proyectos en financiación	599
Gestores en financiación	686	proyectos en ejecución	3704
Gestores en ejecución	3759	proyectos finalizados	776
Fondo Inversión	\$ 142.428	Mes:	121
Inversión acumulada	\$ 13.440.096		

Uno de los supuestos más fuertes del modelo propuesto es el asumir que la inversión en proyectos de inversión en I+D efectivamente cierra la brecha de la productividad. Pueden existir diversos escenarios en donde un proyecto en sí no impacte la productividad de una empresa o que la brecha de la productividad esté aferrada a variables exógenas a la inversión en Desarrollo Tecnológico. Sin embargo, este supuesto se explica a partir de la aclaración que cada proyecto tiene el propósito exclusivo de realizar una transformación productiva con miras a cerrar una brecha relativa a otra empresa en el exterior. Por lo tanto, entre más sean los proyectos ejecutados (y por lo tanto la inversión en I+D), mayor será el impacto directo a la brecha de la productividad.

Conclusiones y alcance

Colombia abrió su mercado antes de que sus propias empresas estuvieran preparadas para enfrentar la competencia de empresas cuatro veces más productivas y de productos de alto valor agregado difíciles de elaborar en el país.

Por tal razón, durante los próximos diez años, resultará tanto necesario como urgente encontrar una solución práctica y sostenible para facilitar la difusión a gran escala de metodologías para impulsar la inversión masiva¹² en I+D, adaptadas al medio colombiano. Metodologías que permitan estructurar, financiar y ejecutar proyectos de inversión elaborados a la medida de cada empresa manufacturera o agroindustrial, en función de su tamaño, de su capacidad productiva, de su músculo financiero y de su localización en las cadenas globales de valor.

La metodología presentada es una de las maneras de responder de manera constructiva la pregunta de investigación inicialmente planteada: *¿cómo cerrar la brecha de productividad en la industria de manufactura y en la agroindustria colombianas?* Se ha pretendido elaborar una crítica propositiva a los intentos fallidos (Acosta, 2014) para mejorar la productividad en la industria colombiana, pero desde la perspectiva de dinámica de sistemas de ingeniería industrial, y específicamente el pensamiento operacional, orientada a romper el cuello de botella de la baja inversión en I+D y, en consecuencia, de la brecha de productividad.

Inicialmente, una aplicación práctica de la metodología podría comenzar por financiar una prueba piloto para 120 jóvenes gestores. Con este respaldo inicial, se seleccionarían empresas en el rango entre 5 mil y 20 mil millones COP de ingresos. Durante 2013, estas 1,172 empresas tuvieron una utilidad antes de impuestos de 1.19 billones de pesos y por lo tanto un potencial de beneficios tributarios asociados a proyectos de inversión en I+D de 272 mil millones de pesos y una potencial inversión en transformación productiva de 2,34 billones COP (1,172 empresas multiplicado por 2 mil millones de pesos en promedio por cada proyecto).

Sumando en conjunto a las empresas en ese rango de los sectores de manufactura, agroindustria y servicios, el potencial en ahorros tributarios sería de 4.89 billones de pesos y habría un universo de 15,143 empresas por invitar a dar el paso de su propia transformación productiva (SuperSociedades, 2014).

Si bien el país necesita una urgente transformación productiva de su sector privado, es necesario también la interacción sinérgica de todos los actores involucrados en la tarea de cerrar la brecha de productividad. El documento de “Bases del Plan de Desarrollo 2014-2018” publicado en noviembre de 2014, incorpora estrategias orientadas justamente en esa dirección. Entre las *estrategias transversales* cabe destacar el capítulo sobre *Competitividad Estratégica e Infraestructura* (páginas 58-94), donde efectivamente se reconoce el problema de la baja

¹² El término “masivo” en este documento de tesis hace alusión a proyectos de inversión en I+D de **fácil replicabilidad**.

productividad y se propone una Política de Desarrollo Productivo (página 68), que incluye programas para (DNP, 2014):

- Internacionalizar los sectores productivos de bienes y servicios
- Promover la inserción en cadenas globales de valor
- Fortalecer las capacidades tecnológicas de las empresas
- Desarrollar un ecosistema habilitante para la CT+I, con capacidades y financiamiento.
- Formar a los investigadores e innovadores que lideren la transformación de la CT+I del país
- Mejorar la calidad y el impacto de la investigación y la transferencia de conocimiento y tecnología.
- Promover el desarrollo tecnológico y la innovación como motor de crecimiento empresarial y del emprendimiento.

En términos de Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI), el nuevo Plan de Desarrollo define un producto específico: *herramientas de intervención* (mecanismo de ajuste de políticas públicas) para incrementar la inversión pública-privada en CTI. “El resultado más tangible de este esfuerzo será el desarrollo de proyectos relevantes en cada una de las áreas prioritarias, la generación de conocimiento con mayor impacto a nivel internacional y el desarrollo de nuevas tecnologías y productos comercializables” (DNP, 2014).

El objetivo en CTI es el que la participación de la CTI como porcentaje del PIB salte de 0.5% (en 2013) (Anexo 11) a 0.9% (en 2018) (DNP, 2014), lo que significa un volumen de inversión en actividades de ciencia y tecnología de 28 billones de pesos (Tabla 8). Todo esto resulta en un ambiente favorable para aplicar, en el corto plazo, la metodología diseñada en este trabajo de investigación.

Tabla 8. Cálculo de la Inversión en Actividades de Ciencia y Tecnología 2015 – 2018 con base en las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018. Fuente: (DNP, 2014) (The Economist Intelligence Unit, 2014)

	2015	2016	2017	2018
PIB en billones COP	830,4	892,5	951,6	1017,9
% Inversión en CTI/ PIB	0,60%	0,70%	0,80%	0,90%
Inversión en CTI en billones	5,0	6,2	7,6	9,2
Inversión Total en billones 2015 - 2018				28,0

La academia, los centros de investigación y desarrollo tecnológico, los empresarios y las diferentes instancias del Gobierno nacional y regional deben converger en un solo propósito

eficiente y metodológico que busque como objetivo la mejora de la calidad de vida de los colombianos.

Bibliografía

- Acosta, J. P. (25 de Agosto de 2014). *La competitividad en Colombia: sin agenda y sin contenido*. Obtenido de Razón Pública: <http://www.razonpublica.com/index.php/econom-y-sociedad-temas-29/7839-la-competitividad-en-colombia-sin-agenda-y-sin-contenido.html>
- AIESEC en Colombia. (04 de 08 de 2014). *Qué es AIESEC*. Obtenido de AIESEC: <http://co.aiesec.org/estudiantes/que-es-aiesec/la-organizacion/>
- AIESEC International. (17 de Agosto de 2013). *AIESEC Global Annual Report 2012-2013*. Obtenido de Issuu: http://issuu.com/aiesecinternational/docs/aiesec_global_annual_report_2012-20
- Álvarez, R., Crespi, G., & Cuevas, C. (2012). *Public Programs, Innovatio and Firm Performance in Chile. Nota técnica del BID Núm. 375. Washington, D.C.: BID.*
- Arias, N., & Martínez Anaya, D. (16 de Octubre de 2014). *Con 3 patentes por millón de personas, Colombia se "raja" en innovación*. Obtenido de Periódico La República: http://www.larepublica.co/con-3-patentes-por-mill%C3%B3n-de-personas-colombia-se-%E2%80%98raja%E2%80%99-en-innovaci%C3%B3n_181011
- Arias, P. M. (30 de Abril de 2014). *Resolución 308*. Obtenido de Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias: http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/documents/res_000308_de_2014_-_definitivos_conv_633.pdf
- Boston Consulting Group. (2013). *Brazil: Confronting the Productivity Challenge*. Boston Consulting Group.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2012). *Productividad y Competitividad*. Obtenido de http://nulan.mdp.edu.ar/1607/1/02_productividad_competitividad.pdf
- CID Harvard University. (23 de Octubre de 2014). *What did the United States export in 2012?* Obtenido de The Atlas of Economic Complexity: http://www.atlas.cid.harvard.edu/explore/product_space/export/usa/all/show/2012/
- Ciro, J. E. (14 de Agosto de 2014). *"Colombia necesita una política industrial moderna", Mac Master*. Obtenido de Periódico La República: http://www.larepublica.co/colombia-necesita-una-pol%C3%ADtica-industrial-moderna-mac-master_156886
- CNBT en CTI. (08 de Agosto de 2014). *Acuerdo 09 de 2014*. Bogotá: Colciencias. Obtenido de Colciencias.

- CNBT. A1. (31 de Mayo de 2011). *Tipología de proyectos de carácter científico, tecnológico e innovación*. Obtenido de Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación:
<http://www.almamater.edu.co/sitio/Archivos/Documentos/Documentos/00000721.pdf>
- CNBT. A4. (29 de Septiembre de 2011). *Acuerdo 04 de 2011*. Obtenido de Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Colciencias:
http://acac.org.co/ZONA_ASOCIADOS/interes/Acuerdo4.pdf
- CNBT. A8. (8 de Mayo de 2014). *Acuerdo 08 de 2014*. Obtenido de Colciencias:
<http://incp.org.co/Site/2014/info/archivos/acuerdo-8-cnbt.pdf>
- Colciencias. (30 de Octubre de 2014). *Becas*. Obtenido de Jóvenes Investigadores:
<http://www.colciencias.gov.co/convbecas>
- Colciencias. (Julio de 2014). *Sistema de Gestión de la Calidad*. Obtenido de Colciencias.
- Congreso de Colombia. (27 de Febrero de 1990). *Ley 29 de 1990*. Obtenido de Colciencias:
http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley_29_de_1990.pdf
- Congreso de Colombia. (29 de Diciembre de 2000). *Ley 633 de 2000*. Obtenido de Colciencias:
http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley_633_de_2000.pdf
- Congreso de Colombia. (16 de Junio de 2011). *Ley 1450 de 2011*. Obtenido de Colciencias:
http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley_1450_de_2011-plan_nacional_de_desarrollo.pdf
- CONPES. (21 de julio de 2010). *Documento Conpes 3678*. Obtenido de Consejo Nacional de Política Económica y Social:
<http://wsp.presidencia.gov.co/sneci/politica/Documents/Conpes-3678-21jul2010.pdf>
- Consejo Privado Competitividad. (Agosto de 2012). *Ejecución y decisión política*. Obtenido de Compite: http://www.compitem.com.co/site/wp-content/uploads/2012/09/Compitem_Agosto2012.pdf
- Consejo Privado de Competitividad . (2007). *Competitividad: ¿qué es y por qué es importante?* Obtenido de www.compitem.com.co: <http://www.compitem.com.co/site/wp-content/uploads/informes/2007-2008/04-CAPITULO1.pdf>
- Consejo Privado de Competitividad. (17 de Noviembre de 2014). *Ciencia, tecnología e innovación*. Obtenido de Informe Nacional de Competitividad:
<http://www.compitem.com.co/site/informe-nacional-de-competitividad-2014-2015/>

- Córdoba, R. (1 de Marzo de 2014). *"Sin coordinación no hacemos nada"*. Obtenido de Revista Semana: <http://www.semana.com/economia/articulo/rosario-cordoba-habla-de-competitividad-innovacion/379022-3>
- Crespi, G., Fernández-Arias, E., & Stein, E. (17 de Septiembre de 2014). *¿Cómo repensar el desarrollo productivo?* Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: http://www.iadb.org/es/investigacion-y-datos/detalles-de-publicacion,3169.html?pub_id=IDB-BK-130
- DANE. (22 de Mayo de 2014). *Exportaciones*. Obtenido de [dane.gov.co](http://www.dane.gov.co): http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/comercio_exterior/exportaciones/2014/expo_tra_notra_mar14.xls
- DNP. (21 de Noviembre de 2014). *Bases del Plan de Desarrollo Nacional 2014-2018*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Bases%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%202014-2018.pdf>
- Ecopetrol S.A. (20 de Noviembre de 2014). *Instituto Colombiano del Petróleo*. Obtenido de Ecopetrol: <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Portafolio%20ICP/portafolio/centro/index.htm>
- El Espectador. (13 de Agosto de 2014). *Política para un país más competitivo*. Obtenido de El Espectador: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/politica-un-pais-mas-competitivo-articulo-510511>
- El Heraldó. (31 de Agosto de 2014). *La enfermedad holandesa muestras síntomas en el país*. Obtenido de ElHeraldo.co: <http://www.elheraldo.co/economia/la-enfermedad-holandesa-muestra-sintomas-en-el-pais-164666>
- Eslava, M., & Meléndez, M. (2009). *Politics, Policies and the Dynamics of Aggregate Productivity in Colombia*. Obtenido de BID: <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/1116/Politics%20Policies%20and%20the%20Dynamics%20of%20Aggregate%20Productivity%20in%20Colombia.pdf;jsessionid=52B9C18DB032A81F0159D146D59BB88A?sequence=1>
- Fedesarrollo & ACRIP. (Marzo de 2014). *Informe Mensual del Mercado Laboral*. Obtenido de Fedesarrollo: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2014/04/IML-Marzo-2014_Web.pdf
- Ferrando, A. P. (Junio de 2013). *SGPWE*. Obtenido de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/dml/Las_Cadenas_Globales_de_Valor_y_la_Medicion_del_Comercio.pdf
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: Productivity Press.

- Fuentes Hernández, A., Gutiérrez Herrán, Ó., & Galeano Echeverri, P. (Abril de 2014). *Infraestructura de transporte en Colombia*. Obtenido de Palacios Lleras: http://www.palacioslleras.com/wp-content/uploads/2014/06/boletin_infr14_palacioslleras.pdf
- Gaitán Villegas, J. (3 de Febrero de 2014). ¿Cómo cerrar la brecha de la productividad en Colombia? (C. E. Cabrera Garrido, Entrevistador)
- Global Approach Consulting. (2014). *Francia, un país para invertir en I+D*. Obtenido de Invest in France: <http://www.invest-in-france.org/Medias/Publications/2308/Francia-un-pais-para-invertir-en-I-plus-D.pdf>
- Gómez Gaviria, D., & Angarita, G. (1 de Enero de 2014). *Política Industrial: Una propuesta de política a la luz de la tensión entre fallas de mercado y fallas de gobierno*. Obtenido de Friedrich Ebert Stiftung en Colombia: library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/10473.pdf
- Gómez Torres, T. (19 de Marzo de 2014). *Project Finance: Bases Académicas*. Obtenido de AsoBancaria: http://www.asobancaria.com/portal/page/portal/Eventos/proximas_capacitaciones/memorias/2014/Project%20_finance1/Tab5/Teresa_Gomez.pdf
- Gómez, C. (10 de Agosto de 2014). 'La industria merece capítulo aparte en Plan de Desarrollo'. Obtenido de Portafolio.co: <http://www.portafolio.co/economia/entrevista-presidente-andi-agosto-2014>
- Gómez, H., & Mitchell, D. (Marzo de 2014). *Innovación y emprendimiento en Colombia: Balance, perspectivas y recomendaciones de política, 2014-2018*. Obtenido de Fedesarrollo: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/CUARDENOS-DE-FEDESARROLLO-No.-50-INNOVACI%C3%93N-Y-EMPREDIMIENTO-EN-COLOMBIA-debate_pres_2014_cuad50.pdf
- Griliches, Z. (1979). Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1) (Primavera): 92-116.
- Hausmann, R., & Klinger, B. (2006). *Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage on the Product Space*. Obtenido de Center for International Development at Harvard University: http://www.hks.harvard.edu/var/ezp_site/storage/fckeditor/file/pdfs/centers-programs/centers/cid/publications/faculty/wp/128.pdf
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. -L., & Hausmann, R. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, 317.

- IMD WCY. (2014). *The World Competitiveness Scoreboard 2014*. Obtenido de World Competitiveness Yearbook:
http://www.imd.org/uupload/IMD.WebSite/wcc/WCYResults/1/scoreboard_2014.pdf
- INNpuls. (16 de Noviembre de 2014). *¿quiénes somos?* Obtenido de INNpuls Colombia:
<http://www.innpulsacolombia.com/es/nuestra-organizacion>
- Institute of Industrial Engineers. (22 de April de 2014). *Acerca de IEE*. Obtenido de IEE:
<http://www.iienet2.org/Details.aspx?id=282>
- Laborde, M. N., & Veiga, L. (Diciembre de 2011). *La productividad*. Obtenido de Socrates:
<http://socrates.ieem.edu.uy/wp-content/uploads/2011/12/abc.pdf>
- Lewis, W. W. (2004). *The power of productivity*. Obtenido de McKinsey:
<http://econfaculty.gmu.edu/pboettke/workshop/spring05/Lewis.pdf>
- Mariño, L. (25 de Agosto de 2014). *El mercado local tiene el peor registro de productividad laboral*. Obtenido de Diario La República: http://www.larepublica.co/el-mercado-local-tiene-el-peor-registro-de-productividad-laboral_159976
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. Obtenido de Donella Meadows Institute: <http://www.donellameadows.org/the-limits-to-growth-now-available-to-read-online/>
- Ministerio de Educación. (Enero de 2012). *Sistema General de Regalías*. Obtenido de Educación superior. Boletín No. 18: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-92779_archivo_pdf_Boletin18.pdf
- Mischke, J., Regout, B., & Roxburgh, C. (1 de Octubre de 2010). *Why Europe lags behind United States in labor productivity*. Obtenido de McKinsey Global Institute:
<http://www.perpustakaan.jpm.my/equip-jpm-p/images/MCK/Mckinsey%202010/Why%20Europe.pdf>
- Mitchell, D. (16 de febrero de 2010). *V Conferencia Regional Andina sobre Empleo*. Obtenido de Cartagena de Indias:
<http://www.comunidadandina.org/camtandinos/CRAEV/documentos/VCRAE/conferencias%20dia%2016/Presentaci%C3%B3n%20Productividad%20Daniel%20Mitchell.ppt>
- Morecroft, J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback Systems Approach*. Boston: John Wiley & Sons Ltd The Atrium.
- OCDE. (2005). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data: The Measurement of Scientific and Technological Activities*. Paris: OCDE y Eurostat.

- OCDE. (2014). *Estudios de la OCDE de las Políticas de Innovación: Colombia*. Obtenido de OCDE: <http://www.oecd.org/sti/inno/colombia-innovation-review-assessment-and-recommendations-spanish.pdf>
- OCyT. (2013). *Indicadores de Ciencia y Tecnología*. Obtenido de Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología: http://ocyt.org.co/Portals/o/Documentos/COLOMBIA_2013.pdf
- Olaya, C. E. (2012). *Models that Include Cows: The Significance of Operational Thinking*. Obtenido de System Dynamics: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2012/proceed/papers/P1375.pdf>
- Pagés, C. (2010). *La era de la productividad: Cómo transformar las economías desde sus cimientos*. New York: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Portafolio. (19 de Febrero de 2013). *Colombia tiene petróleo para los próximos ocho años*. Obtenido de Portafolio.co: <http://www.portafolio.co/economia/produccion-petroleo-colombia>
- Portafolio.co. (13 de Agosto de 2014). *La competitividad, clave en el segundo mandato de Santos*. Obtenido de Portafolio: <http://www.portafolio.co/economia/competividad-colombia-plan-gobierno>
- Prieto, R. A. (2014). *Colombia: país de profesionales*. Obtenido de Universidad Sergio Arboleda: http://www.usergioarboleda.edu.co/egresados/Colombia_pais_de_profesionales.htm
- Programa de Transformación Productiva. (23 de Abril de 2014). *¿Qué es el Programa de Transformación Productiva?* Obtenido de ptp.com.co: <http://www.ptp.com.co/contenido/contenido.aspx?catID=607&conID=1>
- PTP. (21 de Noviembre de 2013). *Programa Piloto de Productividad. Términos de la Convocatoria*. Obtenido de Programa de Transformación Productiva: http://www.bancoldex.com/documentos/T%C3%A9rminos_de_Referencia_Convocatoria_PPP.pdf
- PTP. (29 de octubre de 2014). *¿Qué es el Programa de Transformación Productiva?* Obtenido de Programa de Transformación Productiva: <https://www.ptp.com.co/contenido/contenido.aspx?catID=607&conID=1>
- Reikard, G. (2011). Total Factor Productivity and R&D in the Production Function. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 601-13.
- République Française Le Gouvernement. (2014). *Invertir en Francia 2014*. Obtenido de Invest in France: <http://www.invest-in-france.org/Medias/Publications/2591/INVERTIR-EN-FRANCIA.pdf>

- Revista Dinero. (10 de 02 de 2008). *Lo que debe saber sobre el programa de transformación productiva*. Obtenido de dinero.com: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/lo-debe-saber-sobre-programa-transformacion-productiva/68966>
- Revista Semana. (26 de enero de 2013). *El drama de los textileros*. Obtenido de Revista Semana: <http://www.semana.com/economia/articulo/el-drama-textileros/330717-3>
- Revista Semana. (4 de Mayo de 2014). *Las 100 empresas más grandes de Colombia*. Obtenido de Revista Semana: <http://www.semana.com/100-empresas/articulo/las-100-empresas-mas-grandes-de-colombia/386409-3>
- Richardson, G. P. (Septiembre de 2011). *Reflections on the foundations of system dynamics*. Obtenido de System Dynamic Review: <http://obssr.od.nih.gov/issh/2012/files/Richardson%202011.pdf>
- Richmond, B. (1993). Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 113-133.
- Ros, J. (Mayo de 2014). *Productividad y crecimiento en América Latina: ¿Por qué la productividad crece más en unas economías que en otras?* Obtenido de CEPAL: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/3/53043/Productividadycrecimiento.pdf>
- Ruiz Granados, C. (15 de octubre de 2014). *Los colombianos son los que más trabajan en la región con 2.770 horas*. Obtenido de Diario La República: <http://www.larepublica.co/node/180481>
- Senge, P. (1990). *La Quinta Disciplina*. Obtenido de Gerencia Estratégica: <http://gerenciaestrategica.pbworks.com/w/file/55691078/LA%2520QUINTA%2520DISCIPLINA%2520-%2520PETER%2520SENGE.pdf>
- Smith, K. (2006). *Measuring Innovation. The Oxford Handbook of Innovation*. Nueva York: Oxford University Press.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Massachusetts Institute of Technology.
- SuperSociedades. (10 de Noviembre de 2014). *SIREM*. Obtenido de Estados Financieros con Corte a 31 de Diciembre de 2013: <http://www.supersociedades.gov.co/asuntos-economicos-y-contables/estudios-y-supervision-por-riesgos/SIREM/Paginas/default.aspx>
- The Economist. (20 de Septiembre de 2014). *Latin America's Korean dream*. Obtenido de The Economist: <http://www.economist.com/news/americas/21618785-case-modern-industrial-policy-latin-americas-korean-dream>
- The Economist Intelligence Unit. (2 de Septiembre de 2014). *Colombia: 5-year forecast table*. ViewsWire. Bogotá, Colombia: Economis Intelligence Unit.

Villarreal, E. (27 de octubre de 2014). *Universidades latinoamericanas: malas condiciones, peores resultados*. Obtenido de Revista Virtual Razón Pública:
<http://www.razonpublica.com/index.php/econom-y-sociedad-temas-29/8008-universidades-latinoamericanas-malas-condiciones,-peores-resultados.html>

Winch, G. W., & Arthur, D. J. (Junio de 2002). User-parameterised generic models: a solution to the conundrum of modelling access for SME? *System Dynamics Review Vol 18. No. 3 (Fall 2002): 339-357*. Obtenido de System Dynamics Review.

World Economic Forum. (2013). *World Competitiveness Report 2013 - 2014*. Geneva, Switzerland: Klaus Schwab.

Zúñiga, F. (4 de Abril de 2014). *Universidad Yachay: El nuevo polo tecnológico de Latam*. Obtenido de MBA y Educación Ejecutiva:
<http://mba.americaeconomia.com/articulos/reportajes/universidad-yachay-el-nuevo-polo-tecnologico-de-latam>

Anexos

Anexo 1. Aspectos que describen un proyecto de Investigación Científica

Aspectos que describen un proyecto de Investigación Científica (Colciencias, 2011):

- ☐ Título del proyecto
- ☐ Monto solicitado para deducción tributaria
- ☐ Resumen ejecutivo
- ☐ Tipo de proyecto
- ☐ Identificación y descripción del conocimiento que generará el proyecto de investigación
- ☐ Planteamiento del problema o necesidad
- ☐ Estado del arte
- ☐ Objetivos
- ☐ Metodología propuesta
- ☐ Trayectoria y capacidad del grupo de trabajo o de las instituciones que participan en el proyecto
- ☐ Distribuciones de responsabilidades
- ☐ Bibliografía
- ☐ Impacto ambiental del proyecto
- ☐ Aspectos de propiedad intelectual
- ☐ Cronograma
- ☐ Resultados
- ☐ Impactos esperados
- ☐ Personal
- ☐ Presupuesto
 - o Personal
 - o Adquisición de equipos
 - o Materiales e insumos
 - o Software
 - o Servicios tecnológicos
 - o Consultoría especializada
 - o Capacitación
 - o Viajes
 - o Salidas de campo
 - o Bibliografía
 - o Gastos de propiedad intelectual
 - o Adecuación de infraestructura
 - o Certificaciones
 - o Gastos de administración

Anexo 2. Aspectos que describen un proyecto de Desarrollo Tecnológico

Aspectos que describen proyectos de “Desarrollo Tecnológico” (Colciencias, 2011):

- ☐ Título del proyecto
- ☐ Monto solicitado para deducción tributaria
- ☐ Resumen ejecutivo
- ☐ Tipo de proyecto
- ☐ Identificación y caracterización del desarrollo tecnológico de la propuesta
- ☐ Pre-evaluación del mercado para el desarrollo tecnológico
- ☐ Planteamiento del problema o necesidad
- ☐ Estado del Arte
- ☐ Objetivos
- ☐ Metodología propuesta
- ☐ Trayectoria y capacidad del grupo de trabajo o de las instituciones que participan en el proyecto
- ☐ Distribución de responsabilidades
- ☐ Bibliografía
- ☐ Impacto ambiental del proyecto
- ☐ Aspectos de propiedad intelectual
- ☐ Cronograma
- ☐ Resultados
- ☐ Impactos esperados
- ☐ Personal
- ☐ Presupuesto
 - o Personal
 - o Adquisición de equipos
 - o Materiales e insumos
 - o Software
 - o Servicios tecnológicos
 - o Consultoría especializada
 - o Capacitación
 - o Viajes
 - o Salidas de campo
 - o Bibliografía
 - o Difusión de resultados
 - o Gastos de propiedad intelectual
 - o Adecuación de infraestructura
 - o Certificaciones
 - o Gastos de Administración

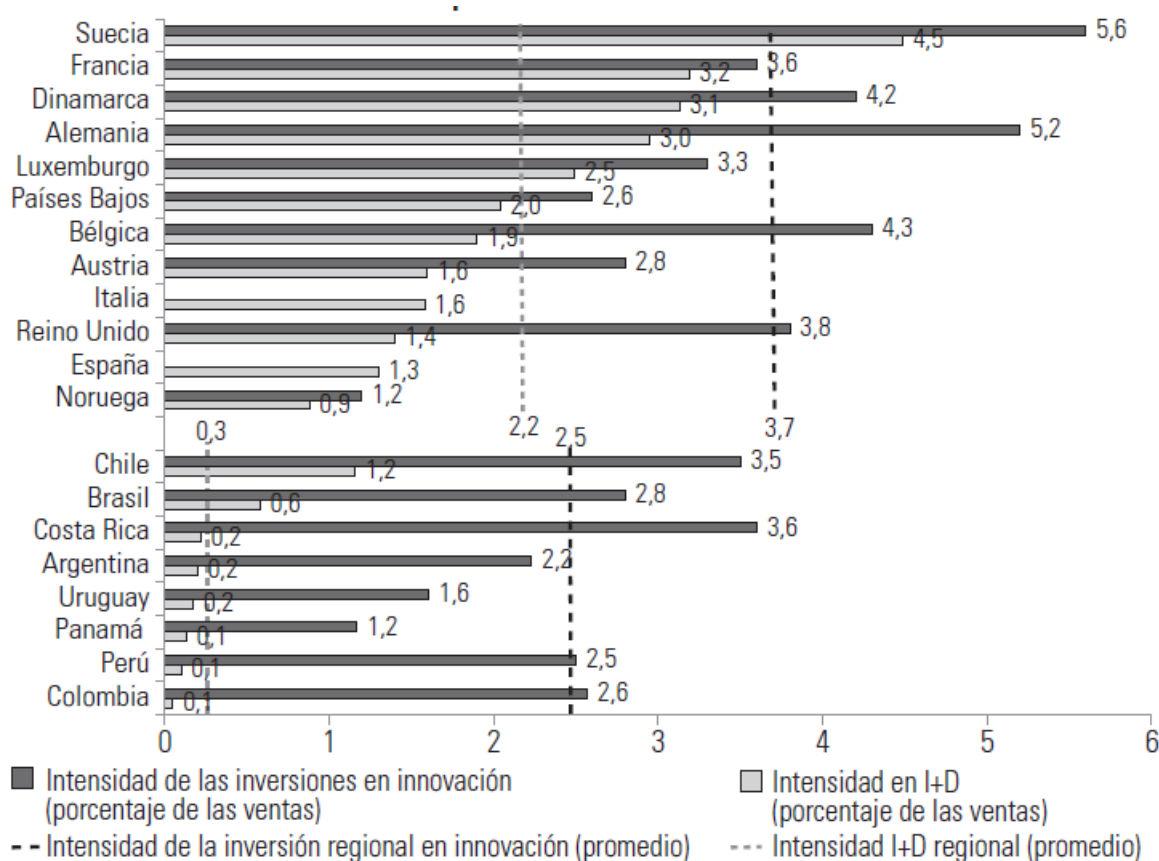
Anexo 3. Promedio anual de horas trabajadas por personas empleadas en algunos países del mundo. Fuente: (Ruiz Granados, 2014)



Anexo 4. Indicadores de Innovación en América Latina. Fuente: (Arias & Martínez Anaya, 2014)



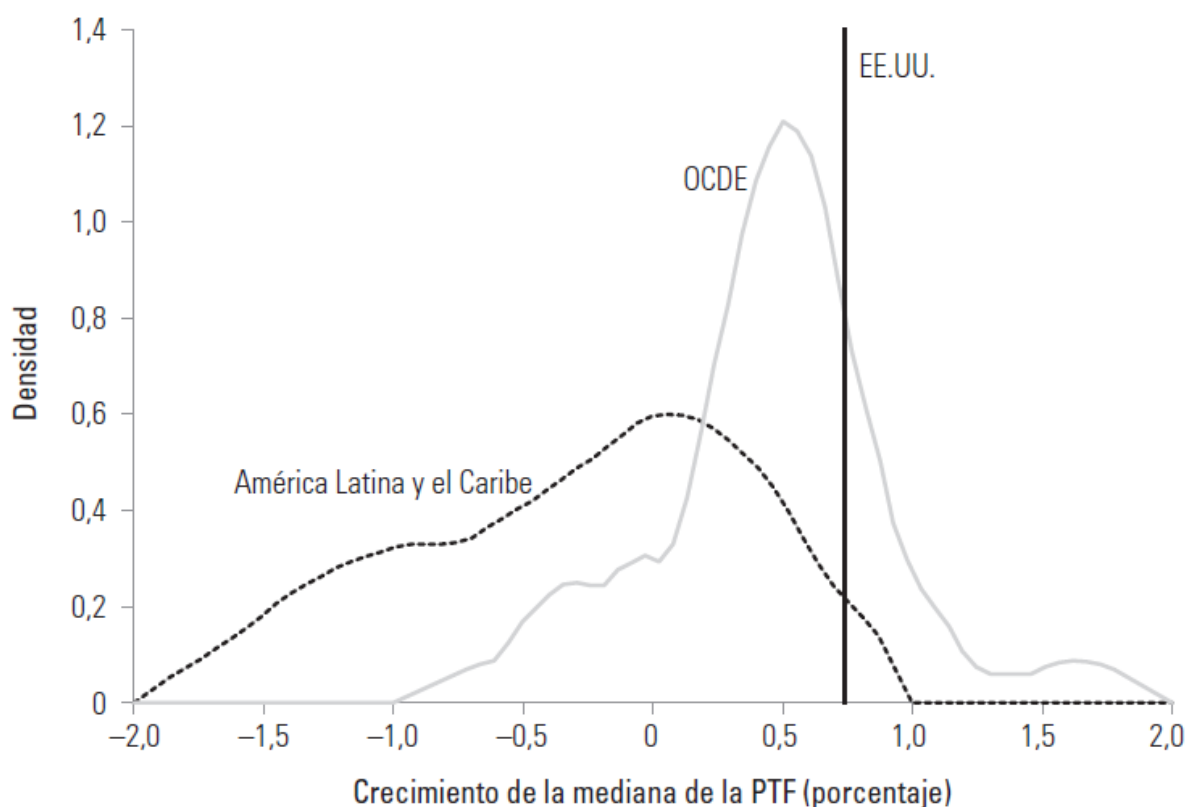
Anexo 5. Inversión en la innovación en las empresas. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)



Fuentes: Encuestas de innovación para Argentina (1998–2001), Brasil (2005), Chile (2004–2005), Colombia (2003–2004), Costa Rica (2008), Panamá (2008), Perú (2011) y Uruguay (2005–2006). Los datos para los países de la OCDE corresponden a 2009, excepto para España e Italia, que provienen de Eurostat.

Nota: Los indicadores se refieren a la industria manufacturera.

Anexo 6. Crecimiento de la productividad total de los factores. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)

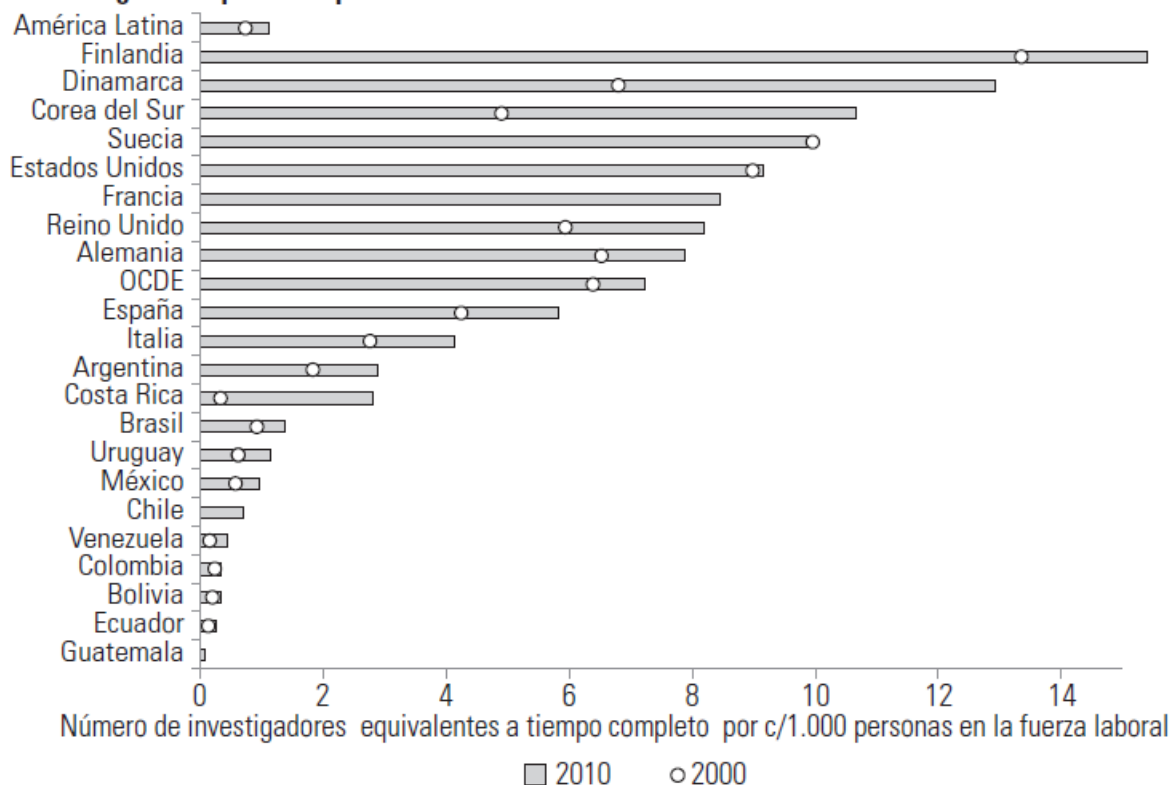


Fuente: Cálculos propios sobre la base del proyecto Penn World Table 8.0 (PWT).

Nota: El gráfico presenta la distribución del crecimiento medio de la productividad para cada país en el período 1960–2010. La línea vertical representa a EE.UU.

Anexo 7. Investigadores por 1.000 personas en la fuerza laboral. Fuente: (Crespi, Fernández-Arias, & Stein, 2014)

c. Investigadores por 1.000 personas en la fuerza laboral



Fuente: Cálculos propios sobre la base de la OCDE (2010) y RICYT (2013).

Notas: Los datos corresponden a 2010. Los últimos datos disponibles para Ecuador son de 2008, y los de Estados Unidos y la OCDE, de 2007. Los datos disponibles más cercanos para Brasil, Dinamarca, Ecuador y Suecia corresponden a 2001, y en el caso de Costa Rica, a 2003.

Anexo 8. Tipología de I+D

Las definiciones a continuación son tomadas del documento de tipología de proyectos documentado en el Acuerdo 1 de 2011 del Consejo Nacional de Beneficios Tributarios (CNBT). En este “se adoptan las tipologías de proyectos de carácter científico, tecnológico e innovación mediante las que se clasifican los proyectos calificados por el CNBT”. Referencia: (CNBT. A1, 2011). Adicionalmente la información sobre los grupos de investigación se encuentra en el Modelo de medición de Grupos de Investigación, Tecnológica o de Innovación Año 2008 de Colciencias.

Proyecto: Es un conjunto coherente e integral de actividades, herramientas, recursos y prácticas coordinadas e interrelacionadas que buscan alcanzar unos objetivos específicos, utilizando una metodología definida, en un periodo de tiempo determinado, con unos insumos y costos definidos o previamente estimados. El cual busca mejorar una situación, solucionar una necesidad sentida o un problema existente.

Investigación y Desarrollo (I+D): Comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones. El término I+D engloba tres actividades: *investigación básica*, *investigación aplicada* y *desarrollo experimental*.

Investigación básica: Consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.

Investigación aplicada: Consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.

Desarrollo experimental: Consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes.

Desarrollo Tecnológico: Consiste en la aplicación de los resultados de la investigación, o de cualquier otro tipo de conocimiento científico, para la fabricación de nuevos materiales, productos, para el diseño de nuevos procesos, sistemas de producción o prestación de servicios, así como la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes. Esta actividad incluirá la materialización de los resultados de la investigación en un plano, esquema o diseño, así como la creación de prototipos no comercializables y los proyectos de demostración inicial o proyectos piloto, siempre que los mismos no se conviertan o utilicen en aplicaciones industriales o para su explotación comercial.

Proyecto de Investigación Científica: Es aquel que se refiere a un conjunto articulado y coherente de actividades orientadas a alcanzar uno o varios objetivos relacionados con la generación o adaptación de conocimiento, siguiendo una metodología definida, para lo cual precisa de un equipo de personas idóneas así como de otros recursos cuantificados en forma de presupuesto, que prevé el logro de determinados resultados sin contravenir las normas y buenas prácticas establecidas, y cuya programación en el tiempo responde a un cronograma con una duración limitada.

Grupo de Investigación científica, tecnológica o de innovación: Se define Grupo de Investigación científica o tecnológica como el conjunto de personas que se reúnen para realizar investigación en una temática dada, formulan uno o varios problemas de su interés, trazan un plan estratégico de largo o mediano plazo para trabajar en él y producen unos resultados de conocimiento sobre el tema en cuestión. Un grupo existe siempre y cuando demuestre producción de resultados tangibles y verificables fruto de proyectos y de otras actividades de investigación convenientemente expresadas en un plan de acción (proyectos) debidamente formalizado.

Anexo 9. Estados Financieros de tres sectores en Colombia durante 2013. Fuente: (SuperSociedades, 2014)

MANUFACTURERO				Cifras en miles de millones de pesos colombianos				
Ingresos	Cantidad	Ventas	Uti Ant Imp	Impuestos	Utilidad Neta	Activos	Pasivos	Patrimonio
1.000 y más	11	\$ 16.088	\$ 826	\$285	\$ 541	\$ 10.442	\$5.655	\$ 4.788
500 - 1.000	39	\$ 26.775	\$ 2.203	\$720	\$ 1.484	\$ 31.850	\$ 11.667	\$20.183
100 - 500	203	\$ 44.269	\$ 2.009	\$827	\$ 1.181	\$ 48.118	\$ 20.841	\$27.277
40-100	300	\$ 18.762	\$ 938	\$398	\$ 541	\$ 22.115	\$9.841	\$ 12.274
20 - 40	360	\$ 10.079	\$ 496	\$ 212	\$284	\$ 10.296	\$ 4.764	\$ 5.532
10 - 20	521	\$ 7.351	\$ 409	\$ 166	\$243	\$ 7.864	\$3.505	\$ 4.358
5-10	651	\$4.629	\$ 266	\$ 102	\$ 164	\$ 5.008	\$2.344	\$ 2.664
2 - 5	967	\$ 3.185	\$ 82	\$ 63	\$ 19	\$3.740	\$ 1.661	\$ 2.079
0 - 2	1263	\$ 1.123	\$ (63)	\$ 22	\$(85)	\$3.758	\$ 1.357	\$ 2.401
	4315		\$ 7.167	\$ 2.795				

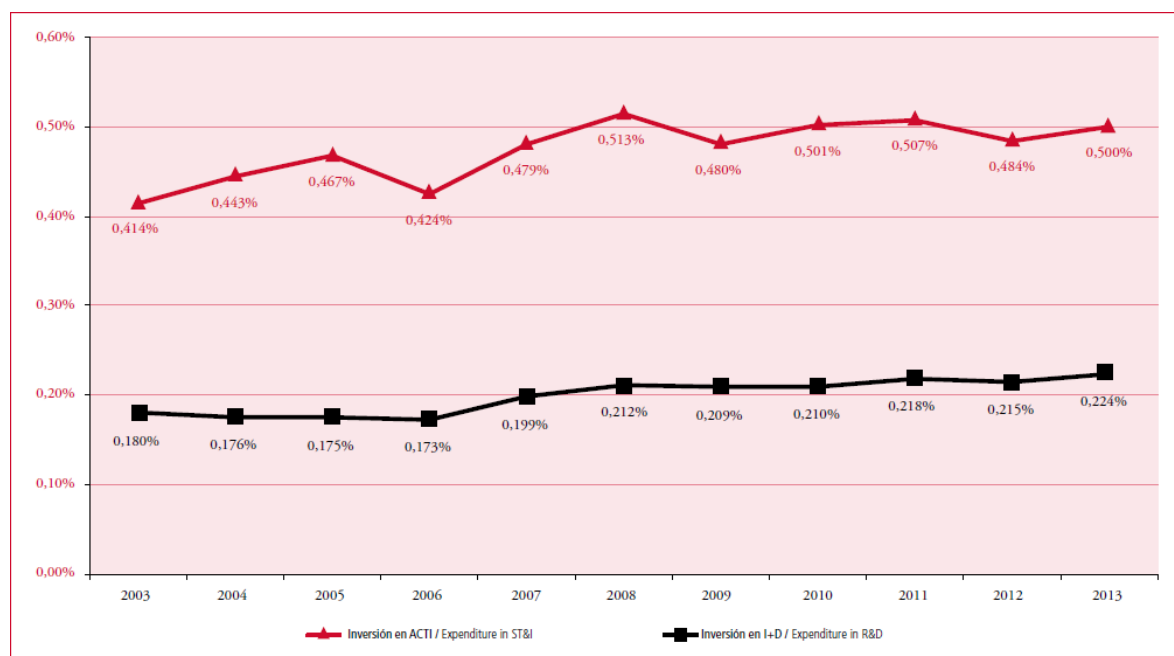
AGROPECUARIO				Cifras en miles de millones de pesos colombianos				
Ingresos	Cantidad	Ventas	Uti Ant Imp	Impuestos	Utilidad Neta	Activos	Pasivos	Patrimonio
1.000 y más	0	\$-	\$-	\$-	\$ -	\$-	\$-	\$-
500 - 1.000	1	\$ 673	\$ 19	\$ 6	\$ 13	\$ 290	\$ 106	\$ 185
100 - 500	20	\$ 3.506	\$ (1)	\$ 23	\$ (23)	\$ 3.008	\$ 1.628	\$1.379
40-100	35	\$ 2.145	\$96	\$ 34	\$ 61	\$ 3.045	\$998	\$2.047
20 - 40	52	\$ 1.423	\$ 23	\$17	\$ 7	\$ 1.884	\$828	\$1.056
10 - 20	108	\$ 1.485	\$ 7	\$19	\$ (12)	\$ 3.143	\$949	\$2.194
5-10	159	\$ 1.151	\$ 29	\$19	\$ 10	\$ 2.609	\$989	\$1.620
2 - 5	278	\$ 907	\$ 78	\$ 23	\$ 55	\$ 3.392	\$ 1.102	\$ 2.289
0 - 2	1014	\$ 531	\$69	\$ 26	\$ 43	\$ 7.720	\$ 2.131	\$ 5.589
	1667		\$ 321	\$ 167				

SERVICIOS				Cifras en miles de millones de pesos colombianos				
Ingresos	Cantidad	Ventas	Uti Ant Imp	Impuestos	Utilidad Neta	Activos	Pasivos	Patrimonio
1.000 y más	4	\$ 9.293	\$ 2.132	\$ 34	\$ 2.098	\$35.670	\$ 8.547	\$ 27.124
500 - 1.000	7	\$ 4.471	\$ 1.263	\$ 258	\$ 1.004	\$22.095	\$ 4.418	\$ 17.677
100 - 500	102	\$18.030	\$ 3.657	\$ 385	\$ 3.273	\$72.971	\$ 7.787	\$ 65.184
40-100	232	\$ 14.175	\$ 1.722	\$ 386	\$1.337	\$ 35.601	\$12.935	\$ 22.667
20 - 40	341	\$ 9.484	\$ 965	\$ 280	\$ 685	\$ 16.537	\$ 7.321	\$9.215
10 - 20	533	\$ 7.581	\$ 1.232	\$ 260	\$ 973	\$22.636	\$ 6.061	\$ 16.575
5-10	788	\$ 5.577	\$ 790	\$ 208	\$ 582	\$16.989	\$ 5.306	\$ 11.683
2 - 5	1290	\$ 4.148	\$ 824	\$ 186	\$ 639	\$18.085	\$ 4.662	\$ 13.423
0 - 2	5864	\$ 2.924	\$ 1.343	\$ 256	\$ 1.087	\$60.053	\$ 11.861	\$ 48.192
	9161		\$ 13.930	\$ 2.253				

Anexo 10. Estado Resultados y Balance General con crecimiento porcentual de CUPERZ S.A. 2008 – 2013. Cifras en miles de millones de pesos. Fuente: (SuperSociedades, 2014)

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Activos	\$5,63	\$5,9(4,5%)	\$6,3(7,3%)	\$10,4(65,1%)	\$12,1(16,4%)	\$10,7(-12,1%)
Pasivos	\$2,54	\$2,8(9,6%)	\$3,4(23%)	\$6,2(80,2%)	\$7,8(25,9%)	\$6,1(-21,3%)
Patrimonio	\$3,09	\$3,1(0,3%)	\$2,9(-6,8%)	\$4,3(47,3%)	\$4,4(2,7%)	\$4,6(4,2%)
Ventas	\$9,09	\$6,1(-33,2%)	\$8,4(38,7%)	\$10,9(29,2%)	\$11,9(9,6%)	\$15,5(29,9%)
Uti Bruta	\$2,74	\$2,2(-18%)	\$3(32,9%)	\$4(32,5%)	\$4,4(12%)	\$5,8(31,8%)
Gastos Admón.	\$1,20	\$1(-20,2%)	\$1,1(14,7%)	\$1,2(10,3%)	\$1,4(12,3%)	\$1,6(17,8%)
Gastos Ventas	\$1,15	\$1(-11,9%)	\$1,3(31%)	\$1,6(24%)	\$1,9(13,8%)	\$2,7(45,4%)
Uti Operacional	\$0,40	\$0,3(-29,5%)	\$0,6(102,2%)	\$1,1(95,9%)	\$1,2(8,9%)	\$1,5(26,6%)
Ingresos No Ope	\$0,05	\$0(-0,5%)	\$0,1(33,2%)	\$0(-23,8%)	\$0,1(44,8%)	\$0(-90,5%)
Gastos No Ope	\$0,18	\$0,3(43,6%)	\$0,2(-28%)	\$0,3(65,9%)	\$0,3(-7,2%)	\$0,4(38,5%)
Impuestos	\$0,10	\$0,1(-48,9%)	\$0,2(286,2%)	\$0,3(72,2%)	\$0,4(21,8%)	\$0,4(3,5%)
Utilidad Neta	\$0,16	\$0(-93,5%)	\$0,2(2224,9%)	\$0,5(107,9%)	\$0,6(13,7%)	\$0,7(23,1%)
ROE (UN/Patri)	5,11%	0,33%	8,21%	11,58%	12,82%	15,13%

Anexo 11. Evolución de la inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación como porcentaje del PIB en Colombia, 2003 - 2013. Fuente: (OCyT, 2013)



Fuentes: OCyT, DANE - EDIT II a VI