



**Universitat Autònoma de Barcelona**

**EVALUACIÓN MULTI-  
DIMENSIONAL DE LOS IMPACTOS DE  
LAS INNOVACIONES  
TECNOLÓGICAS:  
RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE  
DIFERENTES APROXIMACIONES  
METODOLÓGICAS**

**Tesis Doctoral**

**Doctorado Internacional en Creación y Gestión de Empresas  
Departament d'Economia de l'Empresa  
Universitat Autònoma de Barcelona**

**Autora**  
**Graciela Vedovoto**  
gvedovoto@gmail.com

**Director**  
**Dr. Diego Prior**  
diego.prior@uab.cat

**BELLATERRA (CERDANYOLA DEL VALLES), OCTUBRE DE  
2013**



## **RESULTADOS INICIALES DE LA TESIS (PUBLICACIONES EN REVISTA Y ACEPTADOS PARA PRESENTACION EN REUNIONES CIENTÍFICAS)**

### *Artículos en revistas:*

Ordenados por fecha de realización:

#### **Evaluación de impactos intangibles de la I+D: el desarrollo de una metodología utilizada en centros públicos de investigación.**

Publicado en la *Revista Científica Teorías, Enfoques y aplicaciones en las Ciencias Sociales*. – TEACs en la edición de Junio 2010, Volumen n°4, Año 2. ISSN N° 18569773 y Deposito Legal N° PP200902LA3228.

#### **Opciones Reales: una propuesta para valorar proyectos de I+D en centros públicos de investigación.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB) y Diego Prior-Jiménez (UAB)

*Artículo aceptado y pendiente de publicación en la Revista Contaduría y Administración, de la Universidad Nacional Autónoma de México.*

#### **Evaluación de impactos económicos y sociales de la I+D: resultados generados por investigación agrícola publica en Brasil.**

*Artículo aceptado y pendiente de publicación en Oikos – Revista de la Escuela de Administración y Economía de la Universidad Católica Cardenal Raul Silva Henríquez, Chile.*

#### **Evaluación de los impactos intangibles de tecnologías generadas por los centros públicos agrícolas brasileñas de investigación: un estudio exploratorio**

*Artículo sometido a evaluación en revista científica.*

### *Resúmenes y artículos publicados en anales de Reuniones Científicas*

#### **Evaluación de impactos intangibles de la I+D agrícola: resultados obtenidos en centros de investigación.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB) y Luís Fernando Martins Ribeiro (UnB).

Tipo de publicación: resumen

Medio de publicación: II Congreso Internacional en Ciencias, Tecnologías y Cultura. Diálogo entre las disciplinas del conocimiento. IDEA - Universidad de Santiago de Chile (USACH) del 29 de octubre al 01 de noviembre de 2010.

#### **Opciones Reales: una propuesta para valorar proyectos de I+D en centros públicos de investigación.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB) y Diego Prior-Jiménez (UAB)

Tipo de publicación: resumen

Medio de publicación: II Congreso Internacional en Ciencias, Tecnologías y Cultura. Diálogo entre las disciplinas del conocimiento. IDEA - Universidad de Santiago de Chile (USACH) del 29 de octubre al 01 de noviembre de 2010.

**Evaluación de impactos intangibles de investigación & desarrollo en agricultura: resultados obtenidos en centros de investigación.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB), Daniela Vieira Marques (Embrapa) y Luís Fernando Martins Ribeiro (UnB – Universidade de Brasília – Brasil).

Tipo de publicación: resumen y artículo completo.

Medio de publicación: VIII Congreso Latinoamericano de Sociología Rural. Porto de Galinhas, PE, Brasil. 15 al 19 de noviembre del 2010.

**Evaluación de impactos de innovaciones: un análisis sistémico los beneficios económicos generados por una muestra de tecnologías Embrapa en el periodo 2001-2010**

Autores: Graciela Vedovoto, Daniela Vieira Marques y Antonio Flavio Dias Avila

Tipo de publicación: resumen

Medio de publicación: III Congreso Regional de Economía Agraria - Congreso realizado en Valdivia entre el 9 y 11 de noviembre de 2011

**Evaluation of economic, social and environmental impacts of agricultural research in Brazil: a meta-analysis.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB) y Diego Prior-Jiménez (UAB)

Tipo de publicación: resumen

Medio de publicación: ESRS 2011 "XXIV European Congress for Rural Sociology" Congreso realizado entre 22 a 25 de agosto de 2011 en Chania, Creta, Grecia.

**Evaluación de Impactos económicos, sociales y ambientales de la investigación agrícola en Brasil: un meta-análisis**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB) y Diego Prior-Jiménez (UAB)

Tipo de publicación: resumen

Aceptado para presentación en: XVII Seminário Acadêmico APEC “Entre o Atlântico e o Mediterrâneo: 20 anos de saberes e intercâmbio. Congreso realizado en Barcelona, España de 12 a 15 de junio de 2012

**Evaluation of intangible impacts of the agricultural R&D: results obtained in public research centers**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB) y Diego Prior-Jiménez (UAB)

Tipo de publicación: resumen

Aceptado para presentación en: XIII World Congress of Rural Sociology. Congreso realizado en Lisboa, Portugal de 29 de Julio hasta 4 de agosto de 2012.

**Evaluation of intangible impacts of the agricultural R&D: results obtained in public research centers**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB)

Aceptado para presentación en: Istanbul International Conference on Business and Economics (ICBE). Congreso realizado en Istanbul – Turkia, entre 03 y 04 de agosto de 2012.

**Evaluation of economic, social and environmental impacts of agricultural research in Brazil: a meta-analysis**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB)

Aceptado para presentación en: Istanbul International Conference on Business and Economics (ICBE). Congreso realizado en Istanbul – Turkia, entre 03 y 04 de agosto de 2012.

**Evaluación de los impactos intangibles de tecnologías generadas por los centros públicos agrícolas brasileñas de investigación: un estudio exploratorio.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB y Embrapa)

*Artículo completo aceptado para presentación oral en el 51 Congreso de Sober - Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural entre 21 a 24 de julio de 2013, en Belém, Brasil.*

**Impactos intangibles de la I+D en centros públicos de Brasil: un estudio empírico.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB y Embrapa)

*Resumo aceptado en el ESADR 2013 (engloba: el VII Congresso da APDEA; el V Congresso da SPER y el I Encontro Lusófono em Economia, Sociologia, Ambiente e Desenvolvimento Rural). Congreso realizado en Evora, Portugal, entre 15 a 19 de octubre.*

**Evaluación de Impactos Socio-Económicos de Innovaciones Tecnológicas: Metodologías Utilizadas en Centros Públicos de Investigación.**

Autores: Graciela Vedovoto (UAB y Embrapa)

*Resumo aceptado en XV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica, que ocurrirá de 27 a 31 de octubre de 2013 en Porto, Portugal.*



## RESUMEN

Es innegable que la incorporación de innovaciones tecnológicas en la agricultura produce algún efecto en los adoptantes de las tecnologías y que este cambio se refleja también en el desarrollo socioeconómico de una región. De esa manera, cada vez más necesario investigar, evaluar y, en la medida del posible, medir estos efectos.

La evaluación de impactos de tecnologías posee un doble propósito. Primeramente usar los resultados como *feedback* para la *I+D* con el propósito de direccionar futuras investigaciones y para la rendición de cuentas de la institución que genera las innovaciones, si es pública hay que reportar resultados a los inversores (el gobierno en la mayoría de los casos) y hacia la sociedad.

Esa tesis doctoral tiene como objetivo general analizar el proceso de evaluación de impactos económicos, sociales y debido a la generación de intangibles de innovaciones generadas por centros públicos brasileños de investigación. La evaluación de impactos de estos centros será analizada de tres formas:

Primero por medio de una revisión sistemática de la evaluación de los efectos económicos y sociales de una muestra de evaluaciones de impacto. La metodología consistió en el uso de estadística descriptiva y de la técnica de datos tipo panel probando algunos modelos de panel estático y dinámico. Los resultados indican una correlación positiva que permite afirmar que las evaluaciones con altos impactos económicos tienden también a presentar una elevada generación de empleo. Hay un debate interesante sobre el tema en la literatura, porque es común encontrar que la introducción de las innovaciones tecnológicas en la agricultura elimina puestos de trabajo. Además, el estudio demostró que existen diferencias entre la media de beneficios económicos de acuerdo con el tipo de centro de investigación que genera las tecnologías. El modelo de panel dinámico, que utiliza el estimador Arellano-Bover(1995) / Blundell-Bond (1998), permitió confirmar y explicar esta conclusión. La aportación del trabajo está en el hecho de analizar la evaluación de diez años de resultados de un conjunto de centros de investigación de diferente naturaleza (investigación básica, investigación aplicada y centros orientados hacia ecorregiones específicas) que han contribuido a cambiar la agricultura en América Latina.

Segundo, a través de un estudio exploratorio de datos de evaluaciones de impactos intangibles generados por estos centros. En esa parte de la tesis doctoral, se busca verificar la relación existente entre los activos intangibles, los centros de investigación de diferente naturaleza y sus impactos económicos. En lo que se refiere al tratamiento estadístico de los datos, se utilizó el análisis de correlación, métodos no paramétricos y regresiones múltiples. Los resultados indican que los intangibles relacionados con la capacitación de personas, por ejemplo, se manejan de forma semejante en todos los tipos de centro mientras que el intercambio de conocimiento ocurre de forma diferente, según el tipo de centro, de forma que los centros orientados hacia la investigación básica se destacan por presentar como significativos unos intangibles muy específicos. Asimismo, los resultados revelaron que la innovación y la imagen de la institución justifican la aparición de beneficios económicos elevados.

Y, tercero, por medio de la evaluación *ex ante* de un proyecto de innovación biotecnológica utilizando un método tradicional, el Valor Actual Neto, y también mediante el uso de las Opciones Reales. Se utiliza la Teoría del Excedente Económico y simulaciones de Monte Carlo para estimar los beneficios sociales. Los resultados indican que el enfoque de las Opciones Reales es muy adecuado para el análisis de proyectos en centros públicos de *I+D*.

La muestra utilizada para verificar los dos primeros objetivos de la tesis incluye los resultados de evaluaciones de impactos económicos, sociales y de algunos intangibles realizadas por 37 de los centros de investigación de Embrapa, Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria, entre los años de 2001 y 2010. De esa forma, se analizaron, individualmente, cerca de 1200 informes de resultados de evaluación de impacto de tecnologías.

Para contestar a la tercera pregunta de investigación, se estimaron los impactos económicos de una innovación biotecnológica (más concretamente, de un tipo de semilla de trigo). Los datos para la realización del cálculo se obtuvieron de los investigadores del Centro de Investigación en Trigo (CNPT) de Embrapa.

Se justifica la elección de Brasil y de las innovaciones desarrolladas en el sector agrícola en razón de la importancia económica y social que tiene para el país el desarrollo de las actividades de este sector, que genera una de cada tres unidades monetarias del Producto Interno Bruto – PIB. Como en muchos países, el buen desempeño de las exportaciones del sector, y la creciente generación de puestos de trabajo en la cadena de suministro, no puede atribuirse únicamente a la vocación agrícola. El desarrollo científico y tecnológico, obtenido de las inversiones en *I+D*, sigue siendo fundamental para la obtención de los resultados positivos de la agricultura brasileña.

## ABSTRACT

It is undeniable that the incorporation of technological innovations in agriculture results in an effect for adopters of technologies and that this change is also reflected in the economic development of a region. Thus, it is increasingly necessary to investigate, assess and, insofar as possible, to measure these effects.

Impact assessment of technology has a dual purpose. First it uses the results as feedback to the R&D for the purpose of directing future research and for the accountability of the institution that generates innovations, if public organizations must report results to investors (the government in most cases) and to society. This thesis aims at analyzing the process of assessing an economic and social point of view of the generation of innovations by Brazilian public research centers.

The assessment impacts of these centers will be analyzed in three ways:

First through a systematic review of information relating to the evaluation of economic and social impacts of a sample of impact assessments. The methodology involved the use of descriptive statistics as well as panel data techniques testing some models of static and dynamic panels. The results indicate a positive correlation to suggest that the high economic impact assessments also tend to have high employment generation. There is an interesting debate on the subject in the literature. So, it is common to find that the introduction of technological innovations in agriculture eliminated jobs. In addition, the study showed that there are differences between the average economic benefits according to the type of research center that generates the technologies. The dynamic panel model using the Arellano-Bover estimator (1995) / Blundell-Bond (1998) helped to confirm and explain this information. The contribution of the work is, in fact, to analyze the evaluation of 10-year results of a joint research centers of different types (basic, applied and oriented to specific ecoregions) that have contributed to change agriculture in Latin America.

Second, through an exploratory data it was assessed the impact of intangible assets generated by these centers. In this part of the thesis, is intended to verify the relationship between intangible assets, research of various kinds and economic impacts. With regards to the statistical treatment of the data, correlation analysis, nonparametric methods and multiple regressions were used. The results indicated that intangibles related to the training of people, for example, are handled similarly in all types of center, while knowledge sharing occurs differently depending on the type of facility. The centers oriented toward the basic research appear as those presenting a significant amount of specific intangibles. Results also revealed that innovation helped to explain most part of the economic benefits.

And third, through an appraisal of a biotechnology innovation project, results of two methods were used: firstly the traditional method, the net present value, and, secondly, through the use of real options. Surplus Economic Theory and Monte Carlo simulations were used to estimate the social benefits. The results indicated that the real options approach is well suited for the assessment of R&D public projects.

The sample used to verify the first two goals of the thesis consists of a sample of evaluations of economic, social and intangible aspects conducted by 37 research centers of Embrapa, the Brazilian Agricultural Research, between 2001 until 2010. Were analyzed around 1200 reports of results of technological impact assessment. To answer the third research question, were estimated economic impacts of biotechnology

innovation (wheat seed). The data for the completion of the calculation was obtained from the Wheat Research Center of Embrapa.

The choice of Brazil and the innovations developed in its agricultural sector comes from the importance of this sector for the country's development activities, which generates one in every three dollars of Gross Domestic Product - GDP. As in many countries, good export performance of the sector and the rising generation of jobs in the supply chain can not be attributed solely to the agriculture. The scientific and technological development, obtained through investments in R&D, remains crucial for obtaining positive results in the Brazilian agriculture.

## RESUMO

É inegável que a incorporação de inovações tecnológicas na agricultura resulta em algum efeito para os adotantes de tecnologias e que essa mudança também se reflete no desenvolvimento econômico de uma região. Assim, é cada vez mais necessário pesquisar, avaliar e, na medida do possível, medir esses efeitos.

A avaliação de impactos de tecnologias tem um duplo objetivo. Primeiro, os resultados são utilizados como *feedback* para a *P&D* com o objetivo de direcionar futuras pesquisas. O segundo objetivo diz respeito à prestação de contas da instituição, se é pública os resultados devem ser comunicados aos investidores (o governo na maioria dos casos) e à sociedade.

Esta tese tem como objetivo geral analisar o processo de avaliação de impactos econômicos, sociais e do ponto de vista da geração de intangíveis de inovações desenvolvidas por centros públicos brasileiros de pesquisa agropecuária. A avaliação dos impactos gerados pela *P&D* desses centros será analisada de três formas.

Primeiro por meio de uma revisão sistemática de dados relativos à avaliação de impactos econômicos e sociais de uma amostra de avaliações de inovações tecnológicas. A metodologia envolveu o uso de estatística descritiva e técnicas de dados em painel testando alguns modelos de painéis estáticos e dinâmicos. Os resultados indicam uma correlação positiva sugerindo que as avaliações de alto impacto econômico também tendem a ter elevada geração de emprego. Há um debate interessante sobre o assunto na literatura, é comum encontrar que a introdução de inovações tecnológicas na agricultura elimina postos de trabalho. Além disso, o estudo demonstrou que existem diferenças entre as médias dos benefícios econômicos de acordo com o tipo de centro de pesquisa, que gera as tecnologias. O modelo de painel dinâmico usando o estimador Arellano-Bover (1995) / Blundell-Bond (1998) ajudou a confirmar e explicar esta informação. A contribuição do trabalho é analisar 10 anos de resultados de centros de pesquisa de diferentes tipos (básica, aplicada e orientada para ecorregiões específicas) que têm contribuído para mudar a agricultura na América Latina.

Em segundo lugar, por meio de um estudo exploratório de dados de avaliações de impactos intangíveis gerados por inovações tecnológicas. Esta parte da tese se destinou a verificar a relação entre ativos intangíveis, los diferentes tipos de centros de pesquisa e impactos econômicos. No que diz respeito ao tratamento estatístico dos dados foi utilizada análise de correlação, métodos não-paramétricos e regressão múltipla. Os resultados indicaram que os intangíveis relacionados com a formação de pessoas, por exemplo, são tratados da mesma forma em todos os tipos de centro, enquanto o compartilhamento de conhecimento ocorre de forma diferente, dependendo do tipo de centro, sendo que os centros direcionados à pesquisa básica se destacam por apresentar como significativos alguns intangíveis muito específicas. Os resultados também revelaram que a inovação e a imagem da instituição ajudam a explicar os benefícios econômicos elevados.

E em terceiro lugar, por meio de avaliação de um projeto de inovação biotecnológica utilizando um método tradicional, o valor presente líquido, e também através do uso de opções reais. Utiliza-se a Teoria do Excedente Econômico e simulações de Monte Carlo para estimar os benefícios sociais. Os resultados indicaram que o enfoque das Opções Reais é adequado para a análise de projetos em centros públicos de *P&D*.

A amostra utilizada para verificar os dois primeiros objetivos da tese é composta por resultados de avaliações de impactos econômicos, sociais e de alguns intangíveis realizadas por 37 dos centros de pesquisa da Embrapa, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, entre os anos de 2001 a 2010. Foram analisados, individualmente, cerca de 1200 relatórios de resultados de avaliação de impactos de tecnologias.

Para responder a terceira pergunta de pesquisa da tese foram estimados os impactos econômicos de uma inovação biotecnológica (semente de trigo). Os dados para o cálculo se foram obtidos junto aos pesquisadores do Centro de Pesquisa em Trigo (CNPT) da Embrapa.

Justifica-se a escolha do Brasil e de inovações desenvolvidas no setor agrícola em razão da importância econômica e social que tem para o país o desenvolvimento das atividades deste setor, que gera uma de cada três unidades monetárias do Produto Interno Bruto – PIB. Como em muitos países, o bom desempenho das exportações do setor e a crescente geração de postos de trabalho na cadeia produtiva não são devidos unicamente à vocação agrícola. O desenvolvimento científico e tecnológico, obtido mediante investimentos em P&D, segue sendo fundamental para a obtenção dos resultados positivos da agricultura brasileira.

## CONTENIDO

RESULTADOS INICIALES DE LA TESIS (PUBLICACIONES EN REVISTA Y ACEPTADOS PARA PRESENTACION EN REUNIONES CIENTÍFICAS).....	3
RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	9
RESUMO.....	11
Índice de Tablas .....	15
Índice de Ilustraciones.....	16
Índice de gráficos .....	17
INTRODUCCIÓN.....	19
Estructura de la tesis.....	24
Aportaciones .....	30
CAPÍTULO 1 – MARCO TEÓRICO .....	31
1.1. Introducción .....	31
1.2. Evaluación de impactos de innovaciones tecnológicas .....	32
1.3. Evaluación de tecnologías en centros públicos de investigación.....	36
1.4. Campo temático - definiciones de partida.....	42
1.4.1. Teoría del Excedente Económico .....	45
1.4.2. Dimensión social .....	50
1.5. Conclusiones del capítulo.....	54
CAPÍTULO 2 - EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA <i>I+D</i> : RESULTADOS GENERADOS POR LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA PÚBLICA EN BRASIL .....	57
2.1. Introducción .....	57
2.2. Revisión de la literatura: qué es una revisión sistemática .....	59
2.3. Metodología .....	62
2.3.1. Definición de variables y características de la muestra .....	66
2.4. Resultados .....	68
2.5. Conclusiones del capítulo.....	82
CAPÍTULO 3 - EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE LOS INTANGIBLES GENERADOS EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLAS BRASILEÑOS: UN ESTUDIO EXPLORATORIO .....	85
3.1. Introducción .....	85
3.2. Revisión de la literatura .....	88
3.2.1. Consideraciones sobre intangibles en centros públicos de investigación .....	88
3.2.2. Intangibles y ciclo de vida de las innovaciones .....	92

3.3. Metodología.....	96
3.4. Resultados.....	99
3.5. Conclusiones del capítulo.....	109
CAPÍTULO 4 - OPCIONES REALES: UNA PROPUESTA PARA VALORAR PROYECTOS DE <i>I+D</i> EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN AGRARIA. ....	111
4.1. Introducción.....	111
4.2. Evaluación de los proyectos de <i>I+D</i> desarrollados en los centros públicos de investigación – consideraciones metodológicas.....	113
4.2.1. Métodos de evaluación de proyectos.....	113
4.2.2. <i>Opciones Reales</i> : teoría y métodos.....	117
4.3. Aplicación empírica: mejora genética de una variedad de trigo.....	120
4.3.1. Estimación De Costes.....	121
4.3.2. Flujo de Beneficios Sociales.....	124
4.3.3. Planteamiento general de la valoración de un proyecto de semilla mejorada genéticamente.....	125
4.3.4. Las Fases del Proyecto Contempladas como Opciones Reales.....	127
4.3.5. El cálculo de la volatilidad.....	129
4.3.6. Cálculo del valor de las opciones reales.....	132
4.4. Conclusiones del capítulo.....	137
CONCLUSIONES GENERALES.....	139
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXOS.....	157

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Resumen de los procedimientos metodológicos .....	29
Tabla 2 - Resumen de resultados y productos de Embrapa.....	37
Tabla 3 - Impactos y gastos operativos de Embrapa.....	38
Tabla 4 - Caracterización de los centros de investigación de Embrapa .....	40
Tabla 5 - Variables utilizadas en el estudio.....	67
Tabla 6 - Tipos de centro, centros y numero de evaluaciones .....	68
Tabla 7 - Estadísticas descriptivas .....	69
Tabla 8 - Resumen de los casos procesados.....	75
Tabla 9 - Matriz de correlaciones - Correlación de Pearson .....	75
Tabla 10 - Resultados del panel estático - modelo de efectos aleatorios .....	78
Tabla 11 - Resultado del panel dinámico .....	79
Tabla 12 - Estadísticas descriptivas .....	80
Tabla 13 - Coeficientes de correlación de Pearson .....	80
Tabla 14 - Resultado con panel estático – efectos aleatorios .....	81
Tabla 15 - Teorías del crecimiento económico y desarrollo del conocimiento.....	89
Tabla 16 - Clasificación de los intangibles .....	91
Tabla 17 - Variables utilizadas en el trabajo .....	98
Tabla 18 - Estadística descriptiva de los intangibles.....	99
Tabla 19 - Resultados prueba de Kruskal-Wallis y de la Mediana .....	100
Tabla 20 - Resultados de los intangibles, beneficios económicos y tipos de centro – Rho de Spearman - correlación.....	102
Tabla 21 - Resultados modelo de regresión – intangibles, beneficios económicos y tipos de centros .....	104
Tabla 22 - Resultados de los intangibles y ciclo de vida – Rho de Spearman - Coeficiente de correlación.....	106
Tabla 23 - Resultados modelo de regresión – intangibles y ciclo de vida .....	107
Tabla 24 - Resumen de los intangibles y tipos de centros.....	109
Tabla 25 - Estimación de costes (en reais).....	123
Tabla 26 - Flujo de beneficios sociales del proyecto considerando los escenarios pre-establecidos .....	125
Tabla 27 - Valoración del proyecto con VAN, por escenarios.....	126

Tabla 28 - Intervalos de flujos de beneficios sociales del proyecto utilizados para la simulación de Monte Carlo.....	128
Tabla 29 - Valores estimados para el flujo de beneficios medio ( $FB\mu$ ).....	131
Tabla 30 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase multiplicación (valores en miles de reais).....	133
Tabla 31- Árbol binomial de la fase cultivo calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de reais) .....	134
Tabla 32 - Parámetros utilizados en los arboles binomiales, por fase.....	135
Tabla 33 - Resultado final – métodos de valoración .....	135
Tabla 34 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase pruebas (valores en miles de <i>reais</i> ).....	157
Tabla 35 - Árbol binomial de la fase pruebas calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de <i>reais</i> ).....	158
Tabla 36 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase mejoramiento (valores en miles de <i>reais</i> ).....	159
Tabla 37 - Árbol binomial de la fase mejoramiento calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de <i>reais</i> ).....	160
Tabla 38 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase biotecnología (valores en miles de <i>reais</i> ).....	161
Tabla 39 - Árbol binomial de la fase biotecnología calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de reais) .....	162

## Índice de Ilustraciones

Figura 1 - Esquema de evaluación de impactos de tecnologías en Embrapa .....	41
Figura 2 - Impactos generados por la adopción de una dada tecnología.....	43
Figura 3 - El excedente económico .....	46
Figura 4 - Organigrama Ambitec-Social.....	51
Figura 5 - Pruebas para datos tipo panel .....	64
Figura 6 - Intangibles utilizados para evaluación en Embrapa.....	92
Figura 7 - Ciclo de vida y el valor de los intangibles.....	93
Figura 8 - Costes y beneficios de la <i>I+D</i> .....	121

Figura 9 - Árbol de Decisión del Proyecto.....	128
--	-----

## Índice de gráficos

Gráfico 1 - Numero de evaluaciones por año .....	70
Gráfico 2 - Frecuencia de evaluación de una misma tecnología .....	70
Gráfico 3 - Evaluaciones por tipo de centro.....	71
Gráfico 4 - Beneficios económicos por tipo de centro.....	72
Gráfico 5 - Media de empleos por tipo de centro.....	72
Gráfico 6 - Impactos sociales por tipo de centro.....	73
Gráfico 7 - Media por tipo de centro.....	73
Gráfico 8 - Evolución de los resultados de la evaluación de impactos económicos .....	75
Mapa 1 - Ubicación de los centros de Embrapa en el territorio brasileño. ....	39



## INTRODUCCIÓN

Como señaló Veciana (2007), el reconocimiento de la innovación como uno de los principios de desarrollo y crecimiento económicos no es un tema reciente. Adam Smith (1776) en su libro *La Riqueza de las Naciones* destacó la relación entre progreso científico y progreso técnico en la industria. Joseph Schumpeter, en su *Teoría del Desarrollo Económico* (1912), consideró la innovación como la base de su teoría mientras que Arrow (1962) demostró la relación entre bienestar económico y el destino de recursos para la innovación. Para Jewkes y Stillerman (1958) ya en el siglo XIX era posible percibir que la relación entre ciencia e invención.

Pero es a partir del siglo XX que la *I+D* pasa a ser reconocida como fundamental para afrontar el reto de la competitividad de las economías y de las empresas. En ese contexto, Veciana (2007) resalta la necesidad de estudios empíricos para comprender el complejo fenómeno de la innovación a nivel de país y de organizaciones y sus factores condicionantes.

Así, desde el punto de vista de los gobiernos, de los inversores y de la sociedad, también es natural que exista un creciente interés por la evaluación de los posibles resultados de las organizaciones que invierten en investigación y desarrollo (*I+D*). Estimar beneficios potenciales y efectivos en el ámbito económico y social, generados por sus investigaciones, es para los centros de investigación orientados al mercado una valiosa medida para justificar y legitimar el gasto en *I+D*.

Por esta razón, se ha dedicado un considerable esfuerzo de investigación para la evaluación de los impactos de la *I+D*. Uno de los motivos para la realización, por ejemplo, del análisis costo-beneficio de los resultados de la adopción de innovaciones ha sido proporcionar pruebas para reforzar el apoyo a la *I+D* en las empresas. De hecho, la demanda de evaluación de impactos es siempre mayor cuando las amenazas a la financiación son más acentuadas.

Asimismo, en referencia al gasto en *I+D* en organizaciones públicas de investigación, en los últimos años los gobiernos intensificaron sus políticas de evaluación y, en mayor o menor medida, adoptaron una postura de rendición de cuentas. Esto ocurre especialmente debido al aumento de escala del coste de la actividad científica y tecnológica y del reconocimiento de la importancia de las innovaciones para el desarrollo de las sociedades (Zackiewicz, 2003).

Hay que considerar también que las empresas públicas muchas veces poseen objetivos extra-productivos y son usadas por el gobierno, por ejemplo, para desarrollar un sector y responder a la competencia internacional, como es el caso de determinadas actividades y estrategias, como las de *I+D* (Vergés, 2002).

Trabajos como, por ejemplo, Alston *et al.* (2000) y Evenson (2001) evidencian que los estudios dedicados a evaluar los impactos de las inversiones en investigación agrícola son importantes como instrumento para acreditar la rendición de cuentas de las inversiones públicas, además de servir como herramienta para la toma de decisiones de las futuras inversiones en *I+D*.

En el caso particular del sector agrícola, la innovación resultante de la *I+D* es esencial para el crecimiento de la productividad (Spielman y Birner, 2008). En este sentido, una de las principales áreas de estudio es justamente la evaluación de los beneficios que genera la *I+D* agrícola orientada al mercado (Schimmelpfennig *et al.*, 2006; Huffman y Evenson, 1992).

La economía agrícola ha hecho un esfuerzo sustancial en el cálculo de los retornos de la investigación científica, con evaluaciones cuantitativas importantes que empezaron en la década de los años cincuenta. Uno de los primeros economistas en estimar la contribución de la *I+D* fue Schultz (1953), que calculó el valor de los recursos invertidos en los Estados Unidos entre 1910 y 1950 a partir de las innovaciones introducidas en las técnicas de producción agrícola. Más adelante, Griliches (1958) utilizó el enfoque del excedente económico para estimar los retornos obtenidos por los productores rurales de los *EEUU* debidos a la introducción de maíz híbrido.

De forma paralela a las evaluaciones empíricas de la investigación, se ha desarrollado una literatura teórica y conceptual extensa para entender el valor de la ciencia, así como para desarrollar y formalizar pautas para la evaluación de la investigación. Las técnicas desarrolladas se han diseñado de modo que las evaluaciones de la investigación puedan ser realizadas de forma más sistemática y objetiva y ofrezca unos resultados más robustos.

Sin embargo, de acuerdo con Smith y Pardey (1997), todavía hay un virtual vacío metodológico y empírico en la literatura económica respecto a los beneficios de la investigación en ciencias sociales y, sobre todo, en lo que se refiere a la investigación en economía agrícola. Este vacío plantea un grave problema para la investigación en economía agrícola debido a la necesidad de disponer de estimaciones creíbles de los beneficios de la *I+D*.

Muchos de los cambios que producen los resultados de la *I+D* en la agricultura son intangibles, y, por lo tanto, difíciles de medir directamente. Sus efectos pueden ser observados dentro de los hogares, a través de información sobre la mejora de las condiciones de vida de las personas respecto a su nutrición, salud y otros aspectos domésticos. Desde el punto de vista de las empresas, es posible conocer los impactos de investigaciones de esta naturaleza mediante una mejor gestión, mientras que el gobierno y los órganos políticos observan los impactos a partir de las informaciones dirigidas hacia el cambio de las políticas públicas. En ambos casos, la dificultad para aislar y medir los efectos es considerable.

La conclusión de Smith y Pardey (1997), después de hacer un análisis crítico de los métodos y de la dificultad de medir los efectos de la investigación en agricultura, es que los economistas deberían tomar en serio la cuestión y asumir la tarea de identificar y desarrollar métodos teóricos y empíricos para hacerle frente a la tarea de demostrar los efectos de la investigación en agricultura.

Timmer (1997), analiza la dificultad en establecer una metodología adecuada para evaluar los impactos sociales de la *I+D*, ya que para eso es necesario que quede muy clara la relación de causalidad entre las políticas destinadas a la investigación y sus consecuencias. Según el autor, intentar establecer la distribución de recursos financieros a partir de resultados de investigación obtenidos con métodos no apropiados puede traer consecuencias no deseadas en las políticas de *I+D*.

De acuerdo con Alston *et al.* (2000), los estudios que investigan el rendimiento de la *I+D* en la agricultura ofrecen potencialmente una fuente rica de información, pero pocas ventajas han sido obtenidas de estos trabajos en relación al potencial que poseen. Algunas tabulaciones parciales y periódicas han sido realizadas, pero casi nadie ha caracterizado y sintetizado estos datos, y las estimaciones tampoco han sido objeto de una evaluación crítica.

Evaluaciones de impactos aun más específicas, llevadas a cabo a nivel de institución con el objetivo de verificar los impactos socioeconómicos de los gastos públicos y privados también son relativamente comunes en todo el mundo. Por medio de la creación de manuales internos, los procesos de evaluación se han vuelto sistémicos en muchas instituciones (Arruda, 2008), como por ejemplo en la *National Science Foundation (NSF)*, ubicada en Virginia (EEUU), que posee un proceso de evaluación de todos sus programas y que en 1995 publicó el documento "*Footprints: strategies for non-traditional program evaluation*" para evaluar los programas de la institución. En

países como Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica, diversas instituciones y programas de investigación son sometidos a algún tipo de evaluación de impacto *ex-ante* y *ex post*, (Furtado y Salles-Filho, 2003; Arruda, 2008).

En el caso brasileño, la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria - Embrapa, centro público de investigación vinculado al Ministerio de la Agricultura y del Abastecimiento de Brasil -una de las principales instituciones de investigación agrícola del país- ha convertido la evaluación de impactos en un proceso habitual a partir de la última década. Desde entonces, año tras año, prácticamente todos los centros de investigación evalúan, desde el punto de vista económico, social, ambiental y de impactos intangibles, una muestra de tecnologías. Esto ha generado miles de datos respecto a resultados de investigaciones que son publicados cada año en el *Balanço Social*<sup>1</sup> de la organización.

Este trabajo tiene como objetivo general analizar la evaluación de impactos económicos, sociales y la generación de intangibles de innovaciones de producto y proceso generadas por centros públicos de investigación en agricultura orientados al mercado. La evaluación de impactos generados por la *I+D* de estos centros será analizada de tres formas: a) por medio de una revisión sistemática, usando la técnica de panel de datos, de informaciones referentes a la evaluación de impactos económicos y sociales; b) a través de un estudio exploratorio de datos de evaluaciones de impactos intangibles generados por los centros públicos de investigación en Brasil y c) por medio de la evaluación *ex ante* de un proyecto de innovación biotecnológica.

La muestra utilizada para verificar los apartados a y b comprende los resultados de las evaluaciones de impactos económicos, sociales y de algunos intangibles realizadas por 37 de los 47 centros de investigación de Embrapa entre los años de 2001 y 2010. Fueron analizados, individualmente, cerca de 1200 informes de resultados de evaluación de impactos de tecnologías de donde se recogió la información necesaria para crear la base de datos con 36 variables, cantidad necesaria para contestar las preguntas de investigación.

Para dar respuesta al apartado c fueron estimados los impactos económicos de una innovación biotecnológica (semilla de trigo). Los datos para las estimaciones se

---

<sup>1</sup> El *Balanço Social* es una publicación anual que presenta los principales resultados de la institución. Se dedica a la rendición social de cuentas que documenta lo que desarrolla y transfiere Embrapa en términos de *I+D* agrícola.

obtuvieron del centro de investigación de trigo con investigadores relacionados con el proyecto. Asimismo, fueron usados datos de fuentes oficiales.

Se justifica la elección de Brasil y de las innovaciones desarrolladas en el sector agrícola en razón de la importancia económica y social que tiene para el país el desarrollo de las actividades de este sector. Con un clima variado, lluvias regulares, la energía solar abundante y casi el 13% de toda el agua dulce de la tierra, Brasil tiene 388 millones de hectáreas de tierra agrícola fértil y de alta productividad, de los cuáles 90 millones aún no han sido utilizados (MAPA, 2010).

En Brasil, el sector agrícola genera una de cada tres unidades monetarias del Producto Interno Bruto - *PIB*. Sin embargo, el buen desempeño de las exportaciones del sector y la creciente generación de puestos de trabajo en la cadena de suministro no puede atribuirse únicamente a la vocación agrícola. El desarrollo científico y tecnológico, obtenido mediante las inversiones en *I+D*, sigue siendo fundamental para la obtención de los resultados positivos de la agricultura brasileña.

Gracias a la inversión en la investigación agropecuaria, el desempeño de la producción ganadera en Brasil presentó resultados más competitivos, a través de investigaciones en alimentación (nutrición), reproducción, sanidad y mejoras genéticas de la ganadería. La productividad también alcanzó a la avicultura, que es el segmento más moderno de la producción animal y el de mayor inserción tecnológica del país, además de la producción de ganado porcino, caprino y bufalino.

El país también es uno de los mayores productores mundiales de frutas, con una producción de 35 millones de toneladas por año ocupando un área de apenas 2,5 millones de hectáreas. La producción de cereales ocupa un área aproximada de 40 millones de hectáreas. A través de la *I+D* se han desarrollado variedades de alta calidad nutricional, adaptadas a las necesidades de los agricultores y mucho más resistentes a las plagas. El esfuerzo de los primeros 25 años de Embrapa (1973 hasta 1998) permitió que Brasil produjera un 360% más de soja, 128% de maíz, 49% de trigo y 27% de arroz y fríjol. Surgieron nuevas prácticas de manejo y tecnología de mecanización, de irrigación, de almacenaje, de corrección de suelo, de rotación de cultivos, de abono y de plantío directo, además de franquicias para producción y distribución de semillas y técnicas para evitar pérdidas en la cosecha.

Las inversiones en la *I+D* agroindustrial brasileña han permitido la evolución de sectores como embalajes y lácteos, preservación de granos, frutas y hortalizas y el

perfeccionamiento de la calidad del trigo, de la soja, del maíz, además del surgimiento de nuevos procesos y equipamientos de secado y almacenaje.

## **ESTRUCTURA DE LA TESIS**

Desde la fase del proyecto, esta tesis ha sido pensada y planeada para que fuera un trabajo de investigación dinámico y que contestase a diferentes preguntas de investigación sobre un mismo tema: la evaluación de impactos de tecnologías generadas por centros públicos de investigación. Desde su concepción inicial, el objetivo ha sido que el conocimiento derivado la tesis fuese utilizado para dos finalidades: la publicación en congresos y revistas científicas, ya que se trata de un área de investigación que todavía posee mucha posibilidad de desarrollo y, especialmente, que los resultados fuesen aprovechados rápidamente en los propios centros públicos de investigación. Así que la doble contribución de esta tesis doctoral sería lograda utilizando una sistemática de trabajo diferente de la tradicional.

Se asume que la principal implicación de una tesis doctoral como esta es que, aparte de un marco teórico general utilizado para explicar la evaluación de impactos de la *I+D*, a cada objetivo se le asigne un marco teórico y una metodología específica.

La siguiente sección presenta un resumen de los capítulos y de las metodologías que serán utilizadas de forma más detallada. Se hace una revisión de la literatura relacionada con el tema. En este sentido, las bases consultadas son *Econlit*, *Emerald Insight* y *Science Direct*. Tal revisión es particularmente importante para documentar el primer capítulo de la tesis, que presenta un marco teórico común a los objetivos específicos. Como hilo conductor, se toman las teorías referentes a la evaluación de impactos de las innovaciones. La tesis está compuesta por 4 capítulos además de la introducción, conclusión, referencias bibliográficas y anexo.

### **Capítulo 1 – Marco Teórico**

El primer capítulo presenta la revisión de literatura y marco de referencia teórico sobre el tema general: la evaluación de impactos de innovaciones tecnológicas. También presenta la metodología utilizada para estimar las evaluaciones que componen la

muestra. Eso es así porque, por ejemplo, la estimación de los beneficios económicos citados en toda la tesis utilizan la misma metodología de cálculo: el excedente económico.

Asimismo, este capítulo describe cómo se realiza la evaluación en los centros de investigación de Embrapa, además de aportar información adicional sobre la institución. La metodología utilizada en este capítulo consiste, pues, en una revisión sistemática de literatura. Se trata de un capítulo teórico y de base para los demás, que son de carácter empírico.

## **Capítulo 2 – Revisión Sistemática de Evaluaciones de Impacto Socio-Económico**

El segundo capítulo de la tesis presenta los primeros resultados empíricos de esta tesis doctoral. Se analizan los resultados de la evaluación de impacto económico y social de una muestra de innovaciones tecnológicas. El objetivo general de este capítulo es: realizar un estudio sistemático de los resultados de las evaluaciones de impactos de la *I+D* agrícola realizada por los centros de investigación de Embrapa.

Dicho de otro modo, en el segundo capítulo presentamos una revisión sistemática de los impactos socioeconómicos incluidos en los 1150 informes de evaluación de impacto de tecnologías realizados por Embrapa durante el periodo 2001-2010.

En tratamiento de los datos usó métodos de estadística descriptiva y de correlación bivariada. Asimismo, fue utilizada la técnica de estimaciones con datos de panel, probando algunos modelos de panel estático y dinámico. Los resultados permiten afirmar que las evaluaciones con altos impactos económicos tienden también a presentar una alta generación de empleo. Hay un debate interesante sobre el tema en la literatura, porque es común encontrar que la introducción de las innovaciones tecnológicas en la agricultura elimina puestos de trabajo. Además, encontramos que existen diferencias entre la media de beneficios económicos de acuerdo con el tipo de centro de investigación que genera las tecnologías. El modelo de panel dinámico, utilizando el estimador Arellano-Bover (1995) / Blundell-Bond (1998), con tratamiento de errores estándar del tipo robusto sugerido por Windmeijer (2005), nos permitió confirmar y explicar esta información.

### **Capítulo 3 – Estudio Exploratorio de Impactos Intangibles**

En el tercer capítulo estudiamos los resultados de las evaluaciones de los impactos intangibles de innovaciones tecnológicas generadas por los centros públicos de investigación que componen Embrapa. El objetivo general es identificar qué componentes de la evaluación de los impactos sobre el conocimiento, la capacitación y político institucionales, son más representativos en los centros de investigación de Embrapa. También se analiza si estos componentes influyen en los resultados de impactos económicos de las tecnologías desarrolladas por los centros de investigación de Embrapa. Con tal fin, se analiza la muestra de 1200 informes de resultados de evaluación de impactos.

Es importante resaltar que este es un estudio exploratorio. Así, a pesar de existir una vasta literatura sobre activos intangibles, no se han encontrado excesivos trabajos dedicados a estudiar el impacto sobre el conocimiento, la capacitación y las políticas institucionales en los centros públicos de investigación agrícola. Hay también que considerar que, dada su naturaleza, es posible que los intangibles esenciales para centros públicos de investigación puedan no ser los mismos que los relevantes para el sector financiero, por ejemplo.

En otros términos, lo que se pretende no es abordar cuestiones puntuales. Por el contrario, el objetivo es llegar a los primeros resultados de un área de investigación apenas incipiente en instituciones públicas de investigación agrícola en América Latina. En lo que se refiere al tratamiento estadístico de los datos, se utiliza estadística descriptiva (media, desviación típica, mínimo, máximo y varianza) además de análisis de correlación, métodos no paramétricos y regresiones múltiples.

Los resultados indican que intangibles relacionados con la capacitación de personas, por ejemplo, se manejan de forma semejante en todos los tipos de centro mientras que el intercambio de conocimiento ocurre de forma diferente, de forma que los centros orientados hacia la investigación básica se destacan por presentar como significativos unos intangibles muy específicos. Asimismo, los resultados revelaron que la innovación y la imagen de la institución ayudan a explicar la consecución de unos beneficios económicos elevados. Respecto al ciclo de vida de los productos, fue posible

observar que los intangibles referidos a las actividades de *I+D* y de intercambio y diversidad de conocimiento se encuentran en el inicio del ciclo de vida de los productos.

#### **Capítulo 4 – Evaluación ex ante de impactos con Opciones Reales**

Además de analizar los beneficios resultantes de las inversiones de *I+D* en la agricultura, es habitual el interés por conocer los impactos potenciales que pueden ser logrados si se invierte en determinados tipos de innovaciones. Esto ocurre, por ejemplo, en áreas específicas de la investigación agrícola, como el mejoramiento genético de las plantas y la biotecnología.

El cuarto capítulo presenta el *tercer objetivo específico de la tesis que es verificar si la teoría de Opciones Reales es adecuada para evaluar proyectos de I+D agrícola llevados a cabo en centros públicos de investigación*. Esta teoría ya es ampliamente utilizada para evaluar proyectos de empresas industriales como, por ejemplo, empresas petrolíferas o industrias farmacéuticas. Utilizarla para evaluar proyectos de centros públicos de investigación incluye un reto adicional: el uso de la teoría del excedente económico para estimar los beneficios potenciales que pueden generar tales proyectos. De acuerdo con Thomas *et al.* (2008), todavía no existe evidencia de aplicación de tal herramienta en el sector público, donde las inversiones se justifican por el beneficio social generado y/o liberación de recursos y no por los beneficios o las utilidades esperadas.

Por tratarse de un trabajo empírico, serán comparados los resultados de la evaluación de un proyecto real de mejoramiento genético de una variedad de trigo a partir del uso de la Teoría de las Opciones Reales con los obtenidos al evaluar el mismo proyecto con una metodología tradicional de evaluación, el Valor Actual Neto - VAN. Las Opciones Reales serán probadas por medio del método de los Árboles Binomiales, un modelo más intuitivo, alternativo al de Black y Scholes, para la valoración de opciones, el cual fue posteriormente utilizado en opciones reales. Los Árboles Binomiales se basan en métodos algebraicos mientras que Black y Scholes tiene sus fundamentos en el cálculo diferencial (Rozo, 2009).

De hecho, el método binomial, se refiere a un enfoque numérico muy utilizado para valorar una opción, este método permite al usuario una mayor comprensión de la

técnica de valoración, aunque los árboles binomiales pueden ser aplicables a situaciones reales de significativa complejidad.

En el desarrollo del capítulo, se consultaron diversos investigadores, lo que resultó particularmente importante para la atribución de los valores utilizados en los cálculos de la parte técnica del trabajo. Con el objetivo de disminuir la subjetividad existente en el análisis, se prepararon simulaciones de Monte Carlo para estimar parámetros como el flujo medio de beneficios y la volatilidad consolidada del proyecto de investigación. Como se pretende evaluar proyectos de centros públicos de investigación, la teoría del excedente económico permitirá estimar los beneficios potenciales que pueden generar tales proyectos.

La tabla 1 presenta un resumen que indica el tipo de técnica utilizada para realizar cada uno de los capítulos. También se presentan las variables, muestras planeadas y fuentes de información para la elaboración de cada capítulo. También se indica el paquete estadístico o *software* necesario para el tratamiento de los datos en cada uno de los objetivos.

El capítulo 4, dedicado al tercer objetivo específico – análisis *ex ante* de un proyecto de *I+D*, tiene un precedente porque ya fue parcialmente trabajado en el Trabajo de Investigación de Maestría. Aquí se ha profundizado en el estudio del enfoque de las Opciones Reales para valorar proyectos de esta naturaleza en centros públicos de investigación.

Tabla 1 - Resumen de los procedimientos metodológicos

Capítulos	Tipo de Técnica	Palabra-clave del capítulo	Técnica de Investigación	Herramienta para el tratamiento de datos	Variables	Muestra	Fuentes de Información
1	Cualitativa	Marco teórico general	Revisión Bibliográfica	-	-	-	Disponible en <i>papers</i> , artículos y libros. Revisión de literatura
2	Cuantitativa	Revisión Sistemática	Estadística Descriptiva y Datos tipo panel	SPSS y Stata	Lanzamiento (año) Evaluación (año) Tipo de Centro Centro Área Beneficio económico Empleo Índice_Social Años_Lanz_Adop (delta) Cuant_evalua.	Datos de 1150 informes	Informes de resultados de evaluación de impactos tecnológicos elaborados por 37 centros públicos brasileños de investigación en el periodo de 2002-2010.  Revisión de literatura.
4	Cuantitativa	Estudio exploratorio sobre impactos intangibles	Estadística Descriptiva, ANOVA, Regresión y Pruebas no paramétricas	SPSS	Tipo de Centro Beneficio económico Cuant_evalua. 21 variables relativas a indicadores de impactos intangibles	Datos de 1150 informes	Informes de resultados de evaluación de impactos tecnológicos elaborados por 37 centros públicos brasileños de investigación en el periodo de 2002-2010. Revisión de literatura
3	Cuantitativa	Prueba de las Opciones Reales	Excedente económico; Método Binomial; Simulaciones de Monte Carlo	Excel	Beneficios sociales, costes generación de la tecnología, tasa de adopción	Informaciones acerca de un proyecto de mejora genética de una semilla	Proyecto de <i>I+D</i> de una semilla generada por un Centro Público de Investigación. Revisión de literatura.

Fuente: elaboración propia

## APORTACIONES

En lo que se refiere a las aportaciones esperadas de esta investigación se destaca lo siguiente:

1. A nivel académico, la primera contribución es la generación de publicaciones científicas sobre las evaluaciones de impacto de las innovaciones tecnológicas. La revisión de literatura ha indicado que este es un tema en lo que todavía hay mucho por avanzar, sobre todo en lo que se refiere a trabajos empíricos.
2. La adecuación metodológica necesaria para evaluar innovaciones específicas puede servir de base para futuras evaluaciones en centros públicos de investigación orientados al mercado. La búsqueda y desarrollo de herramientas adecuadas para la demostración de los resultados de la *I+D*, desde el punto de vista del bienestar social, o también para conocer los resultados de las investigaciones, sigue siendo un reto para centros y empresas públicas de investigación. En conclusión, creemos que los resultados de la tesis tienen una importante aplicación práctica.
3. Para los profesionales de centros de investigación y empresas públicas, la aportación en términos de adecuación metodológica sirve también para una mejor gestión de las políticas de *I+D* en sus respectivas organizaciones (análisis *ex ante*). Bien como un elemento adicional para ayudar a elegir entre diferentes proyectos de *I+D*, o con el objetivo de que los investigadores estén preparados para los cambios que posean efectos en el desarrollo del proyecto. El enfoque de las opciones reales, una de las metodologías propuestas en este proyecto de tesis, es prometedor en este sentido.
4. Desde el punto de vista de los agentes políticos, los resultados en términos de evaluación de tecnologías pueden ser útiles para direccionar futuras inversiones en *I+D*, además de servir de apoyo para elaborar programas de específicos para este tipo de organizaciones.

Las evaluaciones de impacto también proporcionan información pública a través de la publicación de los resultados. Hay que considerar que la rendición de cuentas es particularmente importante cuando se considera que los recursos públicos para la *I+D* son costosos y escasos.

## CAPÍTULO 1 – MARCO TEÓRICO

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Ese capítulo presenta el marco teórico de la tesis, es decir, elementos como la revisión de literatura y las teorías relevantes para el estudio de la evaluación de los impactos de las innovaciones tecnológicas generadas por los centros públicos de investigación. En lo que se refiere a los impactos económicos, la metodología del excedente económico, descrita en la literatura como uno de los métodos más robustos para identificar los efectos de las tecnologías, ha sido utilizada en el cálculo de los datos que componen la muestra. Dicho de otro modo, la metodología permite identificar y cuantificar la generación de beneficios sociales para los usuarios de una determinada innovación tecnológica. El excedente económico es utilizado por instituciones públicas de investigaciones en todo el mundo y, más específicamente, por Embrapa desde hace más de 30 años en estudios de impacto.

Los datos de la evaluación de los impactos sociales que componen la muestra fueron estimados por investigadores de Embrapa por medio de dos metodologías. La primera, el Ambitec-Social, fue desarrollada a partir de la experiencia de los investigadores de Embrapa Medio Ambiente en la elaboración de un método basado en el uso de indicadores para la evaluación de impactos ambientales (Ambitec-Agro) (Rodrigues, 2008). Como este sistema se demostró muy eficiente para la evaluación de los impactos ambientales, se aplicó un estudio con indicadores sociales que podrían identificar y demostrar los efectos sociales de las tecnologías en el desarrollo de la metodología Ambitec- Social.

Por otro lado, a pesar de generar resultados cuantitativos, la metodología Ambitec-Social no se ocupa en demostrar el número de empleos que puede ser generado o eliminado con la adopción de una innovación determinada, así, una metodología basada en estudios y entrevistas también es utilizada para así cuantificar los efectos de la innovación desde el punto de vista del empleo. Un resumen de las metodologías es presentado en los siguientes subapartados (una descripción detallada de estas metodologías se encuentra en Avila, 2008).

## 1.2. EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

Los enfoques neoclásicos han analizado los cambios tecnológicos según la trilogía schumpeteriana que fragmenta su proceso en tres etapas: 1) invención (generación de ideas), 2) innovación (desarrollo de ideas en productos comercializables) y 3) difusión (distribución de los productos entre los mercados). Schumpeter (1934) apuntaba que la innovación es una fuente fundamental de riqueza.

Durante los años 80 y 90, se consagró un considerable volumen de trabajo para el desarrollo de modelos y marcos analíticos para el estudio de la innovación. Georghiou y Roessner (2000) identifican tres influencias, corrientes a partir de la década de 1980, en el desarrollo de los enfoques de evaluación de programas tecnológicos, deducidas de los cambios en las condiciones institucionales y de la concepción del proceso de innovación:

1. La convergencia entre las tradiciones de evaluación interna (del tipo *peer review* y *bibliometría*) y elementos derivados de una demanda creciente por evaluaciones adoptadas de políticas públicas en general (rendición de cuentas o estimación de impactos sociales y ambientales).
2. La emergencia de una nueva gestión pública que requiere indicadores de desempeño y de programación de las instituciones y de sus organismos.
3. La asociación de la producción científica con desempeño competitivo y la búsqueda por medios efectivos para promover esa conexión.

La experiencia adquirida ha ampliado el enfoque de la medida de la innovación de forma importante. En primer lugar, hace hincapié en el papel de los vínculos entre empresas e instituciones en el proceso de innovación. En segundo lugar, la definición de innovación se amplía. De esa forma, además de considerar las innovaciones de productos y procesos, el propio Manual de Oslo, considerado una importante referencia en términos de metodología de recogida e interpretación de datos sobre innovación, incluye en su tercera edición, en 2005, dos tipos adicionales: la innovación organizativa y la innovación en mercadotecnia (OCDE, 2005).

Una empresa puede hacer numerosos cambios en sus métodos de trabajo, en el uso de los factores de la producción y en sus tipos de productos para mejorar su productividad y/o su rendimiento comercial. Las innovaciones de producto implican cambios significativos de las características de los bienes o de los servicios. Incluyen

ambos los bienes y los servicios enteramente nuevos y las mejoras significativas de los productos existentes.

Una innovación de proceso consiste en la introducción de un nuevo método de producción o de distribución. Ello, por ejemplo, implica que aparezcan cambios significativos en las técnicas, los materiales y/o los programas informáticos. Tales innovaciones de proceso pueden tener por objetivo disminuir los costes unitarios de producción o distribución, mejorar la calidad, producir o distribuir nuevos productos o mejorarlos sensiblemente (*OCDE*, 2005).

Una innovación organizativa es la introducción de un nuevo método en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa. Pueden tener por objetivo mejorar los resultados de una empresa reduciendo los costes administrativos o de transacción, mejorando el nivel de satisfacción en el trabajo (y, por consiguiente, aumentar la productividad), facilitando el acceso a bienes no comercializados (como el conocimiento externo no catalogado) o reduciendo los costes de los suministros. Como ejemplo, se puede citar la primera introducción de prácticas de catalogación del conocimiento, es decir la creación de bases de datos sobre las prácticas a seguir, las conclusiones obtenidas y otras formas de conocimiento, de modo que éste sea fácilmente accesible para terceros.

Lo que hay en común entre las innovaciones de proceso y de organización es el superior grado de dificultad para medir sus resultados, porque se necesitan métodos más específicos para esta finalidad. También aparece el problema de la atribución de beneficios (hasta qué punto se puede aislar el efecto de la innovación sobre el aumento de la productividad de la empresa).

De acuerdo con el Manual de Frascati (*OCDE*, 2002), las actividades de innovación tecnológica son el conjunto de etapas científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales, incluyendo las inversiones en nuevos conocimientos, que incorporan o que intentan introducir productos y procesos nuevos o mejorados. La *I+D* no es más que una de estas actividades y puede ser llevada a cabo en diferentes fases del proceso de innovación, siendo utilizada no sólo como la fuente de ideas creadoras sino también para resolver los problemas que pueden surgir en cualquier fase hasta su culminación.

Según este manual, el término *I+D* engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. La investigación básica comprende los trabajos experimentales o teóricos que obtienen nuevos conocimientos

acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. La investigación aplicada comprende trabajos originales, realizados para adquirir nuevos conocimientos, dirigidos fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.

El desarrollo experimental consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, 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.

En realidad, la relación entre la investigación científica y la tecnología, y entre ésta y su respectiva innovación, siguen múltiples caminos. La investigación científica puede afectar en diversos estados del proceso de innovación (Furtado y Salles-Filho, 2003). Muchas veces, es el avance tecnológico el que suscita nuevas preguntas que serán respondidas a través de la generación de nuevo conocimiento científico. La existencia de *feedback*, que puede ser conocido por medio de la evaluación de impactos entre la investigación y el sistema productivo, es un elemento central del proceso de innovación (Kline y Rosenberg, 1987).

Si esta relación posee crecimiento sostenido, las organizaciones alcanzan sus objetivos de obtención de recursos, sean éstos públicos o privados. Aumentar el número de patentes registradas y autorizadas, el número de artículos publicados, el número de cursos de capacitación ofrecidos por unidad monetaria es también una forma de rendición de cuentas.

Así, esa naturaleza colectiva y compleja del proceso de innovación es un principio fundamental de la búsqueda de metodologías de evaluación más conectadas con la realidad y, por lo tanto, con mayor poder de interpretación de resultados y, por encima de todo, con mayor potencial de orientación de las políticas públicas y privadas.

Es cierto que los impactos económicos elevados son un fuerte incentivo para la inversión en investigación, pero muchas veces esos impactos son mitigados por otros efectos indirectos – como los costes ambientales y sociales, por ejemplo.

Hay situaciones en las cuáles el impacto económico revela poco acerca de la importancia de un programa de investigación. “La generación de capacitación en áreas estratégicas del conocimiento, por ejemplo, es tiempo dependiente y sus impactos sobre la sociedad aparecerán más adelante. Todo esto, además de los valores monetarios

expresando los impactos económicos, necesita ser demostrado” (Furtado y Salles-Filho, 2003).

Esos aspectos generan dificultades metodológicas en el ejercicio de evaluación. Hay aun otro aspecto muy relevante, la cuestión de la atribución de beneficios. ¿Hasta qué punto se consigue atribuir impactos de dichos “objetivos” a una determinada intervención (pública o privada)? Por ejemplo, en Brasil, las harinas de trigo son mejoradas con un componente adicional, el hierro, para disminuir la subnutrición de la población. Pasados unos años desde que se empezó a añadir hierro en la harina, se realizó un estudio para verificar si, efectivamente, las tasas de subnutrición habían bajado. Los resultados indicaron que, de hecho, hubo una mejora en el nivel de salud de la población. Pero ¿como atribuir únicamente a la adición del componente este resultado positivo? Muchos críticos alertaban que la disminución de la subnutrición podría ser resultado de otros elementos, como por ejemplo, el aumento de la renta de la población pues la población pasó a comer mas y mejor y eso era, también, el resultado de otras políticas publicas bien direccionadas.

Así – y en el límite – siempre habrá un componente subjetivo, el del observador (evaluador) que aborda y resuelve el problema (juzga) con criterios que, por definición, sólo serán válidos si son socialmente aceptables. Los criterios de juicio tienen profunda relación con los valores de la sociedad. Su objetividad es, por lo tanto, dependiente de una construcción social y, por definición, mutable (Furtado y Salles-Filho, 2003).

La creación y la utilización de los métodos de evaluación de impacto de los programas tecnológicos forman parte de ese instrumental, pues se revela como herramienta para la orientación de actividades de investigación y participación en el proceso de innovación (Paulino *et al.*, 2003). Sin embargo, como apunta Zackiewicz (2003), el conocimiento tecnológico y otras ganancias indirectas se procesan tanto en el sector de investigación como en el interior del sector productivo, y esos aspectos son de difícil medición, pues se refieren a activos intangibles, pero de extrema importancia para la generación y difusión de los conocimientos.

La literatura existente, sobre todo la proveniente de la escuela europea, viene corroborando esa noción, lo que significa que los métodos no se pueden limitar a una mera descripción de las técnicas para la recolección de datos con sus consiguientes protocolos de análisis. Los impactos de los resultados de la investigación son fenómenos complejos y dependientes del proceso histórico y de los acuerdos sociales.

La legitimación social de la ciencia y de la tecnología es cada vez más dependiente de los procesos de evaluación que compruebe de forma convincente si la correlación positiva entre producción científica y el bienestar económico y social no es espuria y no se debe a la coincidencia en el tiempo de los dos fenómenos, sin que haya posibilidad de identificar entre ellos una relación real de causa efecto (Zackiewicz, 2003).

Dado que el proceso de innovación es incierto, complejo, y rodeado de condicionamientos sociales y técnicos, puede derivar hacia planteamientos diferentes de los planeados inicialmente, de forma que los objetivos de la evaluación de impacto casi siempre se vuelven blancos móviles. Así, caracterizar a los impactos como elemento de la organización y de la evolución de los sistemas de innovación pasa a ser tan importante como medirlos en términos de calidad y de cantidad.

### **1.3. EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN**

La Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria - Embrapa, vinculada al Ministerio de la Agricultura y del Abastecimiento, ha contribuido al cambio de la historia de la industria agropecuaria en Brasil. Desde su creación, en 1973, ha generado miles de tecnologías, incluso para el sector agroindustrial. Las cosechas agrícolas aumentaron considerablemente, mejoró la eficiencia productiva del sector agropecuario, disminuyeron los costos de producción y Brasil redujo su dependencia externa de diversas tecnologías, recursos y materiales genéticos (EMBRAPA, 2013a).

Embrapa es una institución pública, mantenida por el gobierno brasileño, que posee 9.812 empleados de los cuales 2.253 son investigadores y aproximadamente 2000 son doctores. Su presupuesto operativo en 2012 ha sido de USD\$ 1.005 millones (EMBRAPA, 2013b). Comprende 47 centros de investigación distribuidos en 23 estados y en el Distrito Federal. La Empresa mantiene, actualmente, una labor conjunta con instituciones de varias partes del mundo por medio de sus oficinas y laboratorios en el extranjero: China, Corea, Europa, USA, Panamá, Venezuela y África. Dado que es poseedora de un ingente número de tecnologías para la industria agropecuaria tropical, transfiere ese conocimiento a diversos países.

Para que sea posible tener una idea de la magnitud de la contribución de la institución para el desarrollo del sector agropecuario nacional, las tecnologías desarrollada por Embrapa contribuyeron para que Brasil elevase su cosecha de granos de 38 millones de toneladas en 1975 hasta más de 98 millones en 2000/2001, con crecimiento de apenas un 5% del área plantada. Otro ejemplo es la fijación biológica del nitrógeno atmosférico por bacterias diazotroficas. Esta tecnología es utilizada en alrededor de 12 millones de hectáreas de área plantada, disminuyendo la importación de abonos nitrogenados. En la soja, el ahorro es superior a US\$ 1,5 mil millones cada año. En las asociaciones con caña de azúcar, este ahorro se estima en US\$ 200 millones anuales (EMBRAPA, 2010).

La tabla 2 muestra un resumen de algunos resultados y productos generados por Embrapa en el periodo de 2002 a 2009, mientras que la tabla 3 presenta específicamente los resultados de los impactos trabajados en esta investigación y asimismo el gasto operativo de Embrapa, que sirve para ilustrar lo que es invertido, justo al lado de una muestra de lo que es generado. La información presentada en las tablas 2 y 3 fue obtenida del *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento* de Brasil<sup>2</sup>.

Tabla 2 - Resumen de resultados y productos de Embrapa

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Programas de <i>software</i> lanzados	55	56	47	77	62	43	205	197	742
Metodologías científicas publicadas	151	145	152	101	206	331	287	386	1.759
Cursos ofrecidos	25.256	30.734	28.584	32.771	34.873	30.159	27.951	27.524	237.852
Eventos promovidos	1.228	1.308	1.569	1.749	1.751	1.826	2.072	2.540	14.043
Publicaciones informativas	487	477	530	689	775	716	694	760	5.128
Días de campo	1.089	1.178	1.106	1.341	1.393	1.527	1.344	1.367	10.345
Cepas desarrolladas	8	22	17	5	22	19	33	75	201
Factores agropecuarios hechos disponibles	71	53	76	42	44	94	19	46	445
Máquinas o instalaciones desarrolladas	20	10	15	9	15	13	13	14	109
Monitoreo o zoneamento de tierras y cultivos publicados	301	273	232	471	668	633	1.061	1.258	4.897
Procesos agro-industriales desarrollados	53	40	55	36	45	94	46	73	442
Cultivos generados/lanzados	52	72	61	48	39	87	76	82	517
Cultivos comprobados	130	103	91	109	101	240	123	150	1.047

Fuente: Adaptado de MAPA (2013).

<sup>2</sup> La información, de forma no compilada, está disponible en: <https://i3gov.planejamento.gov.br/main.php?Y999=11&Y998=37448&Y777=0>

Si utilizásemos medidas de eficiencia (*input* y *output*), las informaciones de la tabla 3 serían particularmente relevantes. Sin embargo, conviene tener en cuenta que los beneficios (el *output*) está compuesto por una muestra estimada mientras que los gastos son asumidos en su totalidad por Embrapa, o sea que sería difícil realizar estimaciones de eficiencia con un cierto nivel de fiabilidad.

Tabla 3 - Impactos y gastos operativos de Embrapa

	Empleos adicionales	Beneficio económico	Gasto operativo de Embrapa
2002	–	4.247.412.527	688.274.719
2003	185.170	5.941.150.222	783.110.919
2004	206.831	5.963.757.336	918.317.563
2005	102.330	7.740.638.614	924.874.300
2006	112.504	8.975.476.151	1.066.552.991
2007	114.965	10.076.001.980	1.157.848.977
2008	79.426	12.087.507.265	1.353.584.482
2009	85.725	15.038.934.745	1.816.100.251
Total	886.951	70.070.878.840	8.708.664.203

Fuente: Adaptado de MAPA (2013).

Otro punto relevante es que el gasto se refiere a los años indicados en la tabla 3. Sin embargo, los beneficios tienen un gran desfase temporal porque son obtenidos *ex post*, o sea, están compuestos por los resultados de inversiones hechas quizá 8 o 10 años antes y medidas en los años en cuestión.

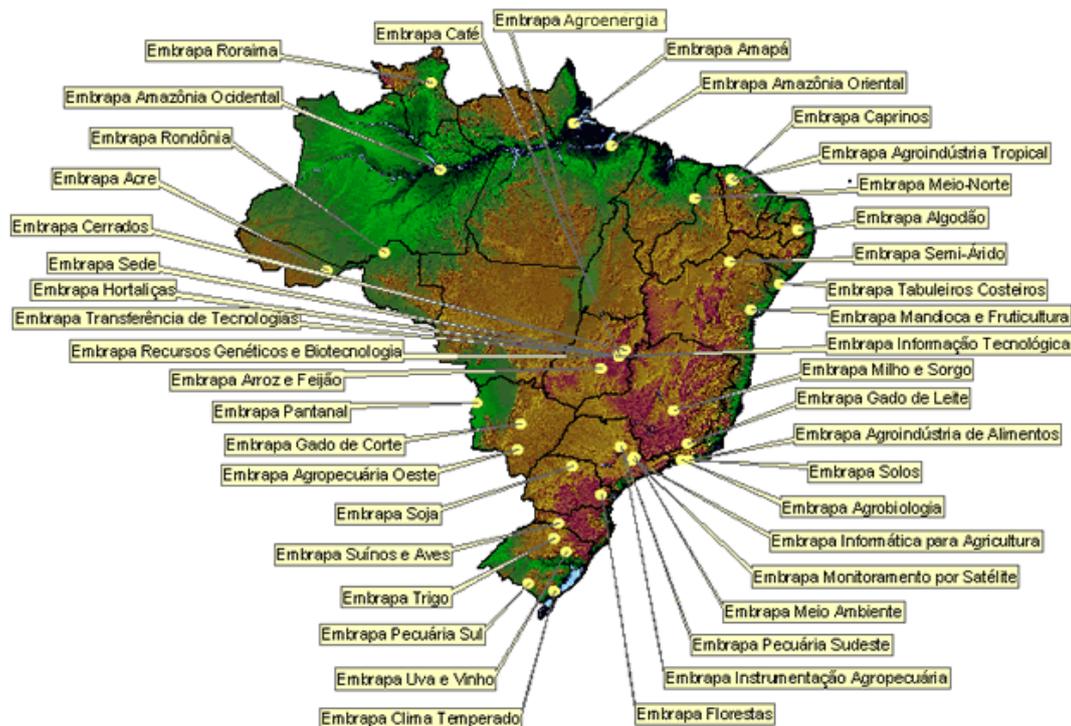
### 1.3.1. Estructura de los centros de investigación de Embrapa

De acuerdo con Goedert *et al.* (1995), los centros de investigación de Embrapa están divididos en cuatro tipos:

- Los *Centros de Referencia de Temas Básicos* (Temáticos) son unidades de investigación de ámbito nacional que concentran masa crítica y recursos para avanzar la frontera del conocimiento en temas básicos o estratégicos indispensables para los demás centros.
- Los *Centros de Referencia de Productos* son definidos como unidades de investigación de ámbito nacional en las que la combinación de ganancias tecnológicas debe producir avances prácticos en determinado producto o conjunto de productos, de relevancia socio-económica para el país.
- Los *Centros de Referencia Eco regionales* son unidades de investigación que contribuyen al desarrollo de determinada macro región ecológica, buscando el perfeccionamiento de los sistemas de producción sostenibles.

- Los *Centros de Servicios* son unidades orientadas hacia los clientes externos de Embrapa, teniendo como objetivo apoyar y ejecutar la mantención o la distribución de productos, procesos y servicios generados por la investigación.

Mapa 1 - Ubicación de los centros de Embrapa en el territorio brasileño.



Fuente: Agrosoft Brasil (2007)

La tabla 4 hace un resumen de los tipos de centro y algunos ejemplos de lo que desarrollan mientras que el mapa 1 los ubica en el territorio brasileño.

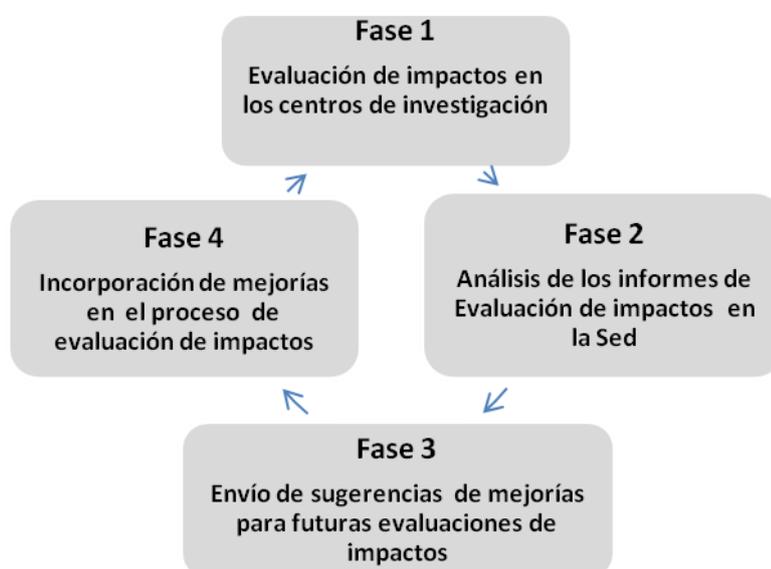
Tabla 4 - Caracterización de los centros de investigación de Embrapa

Tipo de Centro	Temáticos	Productos	Eco regionales	Servicios
Centros	Agrobiología, Agroenergía, Agroindustria Tropical, Agrosilvopastoral, Informática Agropecuaria, Instrumentación, Medio Ambiente, Monitoramiento por Satélite, Recursos Genéticos & Biotecnología, Suelos, Tecnología de Alimentos, Estudios & Capacitación	Algodón, Arroz y Frijoles, Forestal, Hortalizas, Maíz y Sorgo, Palmeras, Soja, Trigo, Uva y Vino, Yuca y Frutales Tropicales Cerdos y Aves, Ganado de Corte, Ganado de Leche, Ganado-Sudeste, Ganado-Sur, Ovejas y Cabras, Pesca y Acuicultura	Agroforestales (Acre, Amapá, Rondonia, Roraima), Amazonia-Este, Amazonia-Oeste, Agropecuaria Oeste, Cerrado, Clima Templado, Mesetas Costeras, Medio Norte, Pantanal, Semiárido	Café (consorcio de investigación), Cuarentena (Gestión Territorial), Información Tecnológica, Transferencia de Tecnología
Orientación estratégica	Orientados a la investigación básica, producen muchos (e importantes) impactos intangibles. Esos impactos son, en general, acumulativos y de difícil medida. Permiten la especialización del trabajo, necesario para solucionar problemas fundamentales y grandes desafíos tecnológicos. Son responsables de indicar a los demás centros de investigación temas de relevancia para la agricultura	<i>I+D</i> orientada hacia el desarrollo de avances prácticos en determinado producto o conjunto de productos, de alta relevancia socio-económica para el país.	La combinación de ganancias tecnológicas contribuye al desarrollo de determinada macroregión ecológica, buscando el perfeccionamiento de los sistemas de producción sostenibles.	Las Unidades de Servicio son unidades prioritariamente orientadas hacia clientes externos de la empresa, teniendo como atribución promover, apoyar y ejecutar el mantenimiento o la distribución de productos, procesos y servicios generados por la investigación y no realizados por las demás unidades.
Ejemplos de actividades de <i>I+D</i> desarrolladas	Sistema de Clasificación de Suelos Servicios meteorológicos <i>on-line</i> Metodología de clonación animal Bioinformática Nanotecnología, biotecnología, imágenes por satélite etc Servicio de cuarentena de material biológico Formación y capacitación de investigadores de alto nivel científico	Mejora genética y desarrollo de semillas de arroz, fríjol, soja, trigo y otros cultivos; Desarrollo de vacunas e innovaciones orientada hacia animales como ganado, aves, búfalos, caprinos; Desarrollo de la innovaciones relacionadas con frutas y hortalizas. Desarrollo de equipos para la agricultura y la agroindustria	Desarrollo de innovaciones orientadas hacia la biomasa, como la gestión forestal y la vegetación nativa.	Transferencia de tecnología

Fuente: elaboración propia

El proceso de evaluación de impactos en Embrapa se desarrolla según unos criterios y metodologías bien delimitados. Como la institución está compuesta por decenas de centros de investigación distintos, el primer reto fue establecer una política de evaluación adecuada a todos los centros que formarían parte de este proceso. Para conseguir esta acción, desde el inicio hubo en la sede de la institución un grupo de investigadores que se ocupó del desarrollo metodológico y del acompañamiento de estas evaluaciones. El papel de este equipo de investigadores responsable del desarrollo metodológico fue fundamental en el sentido de orientar el esfuerzo desarrollado por los centros de investigación. De forma sintética, el proceso de evaluación de impactos de tecnologías puede ser observado en la Figura 1.

Figura 1 - Esquema de evaluación de impactos de tecnologías en Embrapa



Fuente: elaboración propia

Para la presente investigación, esta información es muy relevante porque la literatura (Luiz, 2002; Laporte, 2001) apunta que una muestra adecuada y más completa sería obtenida a partir de datos brutos de investigación (método poco utilizado en razón de la dificultad para obtención de esos datos en las organizaciones). Los datos de la evaluación de impactos utilizados en esa tesis doctoral son considerados datos brutos de investigación, porque están disponibles en los informes tal y como son enviados por los investigadores; es decir, son frutos directos de las evaluaciones de las innovaciones tecnológicas. Así hay datos, por ejemplo, como los beneficios económicos de las innovaciones o el número de empleo generados por las tecnologías. Son llamados brutos

porque no son resultados de ningún tratamiento previo. En ese caso, tenemos la información directa y no el resultado de algún procedimiento estadístico, como la media o la desviación típica del conjunto de las informaciones. Hay informaciones individuales para cada innovación evaluada.

#### **1.4. CAMPO TEMÁTICO - DEFINICIONES DE PARTIDA**

Cuando se pretende evaluar impactos de innovaciones tecnológicas resultantes de *I+D*, es importante clarificar los conceptos tratados. Se considera, en este trabajo, el concepto más aceptado de innovación – el del Manual de Oslo (OCDE, 2005): “Una innovación es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores.”(OCDE, 2005)

Un elemento esencial de la innovación es su éxito en la aplicación comercial. No sólo hay que inventar algo, también se trata de introducirlo en el mercado para que los ciudadanos puedan disfrutarlo.

Una distinción relevante en lo que se refiere a las evaluaciones del impacto de las innovaciones es que éstas pueden ser *ex post* y *ex ante*. Ambos tipos de análisis utilizan la misma base teórica, pero emplean diferentes tipos de información que son pertinentes para diferentes situaciones.

El análisis *ex-post* se lleva a cabo después de concluida la investigación. Se trata de evaluar el resultado de intervenciones, consideradas como una innovación (tecnología adoptada por productores rurales o empresas). Las evaluaciones de impactos *ex post* son realizadas cuando ha transcurrido el tiempo suficiente para que se puedan verificar los efectos de la innovación en términos de sus impactos económicos, sociales y ambientales a más largo plazo. Este tipo de evaluación contribuye a demostrar el impacto de la innovación a los inversores (públicos y privados). Asimismo, posee otros efectos, como, por ejemplo, el aprendizaje (impacto sobre el conocimiento) además de poner en evidencia la eficacia de la investigación.

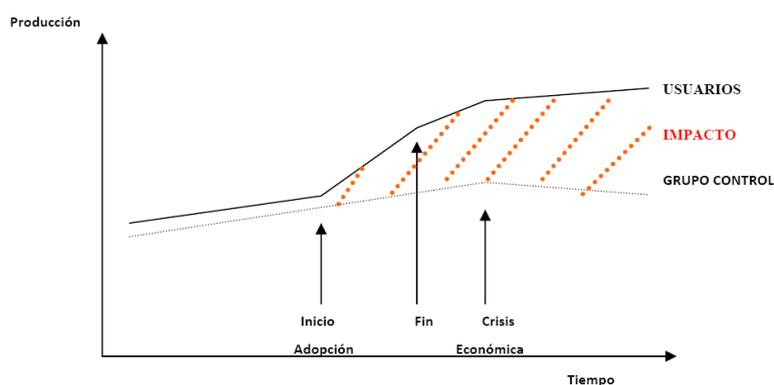
Uno de los problemas centrales de la evaluación de impacto *ex post* es la relación de causalidad y, por tanto, está asociado a una difícil pregunta: ¿qué hubiera

pasado si no hubiera existido dicha innovación? Es decir, una determinada empresa adopta una innovación y, pasado el tiempo que se considera necesario para la evaluación, se observa que ha aumentado la rentabilidad de dicha empresa. ¿Hasta qué punto se puede atribuir tal incremento a la adopción de la innovación, dado que sabemos que la rentabilidad de las empresas depende de otras múltiples variables?

Lo que resulta difícil filtrar son aquellos casos en que, simultáneamente con la adopción de la tecnología, surge otra intervención, por ejemplo, que afecte de manera substancial, positiva o negativamente, a la misma población de usuarios, salvo que en la muestra pudiera llegar a distinguirse entre: (1) aquellos que utilizaron la innovación y (2) los que no la utilizaron.

En el caso ideal, debe disponerse de un grupo control, que no haya sido usuario de la innovación (Figura 2), y que tenga las mismas características que los usuarios (Waissbluth, 2006).

Figura 2 - Impactos generados por la adopción de una dada tecnología



Fuente: Waissbluth (2006).

En nuestro caso, esta consideración es importante porque la evaluación es realizada por medio de comparaciones. Se observa un grupo de usuarios que adopta la tecnología y se los compara a otro grupo que haya utilizado otra tecnología para producir lo mismo, por ejemplo, trigo (los resultados de los adoptantes de la tecnología en evaluación en detrimento de los resultados obtenidos por usuarios de semillas de otra empresa). Naturalmente se habla de usuarios y consumidores, así que se puede pensar que un agricultor siempre va a elegir lo que le parezca más adecuado para obtener una mayor rentabilidad, además de considerar otros criterios, como el uso de la mano de obra, todo eso dentro de lo disponible en el mercado. Así que se compara usuarios de la

tecnología en evaluación con usuarios de otras tecnologías competitivas. Todo ello porque la idea es identificar si la tecnología aporta impactos económicos y sociales.

O sea, estamos delante de dos situaciones: con investigación (usuarios de la tecnología en cuestión) y sin investigación (usuarios que usan lo que había disponible en el mercado). De esa forma, se investiga si los resultados encontrados, después de analizados los dos grupos, son fruto del avance de la innovación tecnológica.

El análisis *ex post* puede suministrar algún sustento para decisiones estratégicas acerca del presupuesto total de la investigación de mejora y su destino. Sin embargo, estos resultados no pueden ser usados directamente para responder a cuestiones referentes, por ejemplo, a la mejor manera de distribuir los recursos entre diferentes programas de investigación (Pardey *et al.* 2004).

La respuesta a tales cuestiones exige un cálculo *ex ante* de las estimaciones de los beneficios probables de esas inversiones (en contraste con las evidencias desarrolladas por estudios *ex post*) y una medida del grado de sensibilidad de los beneficios respecto a los cambios en la suma de los recursos. El proceso de evaluación *ex post* se torna relevante en un contexto de toma de decisión si es capaz de suministrar una referencia y fundamentación para un análisis *ex ante*.

El análisis *ex ante*, se lleva a cabo con anterioridad a la actividad de investigación. Indica la perspectiva futura estrictamente en términos de análisis de inversiones y considera el producto de la inversión en investigación científica, la adopción temprana de los resultados y los efectos posteriores sobre los precios, los productos y los beneficios de la empresa y del mercado. Es, por naturaleza, estimativo e hipotético y tomado como fuente de información acerca de las consecuencias esperadas de las asignaciones alternativas de recursos de investigación (Pardey *et al.* 2004).

En un contexto *ex ante*, emergen diferentes tipos de problemas. En especial, es necesario realizar la difícil tarea de obtener medidas aceptables de los probables resultados científicos de diferentes hipotéticas inversiones de investigación – y no sólo sobre cuáles serán los probables resultados, dado que, además, hay que estimar cuánto van a costar. Es también necesario averiguar el tiempo en el cuál será posible verificar la obtención de tales resultados. Asimismo, debemos referirnos frecuentemente al problema de la traducción de una estimación de ganancias bajo condiciones experimentales en términos de una medida del desempeño comercial.

En evaluaciones *ex ante* interesan los objetivos de la actuación, pero razonando que la actuación todavía no se ha desarrollado. Se centra en el diseño de la actuación

con el objetivo de verificar su adecuación al enfoque buscado, las perspectivas de obtener resultados satisfactorios de acuerdo con los objetivos enunciados, la coherencia interna que presentan las propuestas, la adecuación de los recursos materiales y humanos movilizados, etc. (Viladomiu y Rosell, 1998).

La investigación en biotecnología, por ejemplo, ofrece una amplia gama de posibilidades para elevar la productividad de los adoptantes de la innovación. A corto plazo, su contribución más importante es el aumento de la cantidad y de la calidad de la producción global de alimentos. La biotecnología de plantas puede producir las semillas que podrán contribuir hacia la productividad creciente y los sistemas de cultivo sostenibles, que son un ingrediente esencial para mejorar el uso responsable de los recursos naturales.

#### **1.4.1. TEORÍA DEL EXCEDENTE ECONÓMICO**

Los impactos económicos de las evaluaciones de nuestra muestra fueron estimados usando el enfoque del excedente económico, conforme a lo propuesto por Tosterud *et al.* (1973) y Kislev y Hoffmam (1978). Dicho enfoque permite que se estime el beneficio económico generado por la adopción de innovaciones tecnológicas, comparado con una situación anterior en que la oferta del producto dependía de la tecnología tradicional.

El enfoque del excedente económico permite estimar los beneficios económicos generados por la adopción de innovaciones tecnológicas frente a una situación en la que el suministro del producto era hecho mediante el uso una de tecnología tradicional, o sea, donde hubo un cambio técnico.

De acuerdo con Ardila (1999): "*El cambio técnico aplicado a la agricultura se entiende como un proceso que afecta la proporción y formas de uso de los factores de producción, generando al mismo tiempo un excedente económico objeto de apropiación entre diferentes actores sociales, mediante la introducción de cambios en el proceso productivo (en la calidad y formas de aplicación de tecnologías de procesos, productos, equipos y materias primas). El cambio técnico no puede considerarse como un proceso neutro, por cuanto sus efectos pueden producir externalidades positivas o negativas, no*

*solo desde el punto de vista económico, sino también desde el punto de vista social y ambiental.” (Ardila, 1999: 4)*

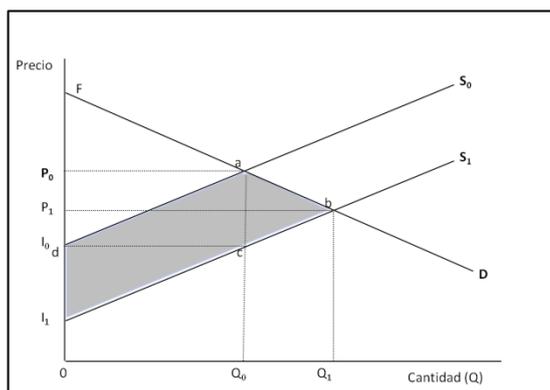
En este trabajo consideramos el cambio técnico desde el punto de vista económico, las diferentes trayectorias que el mismo puede seguir en la agricultura, que tienen impactos diferenciales en el volumen del excedente generado.

Si bien el cambio técnico ocurre en todas las etapas desde la producción, su transformación y finalmente comercialización, se presenta esta conceptualización más desde la perspectiva de producción, que ha sido la visión predominante hasta ahora (Ardila, 1999). Por lo demás, esta visión deberá cambiar rápidamente, para adaptarse a una situación en la cual la investigación tradicional supera cada vez más el nivel de análisis de la finca de explotación, para adentrarse en temas más vinculados con las cadenas agroalimentarias y los procesos de innovación.

La base del cálculo de beneficios para modelos que utilizan la teoría del excedente económico considera inicialmente el desplazamiento de la oferta del producto en cuestión, a partir de la adopción de una tecnología o conjunto de tecnologías en el proceso productivo.

El cálculo de la producción del excedente se ilustra en la figura 3, representada por la zona sombreada (Avila, 2008).

Figura 3 - El excedente económico



Fuente: Avila, 2008

Cuando la investigación desarrolla una tecnología que, siendo adoptada, lleva a un aumento de productividad o disminución en los costes de producción, ocurre un desplazamiento de la curva de oferta para la derecha (Figura 3). Ese desplazamiento

afecta el excedente del productor y del consumidor. La relativa reducción en el precio es definida como:

$$Z = \frac{K\varepsilon}{(\varepsilon + \eta)} - \frac{(P_1 - P_0)}{P_0} \quad [1]$$

Donde  $P_1$  e  $P_0$  son los precios de equilibrio antes del desplazamiento de la curva de oferta,  $\varepsilon$  es la elasticidad de la demanda y  $\eta$  es valor absoluto de la elasticidad precio de la demanda. La ecuación para  $Z$  se obtiene resolviendo las ecuaciones lineales de oferta y demanda, considerando el desplazamiento de la curva de oferta y la conversión de las elasticidades:

$$\text{Oferta: } Q_s = \alpha + \beta(P + k) = (\alpha + \beta k) + \beta P \quad [2]$$

$$\text{Demanda: } Q_D = \gamma - \delta P \quad [3]$$

Donde  $k = (P_0 - d)$  y el desplazamiento de la curva de oferta para el equilibrio inicial

$$\text{es } K = \frac{K}{(P_0)} - \frac{(P_0 - d)}{P_0} \quad [4]$$

En este estudio consideramos los resultados del cálculo del excedente productor:

$$\Delta PS = P_1 b_1 - P_0 a I_0 = P_1 b c d + d c I_1 - P_0 a I_0 = P_1 b c d \quad [5]$$

Dado que  $d c I_1 = P_0 a I_0$  y bajo los supuestos de un desplazamiento paralela y lineal de la oferta y de la demanda lineal.

---

$$\Delta PS = P_1 bcd = \text{retangulo } P_1ecd + \quad [6]$$

$$\text{triangulo } bce = (P_1 - d) Q_0 + 0,5(P_1 - d) (Q_1 - Q_0)$$

$$\text{Entonces: } \Delta PS = (P_1 - d) Q_0 \frac{[1 + 0,5(Q_1 - Q_0)]}{Q_0} \quad [7]$$

$$\text{Podemos definir: } (P_1 - d) = (P_0 - d) - (P_0 - P_1) = KP_0 - ZP_0 \quad [8]$$

$$\text{y } \frac{(Q_1 - Q_0)}{Q_0} = Z \eta \quad [9]$$

$$\text{Entonces: } \Delta PS = (K - Z) P_0 Q_0 (1 + 0,5\eta) \quad [10]$$

La curva de oferta muestra las cantidades de un bien que son ofrecidas a los diferentes precios. El excedente del productor mide la diferencia entre el valor que el productor estaría dispuesto a recibir por su producto y lo que realmente recibe en el mercado. De esa forma, es la diferencia entre el precio de mercado y el coste marginal de cada unidad vendida.

Cuando la investigación desarrolla una tecnología que, siendo adoptada, lleva al aumento de productividad o disminución en los costes de producción, ocurre un desplazamiento de la curva de oferta para la derecha (Figura 3). Ese desplazamiento afecta el excedente del productor y del consumidor. Para los productores, existe una ganancia debido a la disminución en los costes de producción. Sin embargo, los productores recibirán un precio menor, ya que menores costes aumentan la cantidad ofertada, perdiendo así el área *B*.

El área  $A - B$  será positiva, dependiendo de la elasticidad de las curvas de oferta y demanda. Cuánto más elástica la demanda, mayor será el lucro del productor, ya que el consumidor responderá por la caída del precio. Los productos para exportación obtienen una demanda más elástica que, por ejemplo, los productos para programas asistenciales del gobierno que componen una demanda más inelástica. En cambio, los consumidores siempre ganan. Ellos se benefician con el área  $B + C$  debido a la baja de los precios. El lucro líquido para la sociedad es entonces el área  $A + C$ .

En los estudios de evaluación de impacto, la tasa de desplazamiento ( $K$ ) de la curva de oferta es frecuentemente calculada por centros públicos de investigación utilizando las diferencias de rendimiento entre las tecnologías en uso y las tecnologías mejoradas creadas por la investigación y las respectivas tasas de adopción.

Los beneficios calculados por medio de la metodología del excedente económico pueden ser relacionados con los costes de la investigación. De esta forma, se puede evaluar el rendimiento de las inversiones (Avila, 2008).

En las evaluaciones de impacto económico realizadas en centros públicos de investigación, se suele utilizar una variante del concepto de excedente económico para el cálculo de los beneficios. Así, se adoptan hipótesis sobre las elasticidades de la oferta y de la demanda diferentes de aquellas usadas en la mayoría de los estudios basados en este método (Avila, 2008).

Esas hipótesis poseen dos variantes referidas a las elasticidades de oferta, dependiendo del tipo de impacto de la innovación tecnológica. El aumento de producción – curva de demanda perfectamente elástica y una curva de oferta vertical (Avila, 2008).

Estimar la tasa de desplazamiento de la curva de oferta “sin investigación” hacia la curva de oferta “con investigación” (es decir, las variaciones en los excedentes del consumidor y productor) es lo que se resuelve. Es importante observar que la estimación determina el desplazamiento de la oferta de una situación sin investigación para una situación con investigación, y no antes y después de la introducción de la innovación. Muchas veces, la investigación se desarrolla para mantener los indicadores de productividad, por ejemplo. Investigaciones de control de plagas pueden ser encuadradas en ese caso. Al estimar ese desplazamiento, es decir, el área  $A + C$ , es posible conocer los beneficios que la investigación aporta a la sociedad (Magalhães *et al.*, 2006).

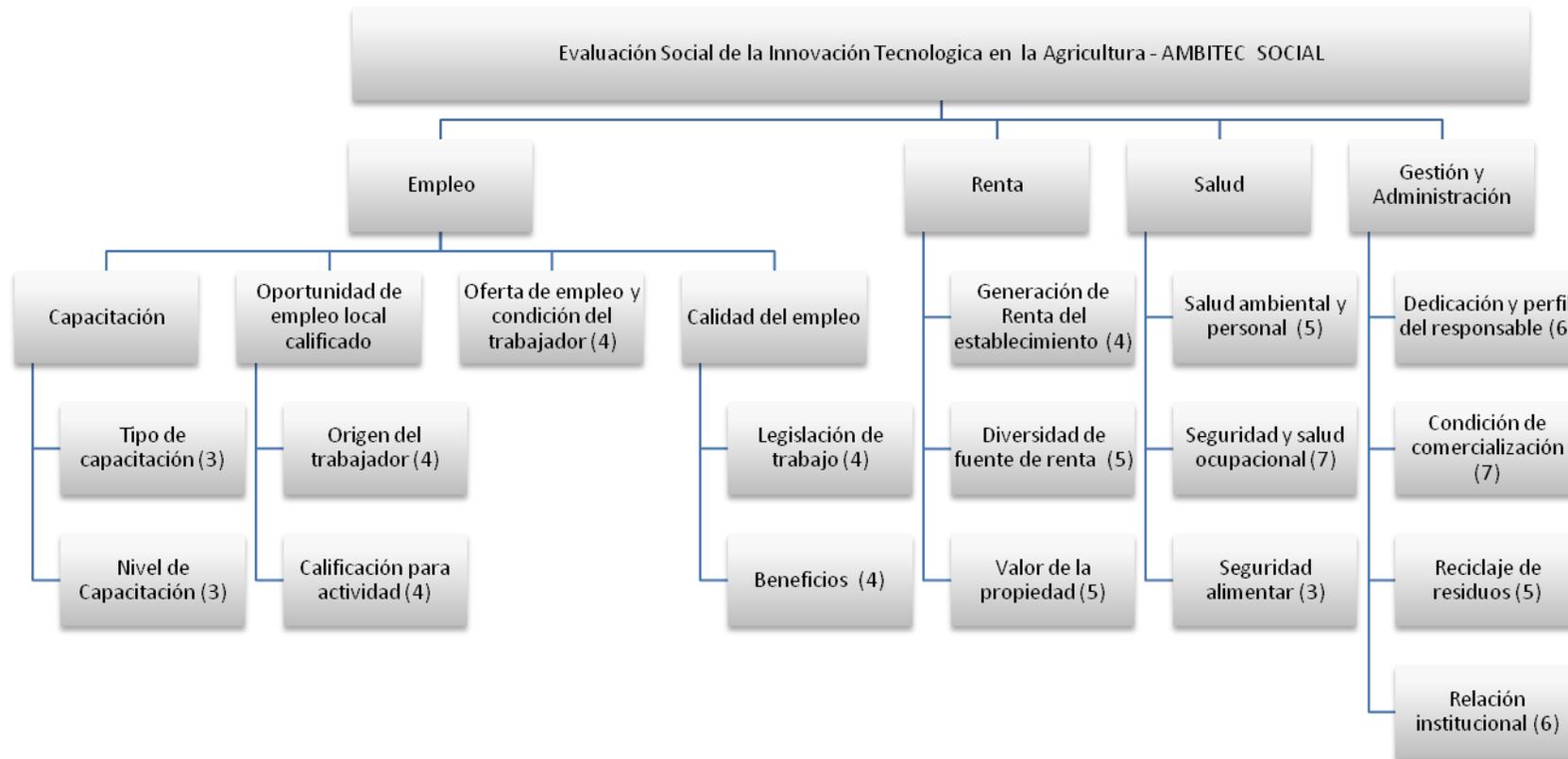
### 1.4.2. DIMENSIÓN SOCIAL

Este apartado explica resumidamente las dos metodologías de evaluación de impactos sociales usadas en Embrapa: el índice Ambitec-Social (Rodrigues *et al.*, 2005) y el método usado para estimar el número de empleos generados por las tecnologías.

El sistema de evaluación de impacto social de innovaciones tecnológicas agropecuarias (Ambitec-Social) fue desarrollado por investigadores de la Embrapa Medioambiente para ayudar las instituciones de *I+D* agropecuarios en la evaluación de los proyectos de investigación.

El Ambitec-Social consiste de un conjunto de hojas electrónicas que integran 14 indicadores que reflejan la influencia de una innovación tecnológica agropecuaria. Esos indicadores son agrupados en cuatro aspectos: i) Empleo, ii) Renta, iii) Salud y iv) Gestión y Administración (Figura 4).

Figura 4 - Organigrama Ambitec-Social



Fuente: Adaptado de Rodrigues (2008)

La construcción del sistema Ambitec-Social se basa en una experiencia previa de evaluaciones de impactos medioambientales aplicada a proyectos de investigación en el ámbito institucional (Rodrigues, 2008), en la cual fue seleccionado y validado un grupo de indicadores direccionados a la evaluación ex-ante de la alteración medioambiental de una innovación tecnológica en la actividad agropecuaria. El conjunto de indicadores fue organizado en un sistema de matrices (Rodrigues, 1998) para evaluación de impacto ecológico (Ambitec-Agro), formulado para la evaluación ex-post de innovaciones tecnológicas adoptadas por los productores rurales o disponibles para transferencia (Irías *et al.*, 2004b).

El uso del Ambitec-Social envuelve tres etapas: la primera se refiere al proceso de generación y recolección de datos generales sobre la tecnología, que incluye informaciones sobre su alcance, la delimitación del área geográfica y el universo de adoptantes de la tecnología (definiéndose la muestra).

La segunda etapa trata de la aplicación de cuestionarios en entrevistas individuales con los adoptantes seleccionados y de la inserción de los datos sobre los indicadores de impacto en hojas electrónicas componentes del sistema.

La tercera etapa es de análisis e interpretación de esos índices e indicación de alternativas de manejo y de tecnologías que permitan minimizar los impactos negativos y potencializar los impactos positivos, contribuyendo para el desarrollo local sostenible.

Los indicadores son considerados en su conjunto, para elaborar un índice de impacto social de la innovación tecnológica agropecuaria. Con ese conjunto de factores de ponderación, la escala estandarizada en el sistema Ambitec-Social varía entre -15 y +15, normalizada para todos los indicadores individualmente y para el índice general de impacto social de la tecnología.

El cálculo del coeficiente de impacto para cada indicador es obtenido por la expresión

$$Cia_i = \sum_{j=1}^m A_{ji} * E_{ji} * P_{ji} \quad [11]$$

donde  $Cia_i$  es el coeficiente de impacto del indicador  $i$ ;  $A_{ji}$  el coeficiente de alteración del componente  $j$  del indicador  $i$ ;  $E_{ji}$  es un factor de ponderación para escala de ocurrencia espacial del componente  $j$  del indicador  $i$ ;  $P_{ji}$  representa el factor de

ponderación para la importancia del componente  $j$  en la composición del indicador  $i$  y, finalmente,  $m$  es el número de componentes del indicador  $i$ .

El índice de impacto de la innovación tecnológica agropecuaria es obtenido por la expresión en la que  $C_{iai}$  simboliza al coeficiente de impacto del indicador  $i$ ;  $P_i$  es el factor de ponderación para importancia del indicador  $i$  para composición del índice de impacto de la tecnología  $t$  y  $m$  representa el número de indicadores.

Los resultados finales de la evaluación de impacto son incluidos gráficamente en la hoja 'Evaluación de Impactos Sociales de la Tecnología', después de la ponderación automática – por los factores de ponderación dados – de los coeficientes de alteración suministrados por el adoptante/responsable. Más detalles sobre el desarrollo metodológico y consideraciones conceptuales sobre el sistema Ambitec-Agro y sus módulos pueden ser obtenidos en Rodrigues *et al.* (2002, 2003a, b), Rodrigues (2008) e Irías *et al.* (2004a, b).

#### **1.4.2.1 Generación de empleo**

Según Yeganiantz y Macedo (2002), el área más compleja y también más completa para fines de evaluación de impactos de investigación es la social. En ese sentido, el dominio del impacto de la investigación agropecuaria se expande, además de la propia agricultura, y puede aproximarse a los aspectos de la renta nacional y el *PIB* (Tabor, 1998).

A pesar del debate sobre el tema y del registro en la literatura de un volumen significativo de estudios sobre los efectos de la tecnología en la forma y en el nivel de empleo, o incluso sobre las consecuencias excluyentes del proceso de modernización en poblaciones menos favorecidas, los estudios específicamente orientados hacia el análisis de impactos sociales resultantes de investigación tecnológica no son muy frecuentes. Los estudios que buscan cuantificar y calificar los impactos sociales de la investigación ocurren en menor número que otras dimensiones, como la económica y la ambiental (Furtado y Salles-Filho, 2003).

La tarea de cuantificar el empleo generado por un centro público de investigación es bastante compleja porque, en ciertos casos, la generación de nuevos empleos no depende solo de la adopción de innovaciones. Así que hacer una estimación exige la construcción de una metodología específica para medir el número adicional de empleos, dada la adopción de una innovación tecnológica.

Básicamente, lo que se busca es medir es el número de empleos adicionales resultantes de la adopción de una tecnología dada, comparativamente a la situación de los empleos (en el ámbito del productor o de la agroindustria) usando la tecnología anterior.

En el caso del productor, se considera la situación anterior y posterior a la adopción de la tecnología. Para fines de comparación, se realiza un análisis de campo con los productores que no adoptaron la tecnología con aquellos productores que utilizan la tecnología en evaluación.

En la parte de procesamiento, distribución y consumo, se utiliza la misma metodología de obtención, buscando identificar los impactos sobre cada uno de los segmentos. Para evitar problemas de sobreestimación, los datos estimados se comparan con datos sobre empleo de fuentes secundarias.

Conviene tener en cuenta que son considerados únicamente los empleos adicionales, o sea, empleos que no habrían sido creados si los productores estuvieran adoptando alternativas tecnológicas diferentes a la que se está evaluando.

Este análisis, más amplio, posibilita verificar, bajo el punto de vista del número de empleos, en qué eslabones de la cadena productiva están ocurriendo los impactos. Hay casos, por ejemplo, en los que los empleos eliminados en un determinado eslabón de la cadena productiva son compensados con un número mayor de empleos generados en otros segmentos de la cadena.

## **1.5. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

En este capítulo comentamos el marco teórico de la tesis, las teorías relativas a la evaluación de impactos de innovaciones tecnológicas que pueden ser usadas para estudiar la realidad de los centros públicos de investigación, y también describimos los métodos utilizados en la obtención de la muestra que sirvió de base para desarrollar las dos terceras partes de la parte empírica de esas tesis, mas precisamente los métodos de evaluación de impactos económicos, sociales y del punto de vista de algunos activos intangibles.

Se destaca que la evaluación de impactos representa, para los centros públicos de investigación, una medida importante para justificar inversiones en investigación y

desarrollo (*I+D*) a la vez que fortalece elementos para el perfeccionamiento de la misma. Hay que considerar también que no es lo mismo evaluar la *I+D* en organizaciones privadas, que venden sus productos y por tanto tienen muchas opciones metodológicas para estimar sus beneficios económicos, y en centros públicos, donde los beneficios son demostrados en términos de beneficios transferidos a la sociedad.

En ese sentido, intentamos ir mas allá en esa cuestión cuando presentamos la teoría de las Opciones Reales como alternativa para evaluar proyectos de *I+D* en centros públicos. Esta es una teoría utilizada tradicionalmente en el mercado financiero y en empresas privadas, pero que se demuestra prometedora para evaluar proyectos de *I+D* pública.



## CAPÍTULO 2 - EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA *I+D*: RESULTADOS GENERADOS POR LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA PÚBLICA EN BRASIL

### 2.1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Echeverría y Trigo (2008) la *I+D* agrícola en América Latina ha contribuido de forma importante al desarrollo de la región en los últimos 50 años, de modo que, cualquier que fuera la forma de evaluación de las inversiones en la *I+D*, los resultados revelarían el aumento de la productividad y la mejora en las condiciones de vida de la población. Es más, según los anteriores autores, en el caso de Brasil un estudio hecho entre 1984 y 2003 reveló que, a nivel agregado, cada dólar invertido en la investigación agropecuaria generó un retorno de 16 dólares para la sociedad.

Uno de los factores primordiales para el aumento de la productividad en el sector agrícola es la introducción de innovaciones resultantes de la *I+D* (Spielman y Birner, 2008). Pero tan importante como promover estos efectos es el hecho de poder evaluarlos y demostrar su valía. Por consiguiente, los estudios dedicados a evaluar los impactos de las inversiones públicas en investigación agrícola son importantes como instrumento para acreditar la rendición de cuentas, además de servir como herramienta para la toma decisiones de las futuras inversiones en *I+D* (Alston *et al.*, 2000 y Evenson, 2001).

Aumentar el número de patentes registradas y autorizadas, de artículos publicados y el número de cursos de capacitación ofrecidos por unidad monetaria es una forma de rendición de cuentas. Asimismo, es importante para verificar los impactos de los productos generados por la *I+D* en sus aspectos económicos, sociales y ambientales (Zackiewicz, 2005, en Arruda, 2008).

En esta parte de la investigación se estudian los resultados de la evaluación de impacto económico y social de las innovaciones tecnológicas direccionadas al sector agropecuario y generadas por centros públicos de investigación en Brasil, en otras palabras, lo que se plantea es realizar un estudio sistemático de resultados de la *I+D*. El objetivo general es: realizar *un estudio sistemático de los resultados de las evaluaciones de impactos de la I+D agrícola*. Con tal motivo, se revisan 1150 informes

de resultados de evaluación de impactos de tecnologías elaborados por 37 centros públicos brasileños de investigación en el periodo 2001-2010<sup>3</sup>.

Una revisión sistemática es una reevaluación de los resultados de otras investigaciones. Está basado en ciertos principios: búsqueda y combinación cuantitativa de los resultados de investigaciones que respondan a una pregunta similar. De acuerdo con Goodman (1996), una revisión sistemática aplica estrategias científicas para limitar los sesgos en el proceso de recopilación, valoración crítica y síntesis de los estudios relevantes sobre un tema. Según Guerra *et al.* (2003), las revisiones sistemáticas de la literatura científica son estudios pormenorizados, selectivos y críticos, que tratan de analizar e integrar la información esencial de los estudios primarios de investigación sobre un problema de específico<sup>4</sup>. En este estudio, las preguntas de investigación que se pretende contestar son:

1. *¿Son las innovaciones que poseen una mayor área las que generan más puestos de trabajo?, o sea ¿existe relación entre tasa de adopción y número de empleos?*
2. *¿Existe relación entre beneficios económicos y la cantidad de veces en que una tecnología ha sido evaluada?*
3. *¿Son las innovaciones que generan mayores beneficios económicos las que presentan mejores impactos sociales (número de empleos y índice de impacto social) y área, o sea, ¿qué se puede decir del comportamiento de los beneficios económicos respecto a la trayectoria del área y aspectos sociales?*
4. *¿Existe diferencia entre las medias de generación de beneficios económicos de estos tipos de centros?*

El trabajo está dividido en cuatro partes. Después de esta introducción, el apartado segundo presenta una breve revisión de la literatura reciente sobre revisiones sistemáticas y las metodologías utilizadas para llevarlas a cabo, además, comenta su creciente importancia en el ámbito académico e institucional. Asimismo, explica el

---

<sup>3</sup> Son considerados en la revisión sistemática los impactos – económicos y sociales- generados por las innovaciones agrícolas y que están documentados en los correspondientes informes científicos y técnicos.

<sup>4</sup> Las revisiones sistemáticas son consideradas estudios secundarios, pues su población de estudio son los propios estudios primarios. Es común encontrar en la literatura los vocablos revisión sistemática y meta-análisis indistintamente, pero, de acuerdo con Guerra *et al.* (2003), el término meta-análisis debe aplicarse únicamente cuando, a juicio de los investigadores, los trabajos incluidos en la revisión “se pueden combinar razonablemente” efectuando una síntesis estadística cuantitativa de sus resultados para obtener una estimación combinada de los efectos descritos en los estudios individuales. Así, la revisión sistemática constituye un proceso de investigación más amplio, que va desde la formulación del objetivo hasta la interpretación de los resultados, incluyendo la fase de análisis estadístico cuando haya sido posible la agregación cuantitativa de los datos.

procedimiento metodológico empleado en este estudio: estadística descriptiva y de correlación bivariada y también la técnica de datos tipo panel probando algunos modelos estáticos y dinámicos. En el tercer apartado se describen y discuten los resultados de la revisión sistemática. Se comentan las cuestiones de medición que se presentan en la evaluación empírica del impacto de investigación, y cómo ciertos aspectos del análisis pueden influir en las estimaciones. Las tablas de la 3ª parte proporcionan información útil en forma de medidas parciales de correlación y los resultados de los modelos de panel de datos. Pero, con el fin de comprender realmente las características particulares de las estimaciones, medimos los efectos de todas las variables al mismo tiempo, en un análisis multivariante. El apartado cuatro concluye el capítulo.

## **2.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA: QUÉ ES UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Una revisión sistemática pretende extraer información adicional de unos datos preexistentes a través de la unión de resultados de diversos trabajos y por la aplicación de una o más técnicas de análisis. El método permite optimizar los resultados obtenidos con el esfuerzo de otras investigaciones. Así, como en el caso de los meta-análisis, datos producidos para atender a los objetivos específicos de una investigación individual, casi siempre limitados temporal y geográficamente, pueden, al ser reunidos, considerar un periodo de tiempo más largo y un espacio territorial más amplio que cualesquiera de las investigaciones aisladas (Luiz, 2002).

La investigación agropecuaria, posee algunas áreas donde es común la utilización de análisis conjunto de experimentos, como, por ejemplo, en el mejoramiento genético vegetal. Pero las revisiones sistemáticas propiamente dichas empiezan a destacarse en evaluaciones de impacto. El uso adecuado de tales revisiones puede auxiliar en la optimización de la aplicación de los recursos para la investigación al permitir y hasta incentivar la reutilización de los resultados obtenidos, dando oportunidad a que un mismo conjunto de datos pueda ser evaluado, no sólo por quien los generó, sino por otros analistas.

Sin embargo, aparece un comentario recurrente en los trabajos que utilizan las revisiones sistemáticas: la utilidad de los resultados está muy relacionada con la calidad

de la información recogida de los estudios que serán utilizados como muestra (Luiz, 2002; Laporte, 2001). La forma en que los datos puedan ser tratados en una revisión sistemática dependerá casi totalmente de sus características. Si solo dispusiéramos de las estadísticas de los datos, como medias, coeficientes angulares y proporciones, las técnicas disponibles para el análisis conjunto serán diferentes de aquellas otras aplicables cuando se disponga de datos originales (Luiz, 2002).

En caso de que los datos provengan de trabajos ya publicados, su obtención es simple, como la que se utiliza en una revisión bibliográfica común. En contrapartida a la facilidad de obtención, una desventaja de este tipo de datos es que difícilmente las revistas publican artículos con datos originales. En la mayoría de las veces, solo son presentados los resultados ya analizados, en la forma de estadísticos como media, varianza, coeficiente de correlación, etc., lo que limita el uso de las técnicas que podrán ser aplicadas en la revisión sistemática.

Por otro lado, cuando está disponible el acceso a datos brutos de investigación, las posibilidades de análisis estadístico pasan a ser enormes, siendo definida por los objetivos y línea de trabajo del investigador y, también, por las características de los datos. (Luiz, 2002; Laporte, 2001). La fuente de los datos, en esa situación, interfiere poco en la elección del método de análisis.

El investigador puede tener acceso a los datos brutos de investigación de diversas formas, además de la búsqueda en trabajos publicados. Un ejemplo es el caso de datos recogidos y almacenados a lo largo del tiempo por empresas, universidades o institutos de investigación, que eventualmente sirvieron a uno u otro propósito, como tesis, diagnósticos, publicaciones, etc., pero nunca fueron reunidos en un único análisis.

Una revisión sistemática, a pesar de su utilidad, como cualquier método o técnica, puede ser conducida de manera equivocada llevando a conclusiones erróneas o tendenciosas. Algunas de las causas de la conducción inadecuada del método pueden ser evitadas, entre ellas la tendenciosidad en la elección de los datos y la incompatibilidad de los mismos a los objetivos propuestos. Es importante razonar que, como en toda la actividad humana, el mal uso no es inherente al método, sino ocasionado por la incorrecta manipulación por parte del usuario.

De hecho, es habitual que se escape al control del investigador las condiciones o la bondad de las informaciones que alimentan los modelos y, por consiguiente, los resultados de los estudios utilizados en la revisión. Pero estos problemas pueden ser eliminados o minimizados si algunas prevenciones fuesen consideradas a la hora hacer

la revisión sistemática. La metodología utilizada en los trabajos cuyos resultados servirán de muestra, por ejemplo, es algo que se puede verificar más fácilmente, lo que es particularmente importante en el sentido de examinar los datos.

Una vez formuladas las preguntas de investigación, el paso siguiente en una revisión sistemática consiste en identificar los ensayos realizados sobre la cuestión objeto del estudio (Laporte, 2001). Es bien sabido que muchos ensayos terminados no llegan a publicarse. Esto es más frecuente cuando el resultado del ensayo es "negativo", es decir, cuando no se demuestran diferencias significativas entre los grupos comparados. En este caso, el investigador, y el organismo financiador, suelen tener menos interés en preparar un artículo publicable.

Por otra parte, los editores de revistas tienen mayor tendencia a rechazar la publicación de estos artículos, porque los resultados "negativos" no suelen ser noticia. También puede ocurrir que un mismo ensayo haya sido publicado más de una vez, en formas aparentemente diferentes; la publicación duplicada también puede introducir un sesgo, que favorece la tendencia de los resultados de los ensayos que han sido objeto de publicación duplicada.

La tendenciosidad también puede insinuarse en la elección de los datos que serán utilizados en la revisión de otras alternativas. La más frecuente de ellas es la elección de trabajos favorables a la hipótesis que el investigador quiere probar. El favorecimiento puede hasta no ser consciente, pero se manifiesta incluso en la forma de buscar los trabajos publicados, a través del tipo de palabra clave escogida, de la línea de las revistas consultadas y hasta del periodo investigado (Laporte, 2001).

Es importante tener presente que, a pesar de no ser posible recoger los datos de forma aleatoria, en el estricto sentido del término, se debe intentar asegurar que la forma de elección de los casos incluidos no contamine de forma tendenciosa el conjunto de estudio. O sea, la heterogeneidad asociada al ambiente de recogida y la presencia de factores no controlables no deberían contaminar la muestra (Anello y Fleiss, 1995). En definitiva, dado que el sesgo de publicación es algo difícil de identificar y cuantificar, se evitaría su aparición si se pudiera acceder a bases de datos brutos en las que se incluyan los ensayos antes que lleguen a la fase de publicación.

### 2.3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada consiste en la revisión de la literatura sobre el tema, además del análisis cuantitativo. En lo que se refiere al tratamiento estadístico de los datos serán utilizadas, en un primer momento, técnicas de estadística descriptiva (media, desviación típica, mínimo, máximo, varianza y análisis de correlación). Asimismo, conviene tener en cuenta que, al tratarse de una muestra que considera un periodo de diez años, y que en muchos casos una misma tecnología es evaluada durante dos o más años, un análisis de datos tipo panel resulta ser una técnica adecuada para tratarlos. Un análisis utilizando este método de estimación permite, por ejemplo, identificar mejor los efectos que se deducen de una determinada innovación tecnológica.

La estimación con datos de panel combina aspectos de las series temporales y de secciones cruzadas, o sea, se trabaja con datos de varias unidades de medida al largo del tiempo. Según Hsiao (1986), los modelos para datos de panel poseen ventajas respecto a los modelos de corte transversal o a los de series temporales como, por ejemplo, el control de la heterogeneidad presente en los individuos. Además, las estimaciones de panel de datos admiten el uso de más observaciones, aumentando el número de grados de libertad y disminuyendo la colinealidad entre las variables explicativas. Como es sabido, cuando hay multicolinealidad resulta complicado verificar si un regresor individual influencia la variable dependiente. Cuando se controla ese problema, mejora la calidad de la estimación de los parámetros. Además de eso, las estimaciones con datos en panel son apropiadas para identificar y medir efectos no detectables por medio del análisis de datos en corte transversal o de series temporales aisladamente.

Un ejemplo de lo anterior es aportado por Duarte (*et al.* 2007) en Bratsberg *et al.* (2002), en un estudio sobre el impacto de la naturalización en los salarios de los inmigrantes. Por medio del análisis de los datos en corte transversal se verificó que los inmigrantes naturalizados ganan salarios mayores y ocupan cargos mejores en las empresas en que trabajan. Sin embargo, no fue posible determinar si las ventajas adquiridas por el inmigrante en el mercado de trabajo fueron consecuencia de la naturalización o de la productividad de los inmigrantes que se naturalizaron. Ese efecto sólo puede ser identificado con el uso de los datos en panel, toda vez que dichos modelos permiten controlar las características individuales de los inmigrantes, como la edad y el tiempo pasado desde que emigró.

Algunos modelos econométricos fueron comprobados en la búsqueda de resultados más robustos para las estimaciones. Se han probado modelos de datos de panel estáticos y dinámicos (lo que diferencia un panel dinámico es la inclusión en el modelo de variables pertenecientes a diferentes periodos temporales en sus ecuaciones). Más precisamente, probamos el modelo *Pooled*, el de Efectos Aleatorios y el de Efectos Fijos.

Para los paneles dinámicos se experimentaron los estimadores de Arellano y Bover (1995) y Blundel y Bond (1998), mediante el estimador *System GMM*. Las ventajas de este estimador por sobre los otros existentes en la literatura como Efectos Fijos, o Arellano y Bond (1991), entre otros, es que no sesga los parámetros en muestras pequeñas o en presencia de endogeneidad y usa un conjunto de ecuaciones en diferencias que son instrumentalizadas con los rezagos de las ecuaciones en niveles (Egaña Sol y Bravo-Ortega, 2010).

Además, fueron consideradas algunas pruebas econométricas con el objetivo de identificar posibles problemas que resultarían en estimaciones sesgadas e inconsistentes de los parámetros. Se realizaron pruebas para detectar problemas de multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación. Para la detección de la multicolinealidad se recurrió al Factor Inflación de Varianza (*FIV*). Para probar la hipótesis nula de homocedasticidad de los residuos fue utilizada la prueba de Breusch-Pagan. Para la detección de autocorrelación, la prueba utilizada fue la propuesta por Arellano y Bond 1991, bajo la hipótesis nula de que no hay autocorrelación de primera orden en el panel. El modelo general para los datos de panel es representado por:

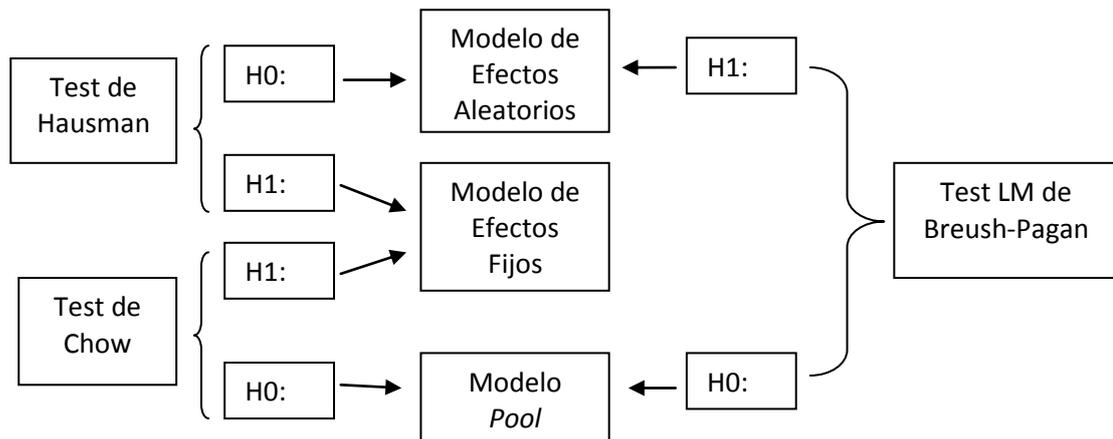
$$Y_{it} = \beta_{0it} + \beta_{1it}x_{1it} + \dots + \beta_{nit} x_{kit} + e_{it} \quad [12]$$

Donde el subíndice  $i$  denota los diferentes individuos y  $t$  denota el periodo de tiempo que está siendo analizado.  $\beta_0$  se refiere al parámetro de intercepto y  $\beta_k$  al coeficiente angular correspondiente a la  $k$ -ésima variable explicativa del modelo.

En este modelo general, el intercepto y los parámetros respuesta son diferentes para cada individuo y para cada periodo de tiempo. Existiendo más parámetros desconocidos que observaciones no es posible estimar los primeros. Así es necesario

establecer medidas para el modelo con la finalidad de hacerlo operativo. De los modelos que combinan datos de series temporales y datos en corte transversal, los más utilizados son: el Modelo de *Pool*, el Modelo de Efectos Fijos y el Modelo de Efectos Aleatorios. Para elegir entre los modelos hay diferentes pruebas (Figura 5):

Figura 5 - Pruebas para datos tipo panel



Fuente: elaboración propia

En este trabajo el primer test realizado ha sido el de Hausman (1978) y a partir de los resultados se descartó el Modelo de Efectos Fijos. El test de LM de Breush-Pagan (Breush y Pagan, 1980) confirmó una vez más que el modelo más adecuado es el de efectos aleatorios. En el modelo de efectos aleatorios, el intercepto varía de un individuo para el otro, pero no al largo del tiempo, y los parámetros respuesta son constantes para todos los individuos y en todos los periodos de tiempo. En este modelo los individuos sobre los cuales se dispone de datos son muestras aleatorias de una población mayor de individuos. Como sugerido por Hill, Griffiths y Judge (1993), los  $n$  interceptos serán modelados como:

$$\beta_{0i} = \beta_0 + \alpha_i \quad [1] \quad i = 1, \dots, n \quad [13]$$

Se puede notar que este intercepto es compuesto por  $\alpha_i$  que capta las diferencias de comportamiento de los individuos, y por un segundo componente,  $\beta_0$ , que corresponde al intercepto poblacional. El modelo general de efectos aleatorios es dado a continuación:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \dots + \beta_{kit} x_{kit} + v_{it} \quad [14]$$

Donde  $v_{it} = e_{it} + \alpha_i$  [13] representa el término de error.

Para probar el modelo de efectos aleatorios, utilizamos la prueba basada en el multiplicador de Lagrange (Breusch y Pagan, 1980) en Greene (1997). Wooldridge (2006) defiende que el principal determinante para decidir entre el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios es el efecto no observado  $\alpha_i$ . En situaciones en que  $\alpha_i$  no está correlacionado con todas las variables explicativas, el modelo de efectos aleatorios es el más indicado. De lo contrario, si  $\alpha_i$  está correlacionado con algunas variables explicativas, entonces el modelo de efectos fijos debe ser utilizado. Asimismo, para comprobar si existe correlación entre  $\alpha_i$  y las variables explicativas, ha sido utilizada la prueba de Hausman (Greene, 1997).

Un modelo de regresión dinámico simple para una unidad económica puede ser el siguiente:

$$y_{it} = \theta y_{i,t-1} + x'_{it} \beta + e_{it} \quad [15]$$

que será el prototipo de modelo para datos de panel dinámico en el que se supondrá a partir de ahora que el término de error es del tipo

$$e_{it} = \alpha_i + v_{it} \quad [16]$$

Respecto a los estimadores, Arellano y Bover (1995) y Blundell y Bond (1998) demostraron que cuando existen instrumentos disponibles no correlacionados con los efectos individuales  $\alpha_i$ , estas variables pueden utilizarse como instrumentos en la ecuación en niveles, [15], combinando así las anteriores condiciones de momento para las ecuaciones de diferencias con las nuevas condiciones de momento de las ecuaciones en niveles, lo que permite obtener un estimador por el Método Generalizado de Momentos (MGM) no sólo consistente, sino también eficiente.

De acuerdo con Roodman (2009), Arellano-Bond (1991) y Arellano-Bover (1995) / Blundell-Bond (1998), las estimaciones de panel dinámico son cada vez más

populares porque fueron definidas para situaciones como, por ejemplo, 1) paneles que presentan " $T$  pequeños y  $N$  grandes", es decir pocos períodos de tiempo y muchos individuos, 2) el lado izquierdo dinámico, en función de sus realizaciones pasadas, y 3) variables independientes que no son estrictamente exógenas, es decir, relacionada con realizaciones pasadas y actuales, posiblemente, del error; 4) heteroscedasticidad y autocorrelación en los individuos, pero no a través de ellos. El estimador Arellano-Bover/Blundell-Bond hace una suposición adicional de que las primeras diferencias de las variables no están correlacionadas con la instrumentación de los efectos fijos. Esto permite la introducción de instrumentos y pueden mejorar la eficiencia.

### **2.3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

La muestra utilizada en este trabajo es el conjunto de datos referentes a la evaluación de impactos de investigación generados anualmente entre el periodo 2001 – 2010 por 37 de los centros de investigación de Embrapa. Esto se refiere a 1150 informes evaluados individualmente para obtener las informaciones para la construcción de la base de datos. Es decir, serán utilizados los datos brutos generados por dicha institución.

Desde el punto de vista del análisis estadístico, hay que considerar, no obstante, que en este caso no tenemos una muestra aleatoria de datos. Más precisamente, se puede clasificar el conjunto de datos utilizados en este estudio como un *muestreo no probabilística por cuotas*, lo que formalmente impide estimar la probabilidad de que cualquier elemento de población de innovaciones de la institución se incluya en la muestra. El muestreo, en nuestro caso, fue determinado por los investigadores de los centros de investigación en el momento que eligieron las tecnologías que serían evaluadas según la metodología preestablecida.

El muestreo por cuotas o cupos es un tipo especial de muestra intencional. El criterio de elección del investigador tiene como finalidad obtener muestras que sean similares a la población en alguna característica de "control" anteriormente especificada (Kinneer y Taylor, 1998). En este caso, el diseño de la muestra se define de tal manera que reproduce a pequeña escala el universo total, tomando de éste sus características más importantes.

Sin embargo, después de revisar la bibliografía especializada, no se ha encontrado ninguna referencia que invalide o descalifique los muestreos no-probabilísticos como herramienta válida para hacer investigación sobre empresas. De todas maneras, al realizar el muestreo no probabilístico se planifican las medidas precisas para alcanzar la representación necesaria y disminuir los errores no muestrales. El principal objetivo de una investigación de esta naturaleza es reducir – no eliminar – la incertidumbre. En este sentido, el muestreo no-probabilístico ayuda a reducir la incertidumbre, aunque no la elimina completamente. Pero la eliminación de la incertidumbre es algo que el muestreo probabilístico tampoco puede hacer.

En definitiva, según Kinnear y Taylor (1998) *“no existe ninguna garantía de que los resultados obtenidos con una muestra NO probabilística sean menos exactos que los obtenidos con una probabilística. El muestreo probabilístico permite medir el error muestral que puede presentarse en la muestra; no es así en el no probabilístico.”*

Las variables utilizadas fueron elegidas con el objetivo de contestar a las preguntas de investigación. La tabla 5 describe las variables que serán consideradas en el estudio.

Tabla 5 - Variables utilizadas en el estudio

Variable	Descripción de la variable	Tipo	Observación
Nombre	Denominación de la tecnología	Nominal	
Lanzamiento	Año de lanzamiento de la innovación	Escalar	Desde cuándo estuvo disponible.
Adopción	Año en que la innovación empezó a ser adoptada por el mercado	Escalar	
Evaluación	Año de evaluación de la innovación	Escalar	De 2001 hasta 2010
Tipo de Centro	Clasificación según la naturaleza del centro	Nominal	1 – Temáticos 2 – Eco regionales 3 – Productos
Centro	Centro de Investigación que generó la innovación	Nominal	
Unidad_medida	Referente a la variable área de adopción		Si la adopción es medida en hectáreas (area), número de animales, propiedades (o empresa), etc
Área	Magnitud de la adopción	Escalar	
Beneficio económico	Renta generada por la adopción de la innovación.	Escalar	Expresada en unidades monetarias (en <i>reais</i> , la moneda brasileña; 1 Euro = 2,29 <i>reais</i> )
Empleo	Número de empleos generados o eliminados por la adopción de la tecnología	Escalar	
Índice_Social	Índice de Impacto Social	Escalar	Valores de -15 hasta 15
Años_Lanz_Adop	Años, desde el lanzamiento	Escalar	Tiempo que precisó la innovación para ser adoptada
Cuant_evalua	Cantidad de veces (años) en que fue evaluada la tecnología	Escalar	

Fuente: elaboración propia

La variable *Tipo de Centro* se refiere a los centros de Embrapa que poseen evaluaciones de impactos en este estudio: *temáticos*, *eco regionales* y de *productos*.

Las variables *Beneficio\_económico*, *Empleo* y *Índice\_Social* son medidas de acuerdo con las metodologías presentadas en el apartado 2.3. Y la variable *Años\_Lanz\_Adop* fue creada para demostrar el número de años que llevó la innovación desde el lanzamiento hasta que fuera adoptada por el mercado. La variable *Centro* se refiere al centro donde ha sido generada la innovación (los centros están listados en la tabla 4). La base de datos fue generada a partir de los informes.

## 2.4. RESULTADOS

Los resultados se presentan en dos partes, la primera revela las características de la muestra por medio de un análisis descriptivo (tablas 6 y 7). La tabla 6 presenta una visión general de los datos (evaluación de las tecnologías) agrupados por centros y tipos de centros. Los números de cada línea representan las evaluaciones hechas por cada centro durante los 10 años de estudio.

Tabla 6 - Tipos de centro, centros y numero de evaluaciones

Producto		Eco regional		Temáticos	
Centro	Nº tecnologías	Centro	Nº tecnologías	Centro	Nº tecnologías
CNPA	35	CPAFAP	7	CNPM	20
CNPAF	34	CPATU	20	CNPAT	22
CNPC	35	CPAA	23	CENARGEN	26
CNPF	30	CPATC	23	CNPS	27
CNPGC	39	CPAMN	26	CNPAB	29
CNPGL	34	CPAFRO	27	CNPDIA	29
CNPH	65	CPAFRR	27	CTAA	29
CNPMF	24	CPAP	27	CNPMA	30
CNPMS	37	CPATSA	31	CNPTIA	30
CNPSA	48	CPACT	32		
CNPSo	34	CPAFAC	38		
CNPT	33	CPAC	41		
CNPUV	34	CPAO	56		
CPPSE	30				
CPPSUL	18				
Total por centro	530		378		242
Total			1150		

Fuente: elaboración propia

De la tabla 6 se deduce que los centros de productos son responsables de 530 evaluaciones (46,1% del total de observaciones de la muestra). Los centros eco regionales son responsables del 32,9% y los temáticos analizaron 242 o 21% de las evaluaciones de impactos de la muestra.

La tabla 7 presenta tres resultados. El primero (A) se refiere a la cantidad de evaluaciones realizadas cada año en el periodo de estudio (2001 – 2010). Con excepción de 2001, año en que las evaluaciones empezaron a ser realizadas de forma sistemática en la institución, no hubo variación importante entre los demás años. El gráfico 1 plantea esta información.

Tabla 7 - Estadísticas descriptivas

<b>A</b>			<b>B</b>			<b>C</b>		
<b>Numero de Evaluaciones por año</b>			<b>Años desde el lanzamiento hasta la adopción</b>			<b>Cantidad de veces en que la tecnología fue evaluada</b>		
Válidos	Frecuencia	Porcentaje	Válidos	Frecuencia	Porcentaje	Válidos	Frecuencia	Porcentaje
	89	7,7	0	398	34,6	1	324	28,2
	110	9,6	1	523	45,5	2	246	21,4
	127	11,0	2	145	12,6	3	183	15,9
	130	11,3	3	37	3,2	4	120	10,4
	116	10,1	4	15	1,3	5	82	7,1
	127	11,0	5	14	1,2	6	60	5,2
	105	9,1	8	10	,9	7	49	4,3
	118	10,3	10	3	,3	8	40	3,5
	124	10,8	11	5	,4	9	29	2,5
	104	9,0	Total	1150	100,0	10	17	1,5
Total	1150	100,0				Total	1150	100,0

Fuente: elaboración propia

El segundo resultado (B) contiene la cantidad de años que requieren las innovaciones para ser adoptadas por el mercado después de concluido todo el proceso de generación de una innovación. La literatura apunta que el desarrollo de una innovación requiere, en promedio, de 4 a 8 años. Este es el tiempo que comprende la elaboración del proyecto de investigación, la fase de desarrollo y, por fin, las pruebas necesarias para que una tecnología sea considerada apta para su lanzamiento. Lo que mide esta variable es el periodo necesario hasta que el productor empiece a utilizar la innovación después del lanzamiento, es decir, lo que tenemos es un tipo de indicador de eficiencia temporal. Los resultados indican que 92,7% de las innovaciones empiezan a ser adoptadas en 2 años, una vez disponibles para el consumo.

El tercer resultado (C) revela la cantidad de veces en la que fue evaluada la tecnología. Aproximadamente, el 76% de las innovaciones fueron evaluadas hasta 4

años consecutivos, lo que permite conocer algo sobre su trayectoria de adopción. El gráfico 1 presenta el número de tecnologías evaluadas cada año, considerando el periodo de la muestra, es decir, expresa gráficamente el contenido de la columna A la tabla 7.

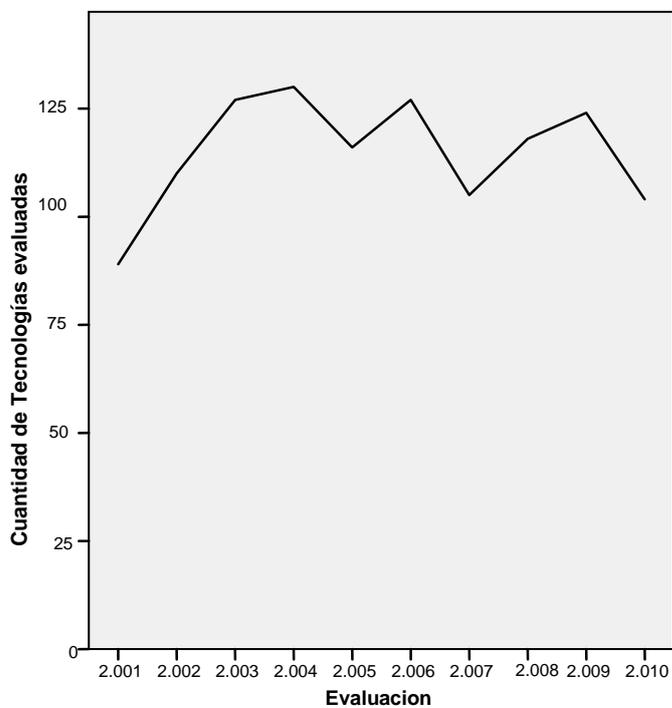


Gráfico 1 - Numero de evaluaciones por año

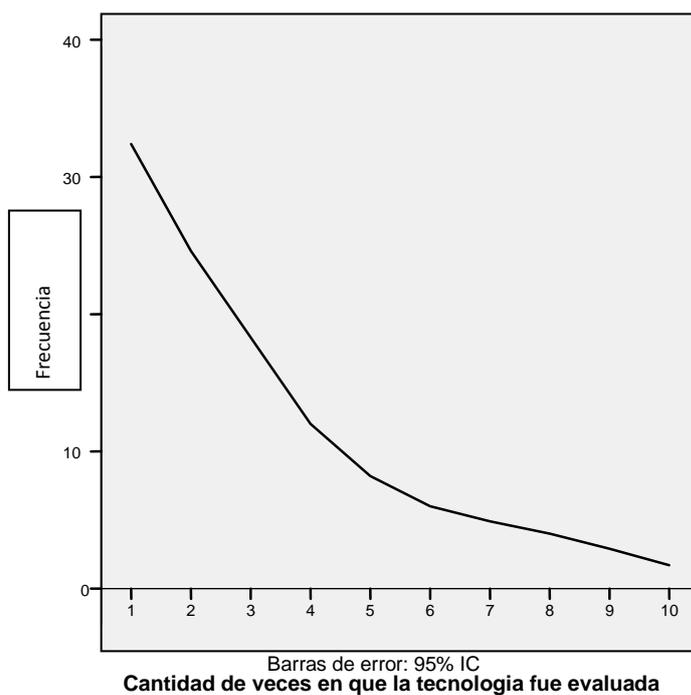


Gráfico 2 - Frecuencia de evaluación de una misma tecnología

El gráfico 2 enseña la frecuencia del número de veces que una tecnología ha sido evaluada, lo que se puede observar en la columna C de la tabla 7. Esta variable puede revelar algo muy importante para los estudios de impacto de innovaciones tecnológicas: cuánto tiempo permanece en uso una tecnología. Uno de los motivos por los cuales una innovación se evalúa es justamente el hecho de seguir siendo utilizada y generando beneficios para quién la adopta. A medida en que surge otra innovación más atractiva, ésta dejará de utilizarse y será sustituida. Ocurre que solo innovaciones que generan muchos impactos positivos se quedan en el mercado por más de dos o tres años.

También es verdad que el investigador puede elegir qué innovación prefiere evaluar, pero lo más habitual es que si una innovación presenta resultados positivos será evaluada. Cuando la tasa de adopción empiece a disminuir dejará de ser evaluada y en poco tiempo será sustituida. En otras palabras, esta variable puede ser un indicador de la trayectoria de adopción de las innovaciones tecnológicas. El gráfico 3 presenta la cantidad de tecnologías evaluadas por cada tipo de centro. Pero aquí hay que considerar que el número de centros no es el mismo, son 15 centros de producto, 13 eco-regionales y 9 centros temáticos, lo que explica esta diferencia, como es posible observar en la tabla 6.

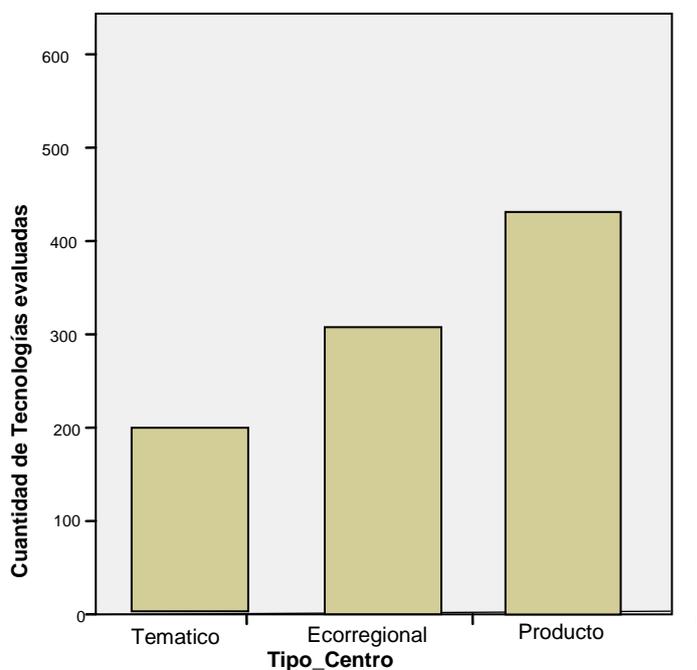


Gráfico 3 - Evaluaciones por tipo de centro

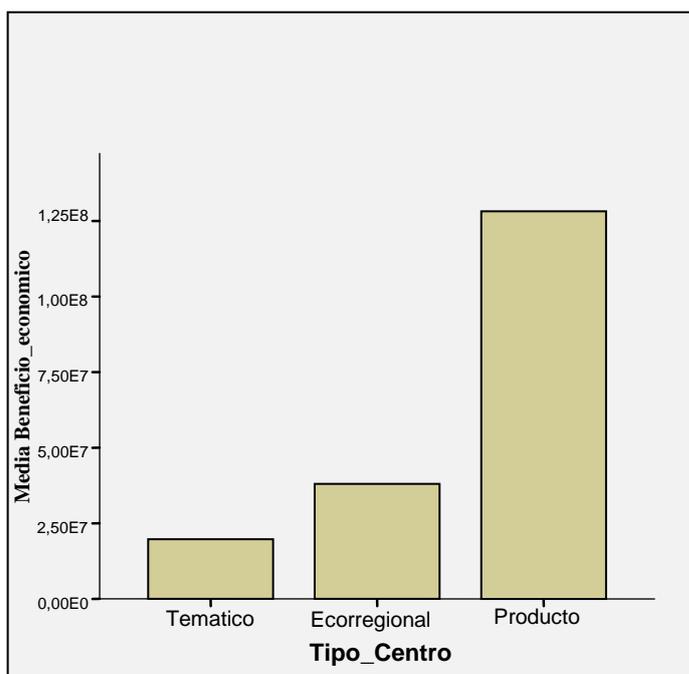


Gráfico 4 - Beneficios económicos por tipo de centro

El gráfico 4 presenta la media de los beneficios económicos, de acuerdo con el tipo de centro. Es posible observar que los centros de productos se destacan en lo que refiere a este tipo de impacto, mientras que los centros eco-regionales se caracterizan por generar, en media, un número mayor de empleos (gráfico 5).

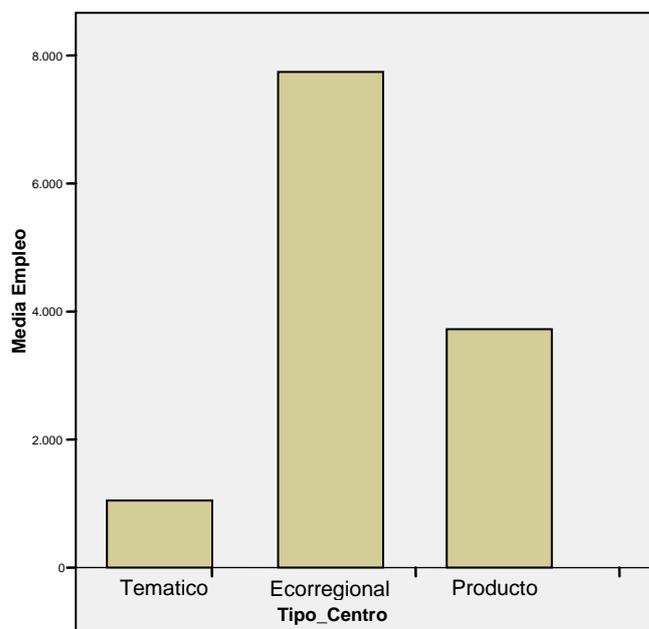


Gráfico 5 - Media de empleos por tipo de centro

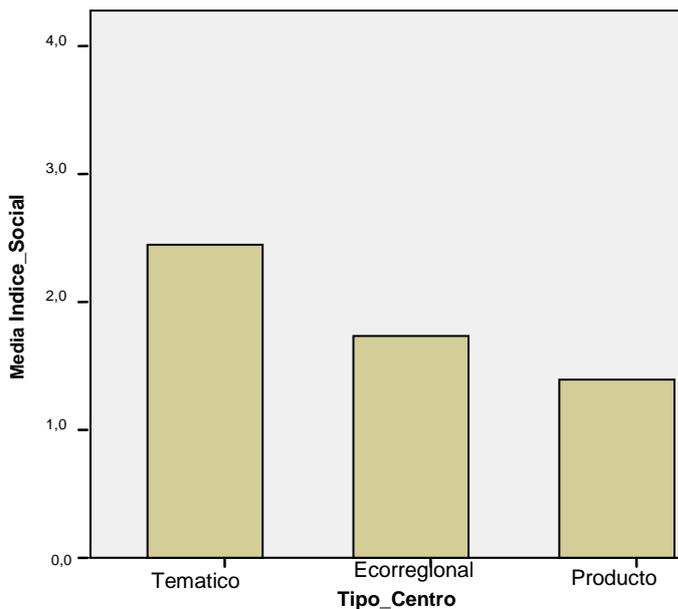


Gráfico 6 - Impactos sociales por tipo de centro

Finalmente, de acuerdo con el gráfico 6 los centros temáticos se destacan por generar innovaciones tecnológicas con mayor impacto social. O sea, se empieza a obtener evidencia de que los centros de investigación de la empresa son distintos, no solamente en su naturaleza pero principalmente por los tipos de resultados generados.

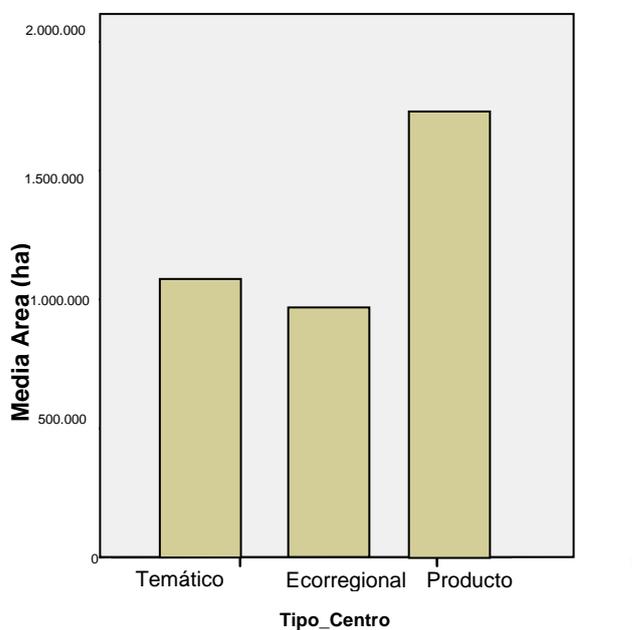
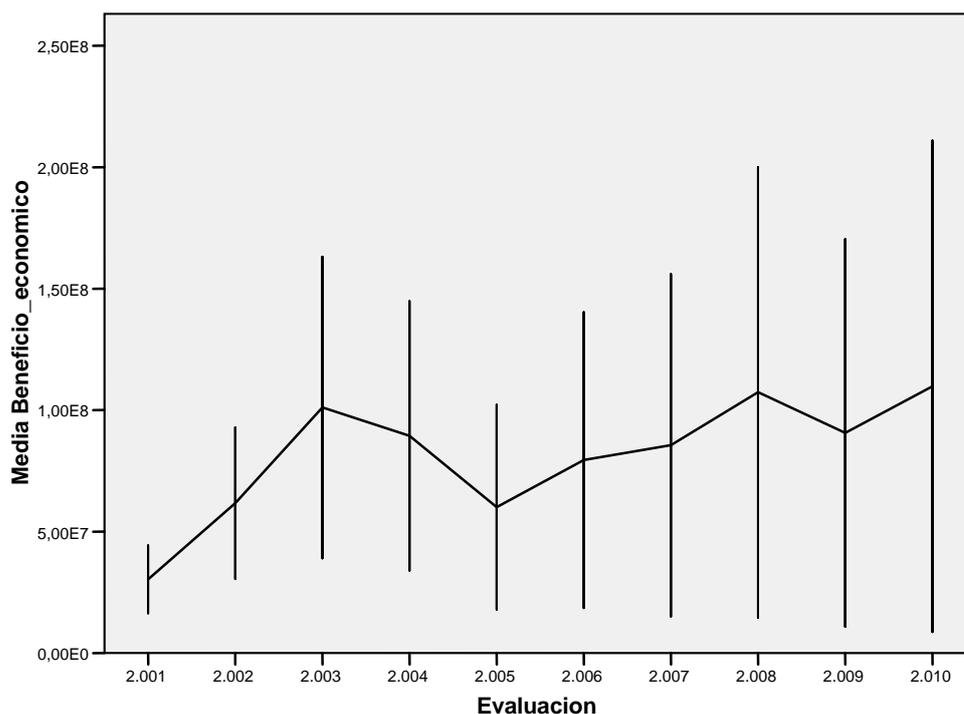


Gráfico 7 - Media por tipo de centro

El gráfico 7 presenta la media de área de las tecnologías (adopción) por tipo de centro. Se observa que los centros de producto, que generan principalmente las

*commodities* son los que, en promedio, poseen mayor área, lo que parece tener sentido ya que cultivos como la soja y el maíz, por ejemplo, son muy importantes para la agricultura de Brasil. Que los centros temáticos aparezcan en segundo lugar tampoco sorprende, ya que estos centros generan tecnologías muy generales que pueden ser adoptadas en cualquier zona de Brasil, como el *software*. Finalmente, los centros eco regionales desarrollan innovaciones específicas para regiones particulares, lo que explica su menor área en relación a los demás centros.

En la tabla 8 es posible observar el número de evaluaciones de impacto económico y social (índice y empleo). Es importante resaltar que no necesariamente una innovación es analizada sobre todas las dimensiones a la vez. Los centros temáticos normalmente generan innovaciones difíciles de ser evaluadas económicamente por medio de la metodología del excedente económico. Es el caso, por ejemplo, de algún *software* de vigilancia por satélite o la generación de un clon (desarrollo genético). Innovaciones de esta naturaleza conllevan unos impactos económicos que no están considerados en nuestra muestra. Aún así, la gran mayoría de las innovaciones (un 86,1%) contienen valores estimativos de impacto económico. El número de empleos generados seguramente es la estimación más difícil, lo que justifica que 430 (el 37,4% de las tecnologías evaluadas) logren estimar el número de empleos generados o eliminados en razón de la adopción de las innovaciones. El gráfico 8 presenta la evolución de los resultados de la evaluación de impactos económicos en el periodo estudiado.



Barras de error: 95% IC

Gráfico 8 - Evolución de los resultados de la evaluación de impactos económicos

Tabla 8 - Resumen de los casos procesados

	Incluidos		Excluidos		Total
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N
Beneficio_economico	990	86,1%	160	13,9%	1150
Indice_Social	634	55,1%	516	44,9%	1150
Empleo	430	37,4%	720	62,6%	1150

Fuente: elaboración propia

La tabla 9 empieza a mostrar la segunda parte de los resultados, obtenidos a través de análisis multivariante. Estos análisis son particularmente útiles para comprender los efectos de cada variable cuando intentamos conocer los resultados de los impactos de las tecnologías generadas por centros públicos de investigación en la sociedad. Se presentan correlaciones lineales bilaterales entre las principales variables métricas de la muestra.

Tabla 9 - Matriz de correlaciones - Correlación de Pearson

	Área	Beneficio económico	Empleo	Índice Social	Cantidad
Área	1	0,300**	-0,006	0,139**	-0,002
beneficio_económico		1	0,152**	-0,040	0,215**
Empleo			1	0,062	0,160**
índice_social				1	0,017
Cantidad					1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia

La tabla 9 permite contestar la primera pregunta de investigación: *¿Son las innovaciones que poseen una mayor tasa de adopción (área) las que generan más puestos de trabajo (empleo)?* Parece ser que las tecnologías con elevada área de adopción tienden a presentar un Índice de Impacto Social también elevado, es decir, en estos casos los indicadores utilizados en la composición del índice presentan una mejor valoración desde el punto de vista de los que utilizan la innovación tecnológica, pero no se ha encontrado correlación entre las variables adopción (*área*) y *empleo*.

En cuanto a la segunda pregunta: *¿Existe relación entre beneficios económicos y la cantidad de veces en que una tecnología ha sido evaluada?* De acuerdo con la tabla 9 se puede decir que la variable “*Cantidad*” presenta correlación positiva con las variables *beneficio económico* y *empleo*. Parece ser que tecnologías con elevado impacto económico y con una significativa generación de empleo tienden a ser evaluadas un número mayor de veces. En este caso, se puede esperar que la generación de empleos o de beneficios económicos haga con que una tecnología siga siendo adoptada y, por lo tanto, evaluada cada año. La variable *cantidad* es un indicador de la tasa de adopción de la innovación tecnológica porque solo se puede evaluar lo que se está, efectivamente, siendo utilizado por adoptantes. La hipótesis era de que solo las tecnologías que generan beneficios se mantuviesen por algún tiempo. Es decir, ha sido posible verificar una tendencia a medida que las variables se comportaron de la misma manera, lo que se observó por el signo positivo de los resultados. Pero un análisis de correlación no permite investigar más que eso, o sea, no es posible decir que por comportarse de la misma manera una variable explique la otra<sup>5</sup>.

También se ha encontrado correlación positiva entre las variables *beneficio\_económico* y *empleo*, o sea, las variables varían de forma parecida: evaluaciones que presentan elevados impactos económicos tienden a presentar también elevada generación de empleo. De hecho, la relación existente entre la generación de renta y la creación de empleos es muy estudiada y presente en la literatura económica. Como era de esperar, las tecnologías que presentan elevados beneficios económicos son también las más adoptadas, es decir, cuanto mayor el *beneficio\_económico*, mayor es el área de adopción de la tecnología. Pero no se ha encontrado relación entre beneficios económicos y mejoras en otros aspectos sociales evaluados por medio del Índice Social.

---

<sup>5</sup>Por eso profundizamos nuestro análisis por medio de regresiones. Y los resultados indicaron que, aunque las variables estén correlacionadas no hay efectos entre ellas, o sea, que la tecnología sea evaluada muchas veces no explica su rendimiento.

Estas informaciones ayudan a contestar parcialmente a la tercera pregunta de investigación: *¿Son las innovaciones que generan mayores beneficios económicos las que presentan mejores impactos sociales (empleos y índice\_social) y área, es más, ¿qué se puede decir del comportamiento de los beneficios económicos respecto a la trayectoria del área (adopción) y aspectos sociales?*

Un análisis de correlación bivariada ha sido útil para contestar a las primeras preguntas de investigación. Sin embargo, es posible, en virtud de las características de la muestra – información temporal (al largo del tiempo) e informaciones entre las tecnologías (unidades diferentes), la realización de análisis más profundos con el uso de un modelo econométrico que aumenta la eficiencia y la estabilidad de los estimadores. Así, la técnica de datos de panel ha sido utilizada para contestar a la tercera pregunta de investigación.

La regresión utilizando estimaciones de panel de datos se mostró significativa, tanto para el modelo de efectos fijos como para el de efectos aleatorios. El test de Hausman se aplicó para verificar cuál de los modelos sería el más adecuado. El estadístico de prueba ( $\text{Prob}>\chi$ ) encontrado fue 0,9788, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula indicando que los estimadores del modelo de efectos aleatorios son consistentes y eficientes. El test de Hausman, por lo tanto, permitió descartar el modelo de efectos fijos. Luego, aplicamos el test LM de Breush-Pagan y el estadístico prueba ( $\text{Prob}>\chi$ ) encontrado fue 0,000 así que ha sido posible rechazar la hipótesis nula demostrando una vez más que el modelo de efectos aleatorios es el adecuado, ahora en comparación con el modelo *pooled* para contestar nuestra pregunta de investigación.

También fueron realizados el test de Wooldridge, para verificar si existía autocorrelación y heterocedasticidad. El estadístico prueba ( $\text{Prob}>F$ ) relevó el valor de 0,0001 y por lo tanto se rechazó la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación. El *FIV* ha sido investigado y los resultados indicaron que no hay problemas de multicolinealidad.

Como la muestra está formada por tecnologías muy diferentes, los datos de la regresión demuestran que hay heterocedasticidad de residuos y autocorrelación serial. Una forma de arreglar estos problemas fue utilizar la corrección de White (para la heterocedasticidad) y usando la regresión obtenida por Mínimos Cuadrados Generalizados (del inglés, *Generalized Last Squares* – GLS) (Wooldridge, 2006). Los resultados están disponibles en la tabla 10.

Tabla 10 - Resultados del panel estático - modelo de efectos aleatorios

Variable	Coefficiente	Error estandar	Estadístico z	Probabilidad P> z
<b>β0 (intercepto)</b>	2.87e+07	7219041	3.98	0.000
<b>Área</b>	8.769.443	533.165	1.64	0.100
<b>Empleo</b>	3.933.724	4.007.027	0.98	0.326
<b>Social</b>	-4247132	1455572	-2.92	0.004
<b>sigma_u</b>	47618715			
<b>sigma_e</b>	24444409			
<b>Rho</b>	.79144353			
<b>R<sup>2</sup> within</b>	0.0727		<b>Numero de observaciones</b>	289
<b>R<sup>2</sup> between</b>	0.2028		<b>Numero de grupos</b>	102
<b>R<sup>2</sup> overall</b>	0.2272		<b>Min</b>	1
<b>Teste Wald</b>	12,89	<b>Observaciones por grupo</b>	<b>Media</b>	2.8
<b>Prob &gt; chi</b>	0,004		<b>Max</b>	7

Fuente: elaboración propia

El estadístico de la regresión se ha mostrado significativo, ya que el nivel de significación (Prob>chi) es igual a 0,004. El grado de explicación de la regresión es de 22,72%, considerando todo el conjunto de datos, 20,28% entre las variables y 7,27% si observamos la variación considerando la dimensión temporal (en el interior de cada panel de individuos), o sea estos son los porcentuales de variación de beneficios económicos explicado por las variables independientes. En este caso, únicamente la variable *índice\_social* presentó valores significativos, con signo negativo, con *beneficio\_económico*.

El modelo de panel dinámico presentado a continuación fue estimado utilizando la técnica propuesta por Arellano-Bover (1995) / Blundell-Bond (1998), con la opción de tratamiento de errores estándar del tipo robusto sugerido por Windmeijer (2005).

Los resultados presentados en la tabla 11, para un desfase de la variable *beneficio\_económico*, indican que los beneficios económicos pasados considerando el primera desfase ya son capaces de explicar el beneficio económico actual. El impacto económico anterior (primer desfase) afecta el actual con señal positiva. Todas las variables son consideradas significativas en el modelo, o sea, contribuyen a explicar el nivel actual de beneficio económico de las tecnologías. Las variables *empleo* y el *índice\_social* demuestran un comportamiento coherente en términos de señal con lo previsto por la teoría.

Tabla 11 - Resultado del panel dinámico

Variable	Coficiente	Error estandar	Estadístico z	Probabilidad P> z
L1.	0,53	0,007	75,23	0
Empleo	660,15	1.125.047	58,68	0
Social	286288	132163	2,17	0,03
Area	6139698	0,356083	17,24	0
dummy_eco	5,92	8802124	6,73	0
dummy_tem	-3,85	1,36E+08	-2,82	0,005
_cons	1, 10	4197323	3,83	0
Observaciones por grupo	Min	1	Numero de observaciones	246
	Media	3	Numero de grupos	82
	Max	7		
Teste Wald	11388	Arellano-Bond test		Probabilidad P> z
Prob > chi	0	1	-18.847	0,06
		2	-1.522	0,13

Fuente: elaboración propia

La última pregunta de investigación se refiere a la especialidad de cada tipo de centro *¿Existe diferencia entre las medias de generación de beneficio- económico de estos tipos de centros?* Es importante razonar que esta no es una pregunta simple, dado que existen muchos factores que tendrían que ser considerados para contestarla. Obviamente, no es posible incluir todos los factores relacionados con el desempeño de una innovación en un análisis estadístico. Por otro lado, es innegable que los resultados generados por el tratamiento de una muestra representativa, que considera información de 10 años, pueden ayudar al conocimiento de la magnitud de impactos generados por cada tipo de centro. Las diferencias, en este caso, son muy útiles para mejorar la gestión de estos centros en lo que se refiere, por ejemplo, a la elaboración de políticas específicas para su mejor desarrollo, además ayudar en el sentido de perfeccionar las metodologías de evaluación de impacto.

La tabla 12 presenta los estadísticos descriptivos y la tabla 13 los resultados de un análisis de correlación que permitió verificar la existencia de relación entre las variables.

Tabla 12 - Estadísticas descriptivas

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Mínimo	Máximo
Beneficio económico	Temático	115	19.738.403	102.313.082	9.540.744	413	835.906.884
	Eco regional	363	38.011.600	120.020.279	6.299.431	-32.676.323	916.455.805
	Producto	512	128.270.904	451.826.797	19.968.112	1.670	3.360.314.090
Empleo	Temático	64	998,84	4373,8	546,7	0	25811
	Eco regional	121	7393,02	15407,6	1400,6	-749	92326
	Producto	245	3558	8046,1	514	-1490	89200
Índice Social	Temático	132	3,28	2,97	0,25	-2,55	14,5
	Eco regional	187	2,32	2	0,15	-1,71	9,17
	Producto	315	1,86	1,3	0,077	-0,77	8,34

Fuente: elaboración propia

Investigamos si existe relación entre el beneficio económico y los tipos de centro. En este sentido, convertimos la variable *Tipo* (cualitativa) en variables binarias, y por lo tanto, cuantitativas. Fueron generadas las variables: *tema* (para centros temáticos), *ecorre* (para centros eco regionales) y *product* (para centros de producto). Los resultados de la correlación bilateral son presentados en la tabla 13. Se puede observar que existe relación entre *beneficio\_económico* y los diferentes *tipos de centro*. El *Índice\_Social* se relaciona con centros temáticos (*tema*) y de productos (*product*) mientras que la generación de *empleo* presenta relación con las tecnologías generadas por centros temáticos y eco regionales.

Tabla 13 - Coeficientes de correlación de Pearson

	Beneficio económico	Índice Social	Empleo	tema	Ecorre	product
Beneficio económico	1	-0,04	,152(**)	-,067(*)	-,100(**)	,140(**)
Índice Social		1	0,062	,246(**)	0,009	-,208(**)
Empleo			1	-,130(**)	,187(**)	-0,076
Tema				1	-,361(**)	-,477(**)
Ecorre					1	-,647(**)
Product						1

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: elaboración propia

Las regresiones proporcionan información más robusta y precisa y, sobre todo, explican cómo influye una variable sobre otra. Sin embargo, aunque las variables estén correlacionadas, no siempre encontramos estos efectos. El procedimiento metodológico para verificar si es posible una explicación acerca de la relación entre las variables consistió en una regresión realizada a partir de la técnica de datos en panel. La tabla 14 incluye los resultados de las estimaciones. Es importante destacar que fueron realizadas todas las pruebas y los procedimientos necesarios para la utilización de la técnica. El test de Hausman (0,01 con el estadístico de prueba  $\text{Prob} > \chi^2 = 0,9330$ ) y el test de LM

Breush-Pagan (343,7 y Prob >chi = 0,0000) indicaron que el modelo de efectos aleatorios es el más adecuado, para los problemas de auto-correlación y heterocedasticidad fue aplicada la corrección de White y el panel ha sido equilibrado.

Tabla 14 - Resultado con panel estático – efectos aleatorios

Variavel	Coefficiente	Error estándar	Estadístico z	Probabilidad P> z
<b>B0 (intercepto)</b>	2.46e+07	9576521	2.57	0.010
<b>Área</b>	8.772.979	5.235.477	1.68	0.094
<b>Empleo</b>	381.188	4.028.625	0.95	0.344
<b>Social</b>	-4319882	1543616	-2.80	0.005
<b>dummy_prod</b>	1287955	9106853	0.14	0.888
<b>dummy_eco</b>	1.04e+07	1.05e+07	0.99	0.320
<b>sigma_u</b>	48062952			
<b>sigma_e</b>	24444409			
<b>Rho</b>	.79449238			
<b>R<sup>2</sup> within</b>	0.0732		<b>Número de observaciones</b>	289
<b>R<sup>2</sup> between</b>	0.2076		<b>Número de grupos</b>	102
<b>R<sup>2</sup> overall</b>	0.2233		<b>mín</b>	1
<b>Teste Wald</b>	14,21	Observaciones por grupo	<b>media</b>	2.8
<b>Prob &gt; chi</b>	0,0143		<b>máx</b>	7

Fuente: elaboración propia

El estadístico de la regresión se muestra significativo, ya que el nivel de significación (Prob>chi) es igual a 0,0143. El grado de explicación de la regresión es de 22,33%, considerando todo el conjunto de datos (*overall*), 20,76% entre las variables (*between*) y prácticamente inexistente (7,3%) si observamos la variación considerando la dimensión temporal (*within*, o sea, en el interior de cada panel de individuos). Por lo tanto, de acuerdo con los resultados, el modelo explica muy poco de las variaciones en el beneficio económico aunque éste sea estadísticamente significativo. Los resultados del modelo han sido muy semejantes a los de la pregunta anterior, ya que las variables introducidas en el modelo (*dummies* relativas al tipo de centro) no aportaron información significativa. Es más, por los resultados es posible decir que no existe relación entre los beneficios económicos y sociales y los tipos de centros. O sea, de acuerdo con ese modelo (panel estático), no es posible atribuir ningún tipo de efecto específico, respecto a los impactos económicos, a los diferentes tipos de centro.

Es posible observar, de acuerdo con la tabla 11, que el modelo con panel dinámico es el más adecuado para contestar a esta pregunta de investigación porque el desfase aporta información al modelo para diferenciar los impactos económicos de acuerdo con el tipo de centro. Es más, en este modelo, en que usamos el estimador

*System* - GMM, todas las variables independientes aparecen significativas, o sea, explican los impactos económicos para el grupo de las tecnologías estudiadas. Debe indicarse que el rango utilizado en el cálculo de los paneles ha sido de 1150 tecnologías.

La tabla 13 ya demostraba que había correlación bivariada entre tipo de centros y beneficios económicos. Esta información es relevante a la hora de establecer políticas de desarrollo para los diferentes centros, aunque sea necesario cuidado al usar los resultados de los análisis para esa finalidad, ya que están restringidos al rango de tecnologías estudiadas. De todas maneras es posible considerar que si el objetivo del gobierno es aumentar los beneficios económicos de una determinada población sería interesante invertir o trabajar en conjunto con centros de producto para sean desarrolladas tecnologías orientadas hacia este segmento de personas. Los resultados sirven aun como alerta para los centros de producto en razón del signo negativo para los impactos sociales.

Las políticas en ese caso podrían establecerse en el sentido de verificar y perfeccionar las tecnologías para mejorar este indicador. La misma analogía de alerta podría ser usada para los centros temáticos y ecoregionales en relación a los beneficios económicos. Para estos dos tipos de centros, los resultados de esta tesis doctoral pueden ser útiles para el trabajo de una equipo multidisciplinar de investigadores, en el sentido de que les sea posible sugerir los cambios en la I+D de estos centros para obtener resultados positivos.

## **2.5. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

Conviene destacar que los análisis realizados en este capítulo poseen un carácter complementario a los estudios de evaluación de impactos llevados a cabo en la mayoría de las organizaciones que son detallados en la literatura existente. Estos últimos consideran las dimensiones de evaluación de impactos económicos, sociales y ambientales de forma desagregada, lo que ofrece muchas ventajas, como, por ejemplo, el hecho de poder comparar los resultados.

Cuando se trabaja aisladamente la dimensión económica, y el *output* es la renta generada para los productores, es posible verificar qué centro de investigación posee las

innovaciones más eficientes o cuáles de los tres tipos de centros tiene la vocación para trabajar tecnologías más rentables.

De hecho, la organización analizada en esa tesis doctoral utiliza datos desagregados de impactos económicos, sociales, ambientales y desde hace ya muchos años y los resultados se utilizan para direccionar la *I+D* en la institución y para la rendición de cuentas.

Lo que propone nuestro estudio empírico, no obstante, no va en contra los estudios desagregados, que poseen una utilidad incuestionable. Para contestar a las preguntas de investigación planteadas en el proyecto de esa tesis, ha sido necesario buscar otros métodos y técnicas de investigación, que fueran capaces de explicarnos qué pasa cuando consideramos más de una dimensión a la vez.

No era un objetivo de este capítulo la proposición de un nuevo método de evaluación de impactos de tecnologías, lo que se planteó en esta parte de la investigación ha sido ampliar los conocimientos sobre los resultados de las evaluaciones de impactos, de manera que resultasen útiles desde el punto de vista de la gestión de la *I+D* en centros públicos de investigación.

Analizar de forma conjunta las relaciones entre tasas de adopción, generación de empleos, aspectos sociales y beneficios económicos nos permite ir más allá en lo que se refiere al conocimiento del alcance de las innovaciones tecnológicas. Hay que considerar también que trabajar con una base de datos de 10 años de resultados de evaluaciones de impactos permitió el uso de la técnica de datos tipo panel, lo que resultó muy útil para incorporar la dimensión temporal en el análisis.

Hasta donde llega nuestro conocimiento, no se encuentra en la literatura un estudio como éste en lo que se refiere a la evaluación de impactos de innovaciones. Sin embargo, lo que hace de este trabajo algo original tiene también un aspecto negativo, en la medida que resulta complicado comparar los resultados de esta investigación. Y, sin parámetros de comparación, no hay forma de evaluar o concluir algo más concreto.

De todas formas, los resultados apuntan cuestiones importantes y frecuentemente encontradas en la literatura. Un ejemplo de ello es la correlación positiva entre impactos económicos y sociales. Hay un debate interesante acerca del tema. Así, es común encontrar que la introducción de las innovaciones tecnológicas en la agricultura elimina puestos de trabajo. Nuestro trabajo no nos permite decir que esto no ocurra dentro de la propiedad rural, pero se puede afirmar que, de una manera general, las tecnologías con elevados impactos económicos tienen mayores números de

empleos, por lo que los demás eslabones de la cadena productiva estarán de alguna manera afectados positivamente.

En lo que se refiere a los tipos de centro, se puede decir que las diferencias de impactos económicos encontrados indican que quizá esta sea una interesante línea de investigación. A lo mejor, los centros temáticos necesitan una mejor evaluación de sus impactos desde el punto de vista de la generación de activos intangibles, cuestión que será abordada en el próximo capítulo.

## **CAPÍTULO 3 - EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE LOS INTANGIBLES GENERADOS EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLAS BRASILEÑOS: UN ESTUDIO EXPLORATORIO**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con un estudio hecho por el Banco Mundial, los 29 países que concentran el 80% de la riqueza total del planeta deben su bienestar, en un 67%, al capital intelectual, en un 17% a su capital natural y en un 16% a su capital productivo (Avalos, 1998). Así, existen muchas cifras y evidencias indicando la desmaterialización del proceso productivo y comprobando que el desempeño de las sociedades actuales depende cada vez más de aspectos intangibles, como el desarrollo de la capacidad de investigación e innovación<sup>6</sup> y la formación de su capital intelectual (Nevado Peña y López Ruiz, 2004).

Según Peter Drucker, “nos estamos adentrando en la sociedad del conocimiento donde el recurso económico básico ya no es el capital, ni los recursos materiales, ni la mano de obra, sino que es y será el saber, y donde el e-conocimiento desempeñará un papel central” (Oliver, 1998 en Nevado Peña y López Ruiz, 2004).

Los países de la *OCDE* destacan este cambio hacia la economía basada en el conocimiento. En ésta, la productividad y el crecimiento son en gran parte determinados por las tasas de progreso técnico y de acumulación de conocimiento. Los sectores de alta tecnología, o conocimiento-intensivos, tienden a ser los más dinámicos en términos de crecimiento de producto y empleo, lo que intensifica la demanda de trabajadores relativamente más cualificados. (*OCDE*, 1996).

Según Veciana-Verges (2007) la generación de conocimiento, la innovación y la creación de empresas se han vuelto objetivos en todos los países. Por esta razón, las administraciones públicas están muy interesadas en descubrir qué pueden hacer para contribuir a la obtención de esos elementos. Esto puede ser observado en los diversos

---

<sup>6</sup> Se considera, en este trabajo, el concepto más aceptado de innovación – el del Manual de Oslo (*OCDE*, 2005). Así, una innovación es la aplicación de nuevas ideas, conceptos, productos, servicios y prácticas, con la intención de ser útiles para el incremento de la productividad.

estudios y proyectos promovidos por la *UE* y la *OCDE* para incentivar políticas y directrices adecuadas en ese sentido.

Relacionado con los impactos sobre el conocimiento, Furtado y Salles-Filho (2003), resalta que un proyecto o programa de *I+D* puede generar, en primer lugar, activos intangibles como resultados científicos y tecnológicos, los cuales son productos intermedios del proceso de innovación, antes de que esos conocimientos sean aplicados en actividades socio-productivas.

El hecho es que instituciones de investigación producen conocimiento; sus fondos se invierten principalmente en investigación, innovación y recursos humanos, por lo que sus activos más valiosos frecuentemente son intangibles por naturaleza, como lo son sus *outputs* (Cañibano y Sánchez, 1992).

Si antiguamente a las organizaciones públicas no se les pedía preparar estados financieros anuales o documentos parecidos, y, además, en la cultura organizativa poco énfasis se ponía en desarrollar sistemas de gestión y orientaciones estratégicas, ahora este escenario se ha cambiado debido a la creciente importancia del papel que juegan las entidades de investigación sin ánimo de lucro, así como a la visión de líderes que reconocen el valor añadido de incluir dichas actividades en sus sistemas.

Las diversas partes interesadas de estas organizaciones, no sólo agencias financiadoras sino también la industria y la sociedad, exigen mayor transparencia en el uso eficaz de los fondos y los *outputs* generados (o sea, propiedad intelectual y derivados). Así, aquellas entidades que logren la ventaja del que se anticipa, desarrollando e incluyendo procedimientos, tendrán una clara ventaja estratégica con respecto a sus pares (Leitner, 2002).

Por lo tanto, con el fin de desarrollar políticas apropiadas en apoyo de la innovación, es necesario entender mejor diferentes aspectos críticos del proceso de generación de conocimiento.

De ese modo, es natural que organizaciones públicas y privadas se encuentren interesadas en definir, medir, valorar, controlar y gestionar el factor intangible, ya que, dentro del actual contexto socioeconómico, éste se está convirtiendo en el aspecto fundamental para la supervivencia de las mismas. En el caso de las instituciones públicas de investigación, es cada vez más relevante verificar si estas organizaciones están haciendo lo suficiente para desarrollar su capacidad de valorar, gestionar y dar a conocer su capital intelectual.

El perfeccionamiento de las formas de medir y mejorar la eficacia de la investigación agrícola es, por tanto, de considerable importancia.

En ese sentido, Embrapa desempeña un papel fundamental para el desarrollo agrícola, al generar conocimiento que se transforma en innumerables beneficios para la sociedad. En los últimos años, la institución ha orientado sus esfuerzos hacia la evaluación de los impactos de una parte de los intangibles que genera, más precisamente los efectos de la adopción de sus tecnologías sobre aspectos relacionados con el conocimiento, la capacitación y otros impactos político-institucionales. Esto es así porque una parte de lo que desarrollan los investigadores de Embrapa puede ser considerado el principal *input* para nuevas investigaciones: el conocimiento.

En esta investigación se estudian los resultados de las evaluaciones de los impactos intangibles de innovaciones tecnológicas, generadas por los centros públicos de investigación que componen Embrapa. El objetivo es identificar qué componentes de la evaluación de los impactos sobre el conocimiento, la capacitación y político institucionales son más representativos en dichos centros de investigación. Y también, si influyen estos componentes en los resultados de impactos económicos de las tecnologías generadas. Para esto, se analizan 1200 informes de resultados de evaluación de impactos de tecnologías elaborados por 37 centros públicos brasileños de investigación en el periodo de 2001-2010. En este estudio las preguntas de investigación que se pretende contestar son:

1. *¿Hay relación entre los tipos de centros y los activos intangibles?*
2. *¿Hay relación entre el tipo de centro, los beneficios económicos y los resultados de los intangibles? - En este caso ¿Cuáles serían las variables clave responsables de los factores de éxito de los beneficios económicos?*
3. *¿Existe relación entre intangibles y años en que una tecnología es evaluada? Es decir, ¿Los intangibles afectan en ciclo de vida de las tecnologías?*

Es importante resaltar que éste es un estudio exploratorio. Así pues, a pesar de existir una vasta literatura sobre activos intangibles, no se han encontrado estudios empíricos dedicados a estudiar el impacto sobre el conocimiento, capacitación y políticas institucionales en centros públicos de investigación agrícola, considerando una serie temporal de una década y en muchos centros de investigación a la vez. Lo que pretende este trabajo no es profundizar en cuestiones puntuales, sino llegar a los

primeros resultados de un área de investigación incipiente en instituciones públicas de investigación agrícola en América Latina.

## **3.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **3.2.1. CONSIDERACIONES SOBRE INTANGIBLES EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con Calero (1999), existen muchos activos intangibles generados por las organizaciones, siendo el conocimiento uno de ellos. Otros ejemplos son la cultura de la organización, la visión, los conocimientos tácitos, la imagen corporativa, los derechos de propiedad intelectual, las relaciones de influencia en el entorno, las bases de datos sobre clientes y proveedores, la normativa interna y los procedimientos, las formas de organización y los sistemas de interconexión en red, la capacidad de adaptación al medio empresarial, las actitudes, la motivación, los estilos de liderazgo, la capacidad de negociación, la defensa legal y las habilidades directivas en general.

El conocimiento, en consonancia con Arimoto (2005), consiste en comprensión, descubrimiento, aplicación y control de un intangible. En otras palabras, se habla de aprendizaje, investigación, enseñanza, servicios, administración y gestión. De esas etapas, la investigación tiene relación con la especialización y la diferenciación sofisticada del conocimiento. De las diversas fases del conocimiento en cuanto un activo intangible, su descubrimiento es importante, porque genera progreso social por medio de la creatividad y originalidad. Las etapas del conocimiento también parecen estar relacionadas con una tipología de algunos aspectos ligados a la productividad: el descubrimiento del conocimiento está vinculado a la investigación; la diseminación de ello, a la enseñanza; y la aplicación del conocimiento está conectada al servicio. Además de eso, el control del conocimiento puede ser relacionado con la gobernanza, inclusive con la administración y la gestión.

Para Nuchera y Serrano (2006), el conocimiento sería el conjunto de habilidades y experiencias que una persona o un grupo poseen en relación a un determinado tema. Según los autores, el conocimiento es un recurso que todas las organizaciones poseen y que reúne un conjunto de características interesantes: puede ser generado, almacenado,

utilizado, movido y desarrollado. Finalmente, puede ser administrado de diferentes formas. Así, se constituye en un activo estratégico para todas las instituciones públicas y privadas. La gestión eficiente del conocimiento, sin embargo, es necesaria para que se pueda incorporarlo a los procesos de innovación tecnológica.

Los intangibles han sido muy estudiados en la literatura económica dentro de la economía de la innovación (Cañibano, y Sánchez, 1992). Se trata de una área de investigación que está produciendo una creciente cantidad de publicaciones, aunque ni los antecedentes teóricos ni la evidencia empírica bastan para ayudar a las empresas, partes interesadas en general y a los creadores de políticas en particular, en la toma de decisiones (Cañibano y Sánchez, 2004).

En este sentido, según Lönnqvist (2004), se destacan dos campos de investigación principales en las que la medición de los activos intangibles ha sido estudiada. Un de ellas es la medición del desempeño en el campo de investigación en la gestión de la contabilidad de las empresas. El otro se refiere al campo de investigación sobre el capital intelectual e intangible que están relacionados con la gestión del conocimiento y la gestión del capital intelectual. La investigación sobre la medición de activos intangibles se ha llevada a cabo por separado en estas dos áreas de investigación. Por lo tanto, las soluciones desarrolladas y los conceptos utilizados son algo diferentes.

Ducharme (1998) sintetiza la contribución de algunas teorías utilizadas para analizar el proceso de crecimiento económico y desarrollo del conocimiento (tabla 15).

Tabla 15 - Teorías del crecimiento económico y desarrollo del conocimiento.

Teoría	En qué consiste	Autores
Teoría del capital humano	Sugiere que, entre los factores de producción, es el capital humano el principal determinante de los incrementos de la productividad. Afirma que el factor principal para entender el desarrollo de una empresa es la naturaleza complementaria de los recursos humanos.	Schultz, 1971, y Becker, 1975
Teoría de la innovación	Considera las inversiones en innovación como el principal motor del crecimiento, ya que la competitividad se alcanza por medio de la inversión en <i>I+D</i> y otros intangibles.	Freeman, 1982
Teoría de la inversión en capital intelectual	Está basada en la premisa de que la eficiencia se alcanza a través de la movilización de recursos humanos con el fin de adecuarlos a las oportunidades tecnológicas y de <i>marketing</i>	Romer, 1986 ; Lucas, 1988 ; Barro y Sala i Martin, 1995
Teorías evolutivas	Entienden la empresa como una jerarquía de actividades dirigidas por “rutinas” y consideran el progreso del aprendizaje y de los descubrimientos como esenciales	Nelson y Winter, 1982

Fuente: elaboración propia (adaptado de Ducharme, 1998)

En estudios en el área de estrategia, por ejemplo, los intangibles también son conocidos como recursos. Esos estudios, en el contexto de la teoría basada en los recursos (*Resource-Based View, RBV*), incluyen todos los activos, cualificaciones, procesos organizativos, atributos, información, conocimiento y otros factores controlados por la empresa (Barney, 1991).

En consonancia con Barney (1991), para sostener la ventaja competitiva por un largo periodo de tiempo, esos recursos necesitan ser valiosos, raros, inimitables e insustituibles. Esas características descritas por el autor pueden ser atribuidas a los activos intangibles. De acuerdo con la *RBV*, la posesión de esos recursos puede llevar una empresa a obtener logros anormales (es decir, por encima de la media de su mercado) y a sostener su ventaja competitiva (Kayo, 2006).

Desde el punto de vista financiero, el Activo Intangible, de acuerdo con Lev (2001), es un derecho a beneficios futuros, que no posee cuerpo físico o financiero. Esa definición engloba aspectos económicos importantes en la evaluación del activo intangible. En primer lugar, el activo intangible se refiere a beneficios futuros, o sea, de la suma de logros económicos proyectados y descontados a una tasa de riesgo apropiada. En segundo lugar, el intangible no posee cuerpo físico o financiero, es decir, del valor total del negocio son excluidos los activos tangibles.

De acuerdo con Lev y Zarowin (1999) las inversiones en activos intangibles, como *I+D*, tecnología de la información, marcas y recursos humanos, alteran los productos, operaciones, condiciones económicas y valores de mercado de las empresas. El proceso de innovación proporcionado por las actividades de *I+D* es importante para la supervivencia de una empresa, y también para su valoración. No por casualidad, el valor de las acciones de empresas tradicionalmente orientadas hacia las actividades de *I+D* son bastante valoradas por el mercado.

Para comprender mejor los activos intangibles, puede ser útil la presentación de una taxonomía. La tabla 16 presenta la clasificación propuesta por algunos autores.

Tabla 16 - Clasificación de los intangibles

Autor	Clasificación	Referencia
Sveiby	<b>Atributos de empleados:</b> capacidad de actuar y generar activos tangibles e intangibles; <b>estructura interna:</b> patentes conceptos, modelos, sistemas de computación, espíritu y cultura organizacional y <b>estructura externa:</b> relación con clientes y suministradores, marca y reputación, imagen de la organización.	Sveiby (1997)
Stewart, Saint-Onge y Edvinsson	El capital intelectual es la suma de tres componentes: <b>capital humano</b> , compuesto por el talento, habilidad y conocimiento de las personas; <b>capital estructural</b> , formado por patentes, procesos, banco de datos, redes, etc y <b>capital cliente</b> , que comprende el relacionamiento con clientes y suministradores.	Stewart (1997), Lev (2001)
Lev	Clasificación según sus factores generadores: <b>innovación (I+D)</b> , desarrollo de productos y procesos); <b>diagramas organizativos singulares</b> (estructuras y sistemas exclusivos, <i>software</i> exclusivo, marca, banco de datos) y <b>recursos humanos</b> (conocimiento, talento y habilidad de los empleados de la institución).	Lev (2001)
Triplett	<b>Innovación; estructuras o diagramas organizativos singulares; recursos humanos y marca</b> (Triplett destaca la importancia de este activo intangible)	In (Lev, 2001)
Barbosa y Gomes	Conocimiento académico y tácito de los empleados; procesos facilitadores de transferencia y adquisición de conocimiento; relación con clientes, proveedores y mercado de trabajo; y capacitación en investigación y desarrollo.	Barbosa y Gomes (2002)
Kayo	<b>Activos humanos</b> (conocimiento, talento, capacidad, habilidad y experiencia de los empleados); <b>activos de innovación (I+D)</b> , patentes, formulas secretas); <b>activos estructurales</b> (procesos, <i>software</i> , banco de datos, sistemas de información); <b>activos relacionales</b> ( marcas, derechos de autor, contratos con clientes, etc).	Kayo (2002)

Fuente: elaboración propia

En la investigación llevada a cabo en esta tesis doctoral, los intangibles considerados en los análisis pueden ser vistos en la Figura 6 y son una adaptación de la experiencia del Geopi/Unicamp con el desarrollo de la metodología *ESAC*. El método *ESAC* de Evaluación de Impactos de la Investigación consiste en la medición *ex post* de la intensidad de las transformaciones que un determinado programa de investigación, y las innovaciones, desencadenan en ciertos actores sociales. El método integra la evaluación de las dimensiones económica, social, ambiental y de capacitación *ESAC*. Para evaluar los impactos sobre el conocimiento, capacitación y político-institucionales, se utiliza una variación de la dimensión “capacitación” del *ESAC*. Según sus creadores, la concepción del método de evaluación de impactos va más allá de las medidas convencionales – la relación *input/output*, el análisis de citas bibliográficas y la evaluación de retornos económicos (véase, por ejemplo, Furtado y Salles-Filho, 2003).

Figura 6 - Intangibles utilizados para evaluación en Embrapa



Fuente: Vedovoto *et al.*(2008)

### 3.2.2. INTANGIBLES Y CICLO DE VIDA DE LAS INNOVACIONES

Según Kayo *et al.* (2006), desde el punto de vista agregado, el valor de las actividades de *I+D* puede perdurar, siempre que la empresa invierta continuamente en el desarrollo de nuevos productos y/o procesos. La inversión en *I+D* es una importante fuente de obtención y mantenimiento de la ventaja competitiva. Esas inversiones no necesitan necesariamente ser orientadas a la investigación pura, pero también pueden incluir el desarrollo de productos, procesos y hasta de marcas.

Otro punto importante, que debe ser tenido en consideración, es que las actividades de *I+D* se encuentran en el inicio del ciclo de vida de los productos y son importantes componentes de la cadena de valor de una empresa. Según Hendriksen (1965), algunos intangibles, como patentes y derechos de autor, están relacionados con el desarrollo y fabricación de un producto. Otros, como la marca, están relacionados con la creación y el mantenimiento de la demanda del producto. Los intangibles, por lo tanto, están presentes en toda la cadena de valor de los productos.

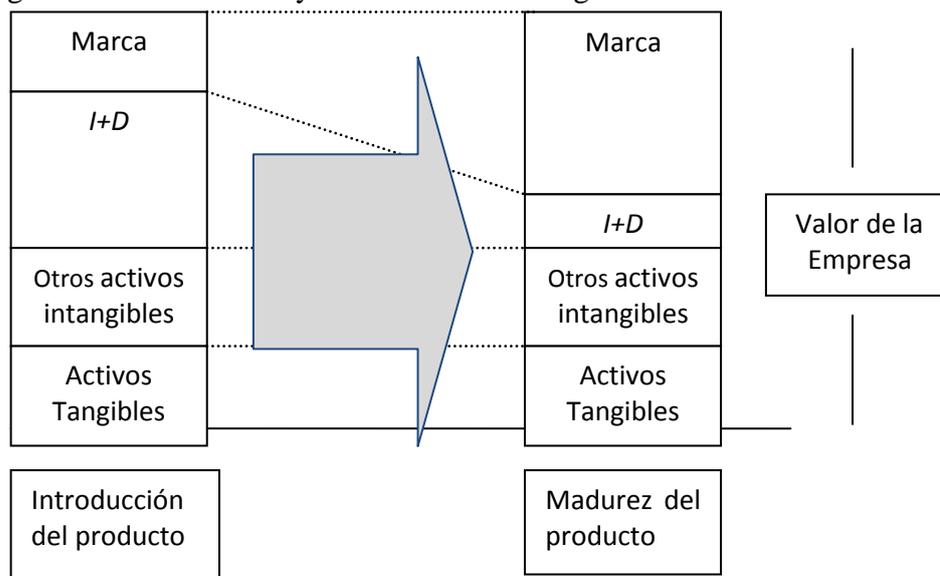
El ciclo de vida de los productos posee gran influencia sobre la valoración de los activos intangibles. El concepto del ciclo de vida presupone que todos los productos presentan un comportamiento previsible en relación con sus ventas (Kayo *et al.* 2006). En general, el ciclo de vida comprende cuatro fases: introducción, crecimiento, madurez

y declive. Tal vez sea posible incluir una fase pre-introductoria, en la cual los productos aún no pasaron por la fase de comercialización. En esta fase, los productos aún están en la fase de desarrollo y, por lo tanto, las actividades de *I+D* mantienen un peso elevado.

Al largo del ciclo de vida, el valor económico de los activos intangibles, así como el valor de la empresa, pueden presentar distintas formaciones. Es decir, dependiendo de la fase del ciclo de vida del producto, el valor económico puede estar, en gran medida, sobre la *I+D*. En otras fases, el valor de la marca tal vez sea más relevante. Cuando un determinado producto pasa del desarrollo de la idea inicial hacia la comercialización, el valor económico de la *I+D* que dio origen a este producto es anulado, o casi anulado. Sin embargo, al término del desarrollo de un producto, puede surgir otro importante activo intangible: la patente. No obstante, así como la *I+D*, el valor económico de la patente puede ser anulado en el momento en que expira su plazo.

La Figura 7 ilustra la transformación que puede ocurrir entre una fase y otra. Partiendo del hecho de que el valor económico es dado sólo por un producto, en la fase de introducción, el valor económico de la empresa está, en gran medida, compuesto por la *I+D*. De forma simplista, en esta fase introductoria el producto no posee un buen reconocimiento del público consumidor; por eso el valor de la marca puede ser pequeño. En la medida en que las ventas del producto crecen y alcanzan una madurez en su ciclo de vida, el valor de la marca puede pasar a ser más relevante que el de la *I+D* (Kayo *et al.* 2006).

Figura 7 - Ciclo de vida y el valor de los intangibles



Fuente: Kayo *et al.* (2006)

Se puede suponer que la transición ilustrada por la Figura 7 sea un proceso inevitable con cualquier tipo de producto o negocio. El desarrollo de una innovación puede requerir un montante bastante significativo de recursos financieros. Eso puede llevar al descubrimiento de alguna tecnología susceptible de ser patentada. Durante la fase en que la empresa detiene la singularidad en la fabricación de la innovación, el valor económico está ligado a la patente.

En la medida en que la patente expire y otras empresas puedan iniciar la fabricación de algo similar, el valor económico de la patente puede reducirse drásticamente. A partir de entonces, la empresa debe intentar mantener su valor económico con la utilización de otro tipo de activo intangible. Una buena estrategia de fijación de la marca de la innovación puede desarrollar la fidelidad del cliente. De esa forma, el valor de la marca podría pasar a ser más relevante que los otros tipos de intangible.

En lo que se refiere a los trabajos empíricos dedicados a estudiar los activos intangibles, Deng, Lev y Narin (1999) examinan los documentos de registro de patentes (en Estados Unidos) entre los años 1985 y 1995 y extraen cuatro variables relacionadas con ese intangible: (1) la cantidad de patentes, (2) el impacto de las citas, (3) la conexión con la ciencia y (4) la duración del ciclo tecnológico. Los resultados muestran una relación positiva y estadísticamente significativa entre la medida del valor de mercado y las tres primeras variables y una relación negativa entre la medida de valor de mercado y el ciclo, indicando que, cuánto menor sea el ciclo, mejor será el desempeño del valor de la empresa.

Son muchas las investigaciones que buscan estudiar la relación entre las actividades de *I+D* y el valor de las empresas (en el caso de instituciones públicas de investigación estudios de esta naturaleza no son frecuentes y, muchas veces, tampoco posibles). En general, los investigadores utilizan los valores gastos en *I+D* y los relacionan con el valor de mercado de las acciones de la empresa. La realización de investigaciones semejantes en Brasil encuentra un gran obstáculo: la contabilidad de los gastos en *I+D*. Al contrario de Estados Unidos, en Brasil es muy difícil la obtención de datos para la realización de ese tipo de investigación (Kayo *et al.* 2006).

Una de las investigaciones que estudia la relación entre las actividades de *I+D* y el valor de las empresas es de Chauvin y Hirschey (1993). Ellos encuentran influencias positivas y significativas de la *I+D* sobre el valor de mercado de las empresas.

Blanco *et al.* (2002) descubren que, para un pequeño grupo de empresas de alta tecnología del País Vasco (España), hay una relación positiva entre los empleados de *I+D* y lo que se llama “experiencia organizativa” (medida por la edad de la empresa y su crecimiento).

García-Meca (2004), estudia el empleo de la información sobre capital intelectual/intangibles por parte de los analistas financieros en el mercado de capitales, analizando el grado de importancia que tiene esta información en el proceso de valoración de empresas. El estudio se orientó hacia las compañías que forman el índice IBEX 35, realizando un análisis de 217 informes que sobre estas empresas han emitido diversas organizaciones, nacionales e internacionales, durante los años 2000 y 2001. Los resultados de este estudio empírico mostraron una alta variabilidad en el empleo de las distintas categorías de información sobre intangibles. Acerca de la información sobre capital humano, la credibilidad del equipo directivo es el ítem más destacado por los analistas.

Pero, los ítems que los analistas han empleado en mayor grado en sus informes de valoración son los datos estratégicos relativos a las inversiones en nuevos mercados y datos sobre credibilidad y transparencia de la estrategia, siendo estos ítems justificativos de más del 70% de las recomendaciones emitidas. Por otro lado, la información sobre investigación, desarrollo e innovación y tecnología es la menos empleada por los analistas en sus informes, aspecto estrechamente relacionado con la menor divulgación de estos datos, menor capacidad para predecir flujos futuros y los posibles problemas derivados de la publicación de estos datos, por los riesgos de desventaja competitiva.

Esta situación es puesta de manifiesto en un trabajo realizado por Lev (1999), donde se comprueba que el promedio del valor de las empresas en las bolsas de valores mundiales es el doble de su valor en libros. Para ello, realiza un estudio empírico con una muestra de 300 empresas analizando cómo fluctúa la ratio M/B (capitalización bursátil/valor contable) durante el período 1973-1992 donde pasa de un nivel de 0,811 a 1,692, lo que pone de manifiesto un desfase entre los valores de la empresa según sus balances (valor contable o en libros) y según los inversores (valor de mercado o bursátil).

### 3.3. METODOLOGÍA

La construcción y uso de una metodología para evaluación de impactos sobre el conocimiento debe ser una herramienta y no un fin en sí mismo. Por eso, el método debe ser discutido en el contexto de la gestión y de la evaluación de políticas, y su construcción debe apoyarse en claras definiciones de los objetivos que justifican su utilización. La cuestión no es simplemente utilizar una lista de indicadores, por ejemplo, pero crearlos de modo que respondan a determinadas necesidades analíticas del proceso de toma de decisión sobre programas científicos o tecnológicos (Zackeiwski 2005).

El uso de una metodología capaz de evaluar los impactos sobre el conocimiento proporciona resultados que permiten a los investigadores evaluar en qué medida la investigación está tomando la dirección deseada, si se está cumpliendo su papel en la promoción del bienestar social o de desarrollar factores para nuevas investigaciones. En muchos casos, los resultados encontrados al partir de la evaluación de impactos sobre el conocimiento pueden servir también de base para la formulación y orientación de políticas públicas en el sector agropecuario.

En lo que se refiere al tratamiento estadístico de los datos, se utiliza estadística descriptiva (media, desviación típica, mínimo, máximo, varianza) además de análisis de correlación, métodos no paramétricos y regresiones múltiples.

Los datos utilizados en el estudio han sido obtenidos de los informes de evaluación de impactos económicos, sociales, ambientales y sobre el conocimiento, capacitación y políticos-institucionales de Embrapa, documentos con una gran cantidad de informaciones y análisis (han sido analizados individualmente 1150 informes de resultados de evaluación de impactos de tecnologías elaborados por los centros públicos brasileños de investigación en el periodo 2001-2010). Fueron elegidas las variables relacionadas con las preguntas de esta investigación. La tabla 17 describe las variables más importantes para este estudio, o sea las referentes a los impactos intangibles.

Los intangibles en evaluación, y cuyos resultados son utilizados en este trabajo, pueden ser observados en la Figura 6. Ellos corresponden a los indicadores utilizados para evaluar los impactos en las dimensiones conocimiento, capacitación y político-institucional. Estos intangibles fueron evaluados de acuerdo con el siguiente intervalo: desde muy negativo (-3) a muy positivo (3) (Vedovoto *et al.*, 2008).

Los individuos consultados para la evaluación fueron investigadores, profesores o analistas directamente relacionados con el desarrollo de la tecnología o que conocieran los impactos de la naturaleza en estudio. La tecnología es evaluada por, como mínimo, tres personas.

Desde el punto de vista del análisis estadístico, hay que considerar, no obstante, que en este caso no tenemos una muestra aleatoria de datos (consultar apartado 2.3.1 por tratarse de la misma muestra).

La variable *Años\_Lanz\_Adop* fue creada para demostrar el número de años que llevó la innovación desde el lanzamiento hasta que fuera adoptada por el mercado. La variable *Centro* se refiere al lugar en que ha sido generada la innovación (las variables están listados en la tabla 17). La base de datos fue generada a partir de los informes.

Tabla 17 - Variables utilizadas en el trabajo

Variable	Descripción de la variable	Tipo	Observación
Nombre	Nombre de la tecnología	Nominal	
Lanzamiento	Año de lanzamiento de la innovación – cuándo estuvo disponible.	Escalar	
Adopción	Año en que la innovación empezó a ser adoptada por el mercado	Escalar	
Evaluación	Año de evaluación de la innovación	Escalar	De 2001 hasta 2010
Tipo de Centro	Clasificación según la naturaleza del centro	Nominal	1 - Temáticos 2 - Eco regionales 3 - Productos
Centro	Centro de investigación que generó la innovación	Nominal	
Unidad_medida	Se refiere a a la variable área de adopción		hectáreas, numero de animales, propiedades
Área	Magnitud de la adopción	Escalar	
Beneficio_económico	Renta generada por la adopción de la innovación.	Escalar	Expresada en <i>reais</i> , la moneda brasileña. 1 Euro = 2,29 <i>reais</i>
K_1	Generación de conocimiento	Escalar	
K_2	Innovación técnica	Escalar	
K_3	Intercambio de conocimiento	Escalar	
K_4	Diversidad de conocimiento	Escalar	
K_5	Patentes	Escalar	
K_6	Artículos periódicos indexados	Escalar	
K_7	Tesis desarrolladas	Escalar	
C_1	Relación con entorno	Escalar	
C_2	Formación de redes	Escalar	
C_3	Uso conjunto de equipos e instalaciones	Escalar	
C_4	Socialización del conocimiento	Escalar	
C_5	Cambio de informaciones y datos codificados	Escalar	
C_6	Capacitación equipo técnica	Escalar	
C_7	Capacitación personal externo	Escalar	
PI_1	Cambios organizativos	Escalar	
PI_2	Cambios en la orientación de Políticas Publicas	Escalar	
PI_3	Relaciones de cooperación público privada	Escalar	
PI_4	Mejora de la imagen de la institución	Escalar	
PI_5	Captación de recursos	Escalar	
PI_6	Multifuncionalidad e interdisciplinaridad	Escalar	
PI_7	Nuevos métodos de gestión y calidad	Escalar	
Cuant_evalua	Cantidad de veces (años) en que fue evaluada la tecnología	Escalar	

Fuente: elaboración propia

### 3.4. RESULTADOS

En esta parte del trabajo nos interesan las variables sobre intangibles (disponibles en la tabla 18). Esta información aparecía en los informes y se refiere a una primera tentativa de evaluar los impactos intangibles de las innovaciones agrícolas.

Tabla 18 - Estadística descriptiva de los intangibles

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Generación de conocimiento	335	-,30	3,00	1,8235	,96566
Innovación técnica	325	,00	3,00	1,5718	,95711
Intercambio de conocimiento	327	,00	3,00	1,7078	1,04881
Diversidad de conocimiento	319	,00	3,00	1,4490	,95179
Patentes	212	,00	3,00	,9921	1,19983
Artículos en revistas periódicas indexadas	326	,00	3,00	1,5496	1,06341
Tesis desarrolladas	317	,00	3,00	1,2028	1,10818
Relación con ambiente externo	337	,00	3,00	1,9479	,98286
Formación de redes	337	,00	3,00	1,9969	,99292
Uso conjunto de equipos e instalaciones	280	,00	3,00	1,2557	1,02783
Socialización de conocimiento	334	,00	3,00	1,9263	1,00107
Cambio de informaciones y datos codificados	280	,00	3,00	1,2648	1,06987
Capacitación equipo técnico	339	,00	3,00	2,0460	,97844
Capacitación personal externo	334	,00	3,00	1,8442	1,00454
Cambios organizativos	241	-1,00	3,00	1,1644	1,15982
Cambios en la orientación de Políticas Publicas	262	-2,00	3,00	1,2069	1,12229
Relaciones de cooperación público-privada	311	,00	3,00	1,6324	1,05432
Mejora de la imagen de la institución	333	-,67	3,00	2,1376	1,00409
Captación de recursos	306	,00	3,00	1,7697	1,07932
Multifuncionalidad e interdisciplinaridad	314	,00	3,00	1,5167	,98709
Nuevos métodos de gestión y calidad	257	,00	3,00	1,0837	1,01319
N válido (según lista)	145				

Fuente: elaboración propia

La primera pregunta de investigación que planeamos contestar es: *¿Hay relación entre tipos de centros y activos intangibles?* Se espera encontrar diferencias entre los resultados en razón de la especificidad de cada tipo de centro. Esta información es particularmente importante a la hora de establecer políticas mejor direccionadas en la institución, además de invertir en la búsqueda por metodologías de evaluación de impactos que realmente identifique y demuestre los resultados de la *I+D* de los centros de investigación.

La metodología sugerida por la literatura para contestar a esta pregunta de investigación es el *análisis de varianza (ANOVA)*. Como es sabido, uno de los supuestos de la técnica es que los datos presenten distribución normal. Pero hay situaciones en que no es correcto hacer supuestos sobre las distribuciones muestrales subyacentes. En tales casos se usan los métodos “no paramétricos” o de distribución libre. La prueba de Kruskal y Wallis (1952) para varias muestras independientes es un

ejemplo de técnica por utilizar en casos como el de este trabajo. La situación experimental que permite resolver esta prueba es similar a la estudiada a propósito del ANOVA de un factor, pero las ventajas fundamentales de esta prueba frente al estadístico  $F$  del ANOVA de un factor completamente aleatorizado son dos: 1) no necesita establecer supuestos sobre las poblaciones originales tan exigentes como los del estadístico  $F$  (normalidad, homocedasticidad); y 2) permite trabajar con datos ordinales. Por contra, si se cumplen los supuestos en los que se basa el estadístico  $F$ , la potencia de éste es mayor que la que es posible alcanzar con el estadístico  $H$  de Kruskal-Wallis (UCM, 2012).

Ahora bien, teniendo en cuenta que en muchas situaciones reales resulta demasiado arriesgado suponer normalidad y homocedasticidad (especialmente si las muestras son pequeñas y/o los tamaños muestrales desiguales), y considerando además que en otras situaciones el nivel de medida de los datos puede no ir más allá del ordinal, la prueba de Kruskal-Wallis representa una excelente alternativa al ANOVA de un factor completamente aleatorizado (UCM, 2012).

Por lo tanto para contestar a nuestra primer pregunta de investigación utilizamos el test de Kruskal-Wallis. Y en ese caso tenemos:

$H_0$ : Las medianas de los tipos se centro son iguales

$H_1$ : No todas medianas son iguales

Tabla 19 - Resultados prueba de Kruskal-Wallis y de la Mediana

	gl	Prueba de Kruskal-Wallis		N	Prueba de la mediana		
		Chi-cuadrado	Sig. asintót.		Mediana	Chi-cuadrado	Sig. asintót.
Generación de conocimiento	2	16,08	0,00	335	1,67	17,36	0,00
Innovación técnica	2	0,48	0,79	325	1,33	0,64	0,73
Intercambio de conocimiento	2	17,34	0,00	327	1,67	7,38	0,03
Diversidad de conocimiento	2	15,39	0,00	319	1	15,54	0,00
Patentes	2	11,61	0,00	212	0,33	10,58	0,01
Artículos en revistas periodicos indexadas	2	11,01	0,00	326	1,33	10,73	0,00
Tesis desarrolladas	2	9,61	0,01	317	1	12,72	0,00
Relacionamiento con ambiente externo	2	7,45	0,02	337	2,33	1,35	0,51
Formación de redes	2	2,81	0,25	337	2,33	2,41	0,30
Uso conjunto de equipos e instalaciones	2	13,41	0,00	280	1	5,46	0,07
Socialización de conocimiento	2	2,99	0,22	334	2	4,02	0,13
Cambio de informaciones y datos codificados	2	28,10	0,00	280	1	38,60	0,00
Capacitación equipo técnico	2	2,74	0,25	339	2,33	14,80	0,00
Capacitación personal externo	2	1,22	0,54	334	1,67	0,09	0,95
Cambios organizativos	2	19,45	0,00	241	1	5,19	0,07
Cambios en la orientación de Políticas Publicas	2	14,82	0,00	262	1	29,78	0,00
Relaciones de cooperación público-privada	2	10,44	0,01	311	1,33	11,31	0,00
Mejora de la imagen de la institución	2	1,66	0,44	333	2,67	4,42	0,11
Captación de recursos	2	0,03	0,98	306	1,67	1,20	0,55
Multifuncionalidad e interdisciplinaridad	2	11,62	0,00	314	1,33	5,89	0,05
Nuevos métodos de gestión y calidad	2	11,58	0,00	257	1	16,11	0,00

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 19, solo en aproximadamente la tercera parte de los indicadores no se puede rechazar  $H_0$ , o sea no existirían diferencia entre las medianas de los centros, eso indica que 2/3 de los intangibles caracterizan los tipos específicos de centros. Los indicadores cuyas medianas serían iguales para los tres tipos de centros parecen ser los que se relacionan con la capacitación de personas y transmisión de conocimiento, o sea que el hecho de compartir conocimiento ocurre en los diferentes tipos de centros de forma semejante. También se produce de forma parecida la captación de recursos y mejora en la imagen de la institución. En el primer caso quizá por ser la misma la política y normas para captar recursos en toda la institución.

Para los demás intangibles es posible afirmar que ni todas las medianas son iguales, o sea los centros difieren respecto a la generación de estos intangibles. Es decir, el intercambio de conocimiento ocurre de forma diferente en los centros. La prueba de la mediana presenta resultados no muy distintos que la prueba de Kruskal-Wallis para la muestra.

Una vez comprobado que, para la mayoría de los intangibles, existe diferencia entre los tipos de centros, la segunda pregunta de investigación se torna aun más interesante porque envuelve los beneficios económicos. Ya que, de acuerdo con el marco teórico, en la sociedad del conocimiento los intangibles generan valor nos planteamos preguntar si *¿Hay relación entre tipo de centro, beneficios económicos y los resultados de los intangibles?* La hipótesis es que resultados más expresivos en lo que se refiere a los intangibles influyeran en beneficios económicos – o sea, tecnologías más rentables desde el punto de visto económico serian reflejo de mayores grados de intangibles. “¿Pueden los intangibles ser observados en términos de beneficios económicos? “

La tabla 20 incluye las correlaciones existentes entre todas las variables relativas a los tipos de centros, impactos intangibles y beneficios económicos. Es posible observar que existe correlación entre gran parte de las variables. Precisamente, los centros eco-regionales presentan correlación con 10 de los 21 intangibles.

Tabla 20 - Resultados de los intangibles, beneficios económicos y tipos de centro – Rho de Spearman - correlación

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
A	1	,690*	,479*	,453*	-0,089	,516*	,510*	,418*	,399*	,317*	,328*	,320*	,459*	,331*	,176*	,267*	,201*	,361*	,407*	,426*	,271*	,174*	-,201*	0,043	0,073
B		1	,391*	,476*	,202*	,446*	,463*	,371*	,345*	,203*	,360*	,350*	,382*	,353*	,171*	0,09	,216*	,362*	,422*	,265*	,263*	0,019	-0,039	0,021	0,117
C			1	,523*	-,217*	,435*	,404*	,555*	,537*	,411*	,504*	,481*	,535*	,410*	,306*	,416*	,296*	,271*	,350*	,445*	,501*	,198*	-,201*	0,021	0,097
D				1	-0,06	,339*	,385*	,422*	,335*	,313*	,545*	,524*	,385*	,297*	0,077	,205*	,122*	,357*	,318*	,432*	,298*	-0,027	-,175*	,208*	-0,002
E					1	0,016	0,028	-0,102	-0,095	0,083	-0,075	-0,079	-,184*	-,183*	0,073	-0,129	,184*	0,127	0,035	0,008	0,013	-,201*	,203*	-0,032	-0,033
F						1	,616*	,352*	,437*	,262*	,292*	,274*	,487*	,478*	,289*	,277*	,180*	,234*	,398*	,329*	0,108	,173*	-0,03	-,133*	,224*
G							1	,281*	,361*	,261*	,229*	,196*	,415*	,348*	,261*	,309*	,139*	,180*	,364*	,285*	,164*	0,078	0,1	-,174*	,322*
H								1	,573*	,392*	,653*	,496*	,550*	,490*	,328*	,397*	,429*	,556*	,425*	,468*	,428*	,140*	-,115*	-0,012	,122*
I									1	,464*	,547*	,346*	,549*	,519*	,313*	,258*	,362*	,456*	,457*	,480*	,550*	0,09	-0,034	-0,051	0,118
J										1	,451*	,525*	,300*	,401*	,446*	,470*	,445*	,433*	,375*	,469*	,627*	,194*	-,183*	0,001	-0,104
K											1	,516*	,597*	,546*	,301*	,341*	,328*	,578*	,331*	,424*	,433*	-0,034	-0,06	0,094	0,065
L												1	,405*	,345*	,380*	,414*	,299*	,434*	,416*	,393*	,500*	,155*	-,317*	,169*	-0,128
M													1	,637*	,294*	,309*	,260*	,539*	,460*	,480*	,408*	0,04	-0,09	0,056	,185*
N														1	,358*	,363*	,135*	,474*	,369*	,270*	,321*	0,06	-0,025	-0,03	,191*
O															1	,685*	,402*	,270*	,273*	,286*	,508*	,183*	0,115	-,276*	-0,03
P																1	,474*	,346*	,314*	,350*	,544*	,215*	-0,001	-,196*	0,004
Q																	1	,441*	,501*	,356*	,461*	0,082	0,099	-,183*	,239*
R																		1	,535*	,346*	,392*	-0,033	-0,038	0,071	0,045
S																			1	,368*	,343*	-0,01	0,002	0,007	,147*
T																				1	,534*	-0,028	-,152*	,184*	0,09
U																					1	,145*	-,206*	0,073	-0,027
V																						1	-,647*	-,361*	-,108*
W																							1	-,477*	,272*
X																								1	-,261*
Y																									1

A	Generación de conocimiento	J	Uso conjunto de equipos e instalaciones	R	Mejora del image de la institución
B	Innovación tecnica	K	Socialización de conocimiento	S	Captación de recursos
C	Intercambio de conocimiento	L	Cambio de informaciones y datos codificados	T	Multifuncionalidad e interdisciplinaridad
D	Diversidad de conocimiento	M	Capacitación equipo tecnica	U	Nuevos métodos de gestión y calidad
E	Patentes	N	Capacitación personal externo	V	ecorre
F	Articulos revistas periódicas indexadas	O	Cambios organizativos	W	product
G	Tesis desarrolladas	P	Cambios en la orientación de Politicas Publicas	X	tema
H	Relación con ambiente externo	Q	Relaciones de cooperación publico-privada	Y	Beneficio economico
I	Formación de redes				

\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)  
 Fuente: elaboración propia

Los centros de productos poseen relación con 9 de los intangibles y correlación positiva con los beneficios económicos, y se puede observar que coinciden con los centros eco-regionales en la mayoría de los intangibles con los cuales presentan algún grado de correlación. Los signos de las correlaciones, casi siempre contrarios, en el caso de estos dos tipos de centro corroboran la hipótesis de sus especificidades realmente definen el tipo de intangibles que los caracteriza. Un ejemplo puede ser observado en la variable *Relación con el entorno*, los centros de productos casi siempre tienen como prioridad la investigación en alguna *commodity*, como soja, maíz o ganado (para la producción de carne) o sea que se produce un intercambio de información con otras instituciones que trabajan productos de esta naturaleza.

Los centros eco regionales, por su parte, investigan un número mayor de productos agrícolas y, por dicho motivo, poseen la posibilidad de intercambiar información sobre la producción de estos productos con un número mayor de instituciones. Los centros temáticos son los que presentaron mayores diferencias, en relación a los otros tipos de centros, en cuanto a los intangibles que presentan correlaciones. Estos centros presentan correlaciones con 8 diferentes tipos de intangibles y una correlación negativa con impactos económicos.

Ahora bien, aun mas importante que verificar la existencia de las correlaciones es investigar cómo los impactos intangibles influyen la generación de beneficios económicos. Partiendo del principio teórico que en la sociedad del conocimiento son los intangibles los responsables de generar valor económico, buscamos, por medio de una regresión lineal verificar esta hipótesis.

También se ha verificado si existe relación entre tipos de centro y los intangibles y beneficios económicos. La regresión puede indicar qué intangibles serían los factores clave de éxito para los beneficios y también si existe alguna influencia respecto a la naturaleza del centro en la generación de beneficios.

Para incorporar en el cálculo de las correlaciones y también de la regresión la variable *tipo de centro*, o sea, una variable cualitativa, la transformamos en variables dicotómicas y así fueron generadas tres variables *dummies*: ecorre (para los centros eco regionales) tema (para los centros temáticos) y product (para los centros de productos).

Tabla 21 - Resultados modelo de regresión – intangibles, beneficios económicos y tipos de centros

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regr esión	4962418756065200000	7	708916965152171000	11,06664	0,00000
Resi dual	7623013517733180000	119	64058937123808200		
Total	12585432273798400000	126			

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta	B	Error típ.	Tolerancia	FIV
(Constante)	-123.674.834	69.466.307		-1,7804	0,08		
Patentes	-119.068.493	21.870.739	-0,4297	-5,4442	0,00	0,817	1,224
Cambio de información y datos codificados	-81.783.307	28.000.080	-0,2771	-2,9208	0,00	0,565	1,768
Mejora del imagen de la institución	69.313.467	29.971.028	0,2073	2,3127	0,02	0,633	1,579
Innovación técnica	179.668.495	31.201.902	0,5048	5,7583	0,00	0,662	1,510
Cambios en la orientación de Políticas Publicas	-76.525.816	26.215.320	-0,2581	-2,9191	0,00	0,651	1,536
Ecorre	153.085.499	69.510.446	0,1934	2,2023	0,03	0,660	1,514
Product	95.130.837	60.289.196	0,1510	1,5779	0,12	0,556	1,799

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. del cambio en F	Durbin-Watson
0,63	0,39	0,36	253098670,7	0,39	11,07	7	119	0,00	1,73

Fuente: elaboración propia

A nivel global, se ha conseguido explicar el 39% de la variabilidad total de la variable dependiente, los beneficios económicos, con el modelo obtenido. Además, como se puede ver en la tabla 21, esta varianza explicada es suficientemente grande respecto a la residual con lo que este modelo es capaz de explicar los cambios producidos en los beneficios económicos. Los estadísticos Toler y *FIV* indicaron que existe poca colinealidad entre las variables, o sea que el modelo no queda comprometido en relación a este problema. El resultado de la prueba de Durbin-Watson, para los residuos correlacionados serialmente, ha relevado que los residuos son independientes lo que es particularmente importante en nuestro caso ya que no podemos afirmar que nuestra variable respuesta presente distribución normal (pero es importante destacar que, por otro lado, tenemos una muestra grande).

A nivel individual, con excepción de la variable *product* todos los coeficientes de regresión son significativamente distintos de 0. Por ello, todas las variables incluidas en el modelo aportan explicación sobre los beneficios económicos. Es posible observar que un aumento en los beneficios económicos disminuye el valor en patentes. En un

primer momento este resultado puede parecer raro, sin embargo es necesario considerar que los beneficios económicos aquí considerados son estimados a partir de la metodología del excedente económico – o sea se trata de renta transferida para la sociedad por medio de la transferencia de innovaciones tecnológicas, es decir, en este caso no están contabilizados el gasto financiero del sistema de patentes. Según Pereira (1993), estudios empíricos igualmente revelarían que la importancia de la protección de patentes es variable entre los sectores. Basándose en una muestra de cien empresas estadounidenses, Mansfield (1990) concluye que las patentes solo fueron consideradas esenciales en dos industrias - farmacéutica y química. De todas formas, es común encontrar en la literatura los efectos positivos de las patentes para el sistema de innovación, o sea que aquí se encuentra, quizá una futura línea de investigación.

Un análisis semejante puede ser hecho para la variable relativa al cambio de información y datos codificados. Parece ser que este intangible también disminuye con el aumento de los beneficios económicos transferidos a la sociedad. Es decir, a lo mejor datos de esta naturaleza dejen de ser necesarios en la medida que las innovaciones son adoptadas, algo relacionado con la explicación del ciclo de vida de la innovación. Los cambios en la orientación de las políticas públicas también pueden ser analizados a la luz de la explicación del ciclo de vida de la innovación, es decir son cambios que necesitan ser evaluados a cada fase de la innovación y ese intangible se refleja en los beneficios económicos. La mejora de la imagen de la institución y la innovación técnica aumenta con el aumento de los beneficios económicos.

En relación con el tipo de centro, el modelo revela que cuando estamos en la variable omitida, referente al centro temático, el beneficio económico aumenta en 153.085.499,5 en relación a los centros eco-regionales.

La última pregunta de investigación planteada en ese trabajo es: ¿Existe relación entre intangibles y años en que una tecnología es evaluada? Si existe relación ¿Cuáles serían las variables clave en relación a los ciclos de vida de las tecnologías? Aquí se hace una suposición: solo son evaluadas las tecnologías que efectivamente están siendo adoptadas por el mercado, o sea se considera que estas tecnologías aun no habían finalizado su ciclo de vida. La Tabla 22 contesta a la primera parte de la pregunta por medio de un análisis de correlación.

Tabla 22 - Resultados de los intangibles y ciclo de vida – Rho de Spearman - Coeficiente de correlación

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
A	1	,690*	,479*	,453*	-0,089	,516*	,510*	,418*	,399*	,317*	,328*	,320*	,459*	,331*	,176*	,267*	,201*	,361*	,407*	,426*	,271*	0,01
B		1	,391*	,476*	,202*	,446*	,463*	,371*	,345*	,203*	,360*	,350*	,382*	,353*	,171*	0,09	,216*	,362*	,422*	,265*	,263*	-0,014
C			1	,523*	-,217*	,435*	,404*	,555*	,537*	,411*	,504*	,481*	,535*	,410*	,306*	,416*	,296*	,271*	,350*	,445*	,501*	-0,061
D				1	-0,06	,339*	,385*	,422*	,335*	,313*	,545*	,524*	,385*	,297*	0,077	,205*	,122*	,357*	,318*	,432*	,298*	-,254*
E					1	0,016	0,028	-0,102	-0,095	0,083	-0,075	-0,079	-,184*	-,183*	0,073	-0,129	,184*	0,127	0,035	0,008	0,013	-0,048
F						1	,616*	,352*	,437*	,262*	,292*	,274*	,487*	,478*	,289*	,277*	,180*	,234*	,398*	,329*	0,108	0,006
G							1	,281*	,361*	,261*	,229*	,196*	,415*	,348*	,261*	,309*	,139*	,180*	,364*	,285*	,164*	-0,076
H								1	,573*	,392*	,653*	,496*	,550*	,490*	,328*	,397*	,429*	,556*	,425*	,468*	,428*	,177*
I									1	,464*	,547*	,346*	,549*	,519*	,313*	,258*	,362*	,456*	,457*	,480*	,550*	-0,029
J										1	,451*	,525*	,300*	,401*	,446*	,470*	,445*	,433*	,375*	,469*	,627*	-0,039
K											1	,516*	,597*	,546*	,301*	,341*	,328*	,578*	,331*	,424*	,433*	-0,015
L												1	,405*	,345*	,380*	,414*	,299*	,434*	,416*	,393*	,500*	-0,074
M													1	,637*	,294*	,309*	,260*	,539*	,460*	,480*	,408*	0,102
N														1	,358*	,363*	,135*	,474*	,369*	,270*	,321*	,149*
O															1	,685*	,402*	,270*	,273*	,286*	,508*	,156*
P																1	,474*	,346*	,314*	,350*	,544*	0,08
Q																	1	,441*	,501*	,356*	,461*	-0,003
R																		1	,535*	,346*	,392*	0,021
S																			1	,368*	,343*	0,029
T																				1	,534*	-,147*
U																					1	0,013
V																						1

A	Generación de conocimiento	J	Uso conjunto de equipos e instalaciones	R	Mejora del image de la institución
B	Innovación técnica	K	Socialización de conocimiento	S	Captación de recursos
C	Intercambio de conocimiento	L	Cambio de informaciones y datos codificados	T	Multifuncionalidad e interdisciplinaridad
D	Diversidad de conocimiento	M	Capacitación equipo tecnica	U	Nuevos métodos de gestión y calidad
E	Patentes	N	Capacitación personal externo	V	Cantidad de veces en que la tecnología fue evaluada
F	Artículos periodicos indexados	O	Cambios organizacionales		
G	Tesis desarrolladas	P	Cambios en la orientación de Políticas Publicas		
H	Relacionamiento con ambiente externo	Q	Relaciones de cooperación publico-privada		
I	Formación de redes				

\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)  
Fuente: elaboración propia

Es posible observar que casi todas las variables están correlacionadas. Para contestar a la segunda pregunta - investigar los intangibles determinantes en el ciclo de vida de las tecnologías- hicimos una regresión lineal. Los resultados se presentan en la tabla 23.

Tabla 23 - Resultados modelo de regresión – intangibles y ciclo de vida

	Suma de cuadrados		gl	Media cuadrática	F	Sig.			
Regresión	381,41		21	18,16	4,68	0,00			
Residual	477,60		123	3,88					
Total	859,01		144						
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Estadísticos de colinealidad			
	B	Error típ.	Beta	B	Error típ.	Tolerancia	FIV		
(Constante)	4,638	0,643		7,209	0,00				
Generación de conocimiento	-0,353	0,338	-0,137	-1,046	0,30	0,263	3,802		
Innovación técnica	0,213	0,353	0,081	0,604	0,55	0,254	3,932		
Intercambio de conocimiento	-0,896	0,310	-0,371	-2,892	0,00	0,274	3,649		
Diversidad de conocimiento	-1,238	0,358	-0,463	-3,455	0,00	0,252	3,973		
Patentes	-0,247	0,187	-0,120	-1,322	0,19	0,549	1,820		
Artículos periodicos indexados	-0,358	0,257	-0,162	-1,397	0,17	0,337	2,967		
Tesis desarrolladas	0,640	0,278	0,284	2,304	0,02	0,298	3,359		
Relacionamiento con ambiente externo	1,564	0,304	0,570	5,149	0,00	0,369	2,714		
Formación de redes	-0,956	0,314	-0,338	-3,041	0,00	0,365	2,738		
Uso conjunto de equipos e instalaciones	-0,901	0,327	-0,344	-2,756	0,01	0,289	3,455		
Socialización de conocimiento	0,219	0,349	0,084	0,628	0,53	0,253	3,947		
Cambio de informaciones y datos codificados	0,772	0,276	0,356	2,796	0,01	0,278	3,593		
Capacitación equipo técnica	0,165	0,333	0,064	0,497	0,62	0,275	3,631		
Capacitación personal externo	0,637	0,351	0,232	1,814	0,07	0,277	3,607		
Cambios organizacionales	-0,001	0,262	0,000	-0,002	1,00	0,385	2,595		
Cambios en la orientación de Políticas Publicas	0,006	0,266	0,003	0,022	0,98	0,327	3,057		
Relaciones de cooperación público-privada	0,196	0,269	0,083	0,730	0,47	0,351	2,849		
Mejora del image de la institución	-0,046	0,266	-0,017	-0,173	0,86	0,449	2,228		
Captación de recursos	0,041	0,272	0,017	0,151	0,88	0,361	2,767		
Multifuncionalidad e interdisciplinaridad	-0,487	0,279	-0,189	-1,746	0,08	0,385	2,599		
Nuevos métodos de gestión y calidad	0,256	0,343	0,105	0,745	0,46	0,229	4,365		
R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. del cambio en F	Durbin-Watson
0,67	0,44	0,35	1,97	0,44	4,68	21	123	0,00	1,35

Fuente: elaboración propia

El modelo ha conseguido explicar el 35% de la variabilidad total de Y, la cantidad de años en que la tecnología se queda en el mercado. Los estadísticos Toler y FIV indicaron que existe poca colinealidad entre las variables o sea que el modelo no se

queda comprometido en relación a este problema. El resultado (1.35) de la prueba de Durbin-Watson, para los residuos correlacionados serialmente, ha relevado que los residuos presentan algún grado de auto correlación negativa<sup>7</sup> lo que es particularmente importante en nuestro caso ya que no podemos afirmar que nuestra variable respuesta presente distribución normal (pero es importante destacar que, por otro lado, tenemos una muestra grande), o sea que el modelo puede ser considerado valido pero con alguna reserva.

Los resultados indicaron que una tercera parte de las variables aportan explicación al modelo, y se puede observar que los resultados corroboran a lo que apunta la literatura sobre la valoración de los intangibles en el ciclo de vida de los productos. Las actividades de *I+D* y de intercambio y diversidad de conocimiento se encuentran en el inicio del ciclo de vida de los productos de modo que tiene sentido que cuanto mayor (más largo) sea el ciclo de vida de las innovaciones, menos intangibles de esa naturaleza formen parte de la valoración final del conjunto de intangibles considerados para el producto (ver Figura 7). El mismo análisis puede ser hecho con relación al uso de equipos y instalaciones, en la medida que aumentan el número de años se disminuye el papel de ese intangible en la valoración del conjunto de esos activos para las innovaciones tecnológicas. Por otro lado, la relación con el ambiente externo crece con el aumento de los años (en este caso del ciclo de vida de los productos).

La conclusión que se obtiene es que para que la relevancia de los intangibles en las instituciones se mantenga, o sea, para sacarles provecho es necesario que se invierta en ellos y lo sea continuamente. Como ya destacaba Hendriksen en 1965, los intangibles están en todo el ciclo de vida de los productos. No es por casualidad que la inversión en la *I+D* revela gasto para las empresas en la fase del desarrollo de innovaciones, pero que su valor solo sea observado en la fase inicial del ciclo de vida, lo que ocurre es que los intangibles en esa fase necesitan ser constantemente aprovechados.

Los resultados indicaron que es posible separar a los indicadores en tres fases. Se puede observar el efecto de cada intangible respecto a los tipos de centro en la tabla 24 La primera, ***intercambio de conocimiento***, se refiere a la capacidad de la empresa de intercambiar el conocimiento generado internamente. En el caso de los centros de eco-regionales, eso ocurre entre con el ambiente externo, como demuestra el indicador

---

<sup>7</sup> Para decir que los residuos son independientes es necesario que el Durbin-Watson, que va de 0 a 4, esté entre 1,5 y 2,5.

relación con el ambiente externo y se supone que para los centros de producto ese intercambio exista de forma más intensa a nivel interno.

Tabla 24 - Resumen de los intangibles y tipos de centros.

<b>Intangibles</b>	<b>Ecorregional</b>	<b>Productos</b>	<b>Temáticos</b>
Generación de conocimiento	+	-	
Intercambio de conocimiento	+	-	
Diversidad de conocimiento		-	+
Patentes	-	+	
Artículos revistas periódicas indexadas	+		-
Tesis desarrolladas			-
Relación con ambiente externo	+	-	
Uso conjunto de equipos e instalaciones	+	-	
Cambio de informaciones y datos codificados	+	-	+
Cambios organizativos	+		-
Cambios en la orientación de Políticas Públicas	+		-
Relaciones de cooperación público-privada			-
Multifuncionalidad e interdisciplinaridad		-	+
Nuevos métodos de gestión y calidad	+	-	

Fuente: elaboración propia

La segunda fase, *la aplicación del conocimiento*, contiene la capacidad de promover cambios organizativos internos y también los que tienen que ver con la orientación de políticas públicas.

Finalmente, la tercera fase, *resultados de la generación del conocimiento*, representa a los impactos más directos de la generación de intangibles, los que hacen referencia a la capacidad de apropiar los resultados sea por medio de patentes, divulgación de artículos científicos o tesis.

### 3.5. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Las evaluaciones de impactos suelen tener como objetivos principales: (a) direccionar la inversión en *I+D* agrícola para crear mejores condiciones para una agricultura sostenible, (b) obtener lecciones estratégicas y programáticas para las futuras inversiones en *I+D* agrícola y (c) proporcionar información para su uso en la concienciación del público.

En ese sentido, además los impactos socio-económicos, cada vez se valoran más los activos intangibles generados por las instituciones. El conocimiento de las

características de la empresa, en lo que se refiere a sus activos intangibles, puede contribuir sobremanera a la adopción de estrategias que pretendan maximizar sus impactos positivos.

El principal objetivo de este trabajo ha sido explorar los primeros resultados de una muestra de intangibles evaluados durante una serie de años por 37 centros de investigación agrícola en Brasil. El trabajo ha considerado el ciclo de vida del producto y buscó verificar la relación entre los activos intangibles y los impactos económicos. Se discutieron, principalmente, aspectos relacionados con la *I+D* en los diferentes tipos de centros de investigación. Se sugiere que lo que aportan los activos intangibles depende de la fase del ciclo de vida en que el producto se encuentre. Cuando el producto alcanza su fase de madurez, los activos intangibles de relación obtienen una mejor valoración.

## **CAPÍTULO 4 - OPCIONES REALES: UNA PROPUESTA PARA VALORAR PROYECTOS DE *I+D* EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN AGRARIA.**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Trabajar en la gestión de proyectos de *I+D* bajo la perspectiva de la innovación agrega algunos principios, como por ejemplo la flexibilidad, que cambian el análisis tradicional de gestión de proyectos tecnológicos. Existen muchas formas de evaluar impactos potenciales y resultados de proyectos de desarrollo científico, tecnológico y de innovación. En realidad, este es uno de los más controvertidos temas que se relacionan con la gestión de proyectos.

Tradicionalmente, el análisis económico aborda este tema considerando conceptos básicos como el valor del dinero en el tiempo y también el coste de oportunidad. Estos conceptos son utilizados para definir el Valor Actual Neto (VAN) de los proyectos (Marcel, 2003). Sin embargo, no siempre los métodos tradicionales dan cuenta de la complejidad gerencial de una decisión de inversión, haciendo que la evaluación basada en estos indicadores sea cuestionada y, de manera general, subestime el valor generado por un proyecto.

Esas características, junto a la incertidumbre sobre el futuro, hacen que una oportunidad de inversión sea análoga a una opción financiera (Dixit y Pindyck, 1995). El valor de una opción, que contempla la flexibilidad gerencial en la evaluación de proyectos de inversión, puede ser calculado a través de los métodos de estimación de los precios, herramientas prometedoras en el análisis de decisiones estratégicas. Dichos métodos están basados en la Teoría de *Opciones Reales*.

El objetivo de este trabajo es verificar si la Teoría de *Opciones Reales* es adecuada para evaluar proyectos de *I+D* agrícolas llevados a cabo en centros públicos de investigación.

El uso de la *Opciones Reales* para evaluar los beneficios generados por los centros públicos de investigación puede ser útil también para solucionar un problema y una crítica antigua que sufren organizaciones de esta naturaleza: que sus beneficios son mucho mayores de los que se consigue demostrar justamente por no se usar una herramienta que

considere sus características intrínsecas, que es trabajar con elementos como la flexibilidad y el riesgo. Dejar de utilizar las *Opciones Reales* que consideran tales elementos para utilizar los métodos más comunes, como el VAN, implica subestimar los beneficios que estas instituciones transfieren a la sociedad.

Es más, de acuerdo con Brealey *et al.* (2010), el hecho de que un proyecto presente un VAN positivo no significa que se deba emprender hoy porque es posible que interese esperar a ver qué pasa con el mercado. También conviene considerar que cuando los flujos previstos son pequeños, aunque el VAN sea positivo, puede ser preferible no invertir en un proyecto. Las *Opciones Reales*, al presentar valores más próximos a la realidad, pueden ser decisivas para no perder la oportunidad de inversión en un proyecto de *I+D*.

Aunque un gran número de trabajos destacan la aplicabilidad de la teoría de *Opciones Reales* para evaluar proyectos de *I+D*, en la revisión de la literatura realizada fueron escasos los trabajos empíricos que utilizan dicha teoría para evaluar la *I+D* en centros de investigación agrícolas orientados hacia el mercado. Aún más escasos son los trabajos que utilizan la teoría del excedente económico – ampliamente usada para demostrar la posible existencia de beneficios sociales generados por centros públicos de investigación – de forma asociada al enfoque de las *Opciones Reales*.

En este contexto, la contribución de este trabajo puede ser doble: desde el punto de vista académico proporciona elementos adicionales para la discusión del tema de las *Opciones Reales* en centros públicos de investigación. Y para estos centros puede ser un ejemplo de aplicación de la teoría, ya que el trabajo considera datos reales sobre el proyecto de desarrollo de una semilla.

La teoría de *Opciones Reales* nació en el campo de las finanzas y se demuestra prometedora en la evaluación pública de los proyectos de investigación. Así pues, la realización de este trabajo pretende contribuir al debate sobre un tema que desde décadas recibe mucha atención de investigadores y académicos: ¿cómo demostrar los beneficios generados por la *I+D*? y de esta manera auxiliar a la toma de decisiones acerca de inversiones y, por supuesto, conseguir más recursos para los proyectos de investigación con unos resultados estimados que sean aceptables.

La metodología utilizada consiste en una completa revisión de la literatura sobre el tema, particularmente de trabajos empíricos que utilizan el enfoque de las *Opciones Reales*. Además, por tratarse de un trabajo empírico, se compara los resultados de la evaluación de un proyecto real de mejora genética de una variedad de trigo a partir del uso

de dicha teoría con los obtenidos al evaluar el mismo proyecto con una metodología tradicional de evaluación, el VAN.

Se destaca también la consulta a investigadores de un centro público de investigación agraria, lo que es particularmente importante para la atribución de los valores utilizados en los cálculos de la parte técnica del trabajo. Finalmente, con el objetivo de disminuir la subjetividad existente, en el análisis se utilizan simulaciones de Monte Carlo para estimar parámetros como el flujo medio de beneficios y la volatilidad consolidada del proyecto de investigación.

Este trabajo está compuesto de cuatro partes. La próxima sección presenta una exposición teórica sobre los principales conceptos utilizados, particularmente los referidos a las Teorías de *Opciones Reales*, VAN y Excedente Económico. Asimismo, se presenta la revisión de trabajos empíricos que utilizan las *Opciones Reales*.

La metodología utilizada en el trabajo consiste en la aplicación de estas teorías, que serán explicadas en el apartado segundo. Una excepción se hace al presentar otra herramienta, la Simulación de Monte Carlo, que será comentada en el tercer apartado, que enseña los resultados y discusión del análisis de un proyecto de mejoramiento genético. Esta forma de presentación pretende clarificar al lector los aspectos metodológicos más duros. La cuarta sesión concluye el trabajo y, a la vez, comenta las limitaciones de la investigación.

## **4.2. Evaluación de los proyectos de I+D desarrollados en los centros públicos de investigación – consideraciones metodológicas.**

### **4.2.1. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Uno de los métodos más comúnmente utilizados para evaluar proyectos de inversión es el VAN. La existencia de un VAN positivo es el criterio básico de aceptación de los proyectos y la ordenación de VANs se tiene como criterio de elección entre diversas alternativas de inversión.

Un método alternativo se basa en la Teoría de *Opciones Reales*. De acuerdo con Marcel (2003), la expresión (valor de las) *Opciones Reales* se utiliza para representar la

estimación de valor explícita respecto a las oportunidades relacionadas con decisiones cambiantes, que se toman como respuesta a la adquisición de información adicional para resolver situaciones de incertidumbre. Las *Opciones Reales* son aquellas operaciones de tipo financiero cuyo activo subyacente es un activo real como, por ejemplo, un inmueble, un proyecto de inversión, una empresa o una patente.

La mayoría de las decisiones de inversión comparten tres características importantes (Marcel, 2003):

- *La inversión es parcial o totalmente irreversible.* El coste inicial de la inversión está, al menos parcialmente, hundido.
- *Existe un cierto nivel de incertidumbre* en lo que se refiere al futuro rendimiento de la inversión. Lo mejor que se puede hacer es estimar las probabilidades de ocurrencia de las distintas alternativas posibles.
- *Es posible que se disponga de cierta flexibilidad respecto a la oportunidad de realizar efectivamente la inversión.* Ello permite demorar la acción para adquirir mayor nivel de información respecto al futuro.

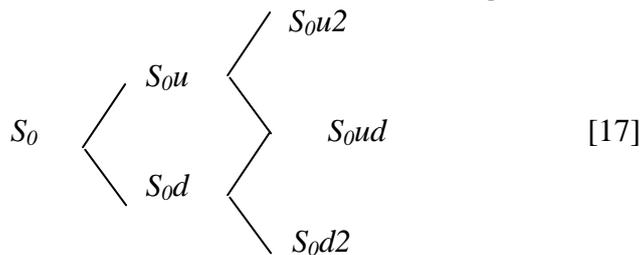
Una *opción* es el derecho, pero no la obligación, de realizar una acción en el futuro. Por ello, las opciones resultan importantes cuando se está frente a una situación de incertidumbre. Los dos métodos más usuales para valorar las opciones son: (i) el modelo binomial y (ii) el modelo desarrollado por Fischer Black y Myron Scholes (1973), posteriormente complementado por Robert Merton (1973) (Modelo de Black y Scholes).

Ambos métodos se basan en criterios derivados de la utilización de carteras equivalentes y en los principios de comportamiento de los modelos de arbitraje (Marcel, 2003). Los conceptos básicos considerados en ambos modelos de valoración de opciones son los siguientes:

$S$	Precio del activo financiero objeto de la opción,
$X$	Precio de ejercicio de la opción respecto al activo financiero de referencia.
$t$	Plazo remanente desde el momento en que se hace la observación hasta la expiración de la opción.
$R_f$	Tasa de interés libre de riesgo
$\sigma^2$	Varianza, considerada como medida del grado de variabilidad esperado del precio del activo subyacente objeto de la opción.

El método binomial, el que utilizamos en este trabajo, se refiere a un enfoque numérico muy utilizado para valorar una opción. Según Brealey *et al.* (2010) este método ofrece una medida más realista y precisa del valor de la opción cuando se trabaja con muchos periodos.. Los valores se muestran como nodos de un árbol binario.

La estructura básica del árbol es la siguiente:



Siendo:

$S_0$  = valor presente del flujo de fondos.

$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}}$  = factor multiplicativo *up* (coeficiente de crecimiento) del flujo de fondos esperado.

$d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = 1/u$  = factor multiplicativo *down* (coeficiente de decrecimiento) del flujo de fondos esperado.

$\sigma$  = volatilidad estimada del flujo de fondos.

$\delta t$  = fracción de tiempo en que se divide el periodo analizado (T).

$e$  = base de los logaritmos naturales.

Empezando por el valor presente del flujo de fondos en el tiempo cero ( $S_0$ ), al multiplicarlo por el factor  $u$  (*up*) y  $d$  (*down*) como se muestra en la parte izquierda de la expresión [16], se va creando el árbol de los posibles valores del flujo de fondos. Hay una bifurcación por cada nodo, creando así sucesivamente las ramas *up* y *down* siendo todas ellas recombinantes.

Lo que señala la expresión [17] es parte de un modelo binomial, mostrando la evolución de un proceso del periodo de tiempo 0 para el periodo de tiempo 3, inclusive. En cada nodo del árbol existe una elección ascendente y una elección descendente que ocurre con cierta probabilidad. Considerando el valor de un activo en el inicio del tiempo 0, el precio final de este activo es el precio inicial multiplicado por un factor ascendente ( $u$ ) o un factor descendente ( $d$ ), dependiendo del camino escogido. El factor ascendente  $u$  es dado por  $u = \exp[\sigma\sqrt{\Delta t}]$ , donde  $\sigma$  representa la volatilidad del activo subyacente sujeto a riesgo, mientras el factor descendente es dado por  $d = 1/u = \exp[-\sigma\sqrt{\Delta t}]$ . Cada nodo es alcanzado con una determinada probabilidad, ascendente (*up*) o descendente (*down*), que corresponde la probabilidad neutra al riesgo.

Según indica Mun (2002), el *movimiento browniano*<sup>8</sup> es la hipótesis requerida para valorar *Opciones Reales*. La volatilidad ahora tiene un valor y es la que define los

<sup>8</sup>El movimiento browniano es un proceso aleatorio que describe el comportamiento de ciertas variables también aleatorias a medida que se desplazan en el tiempo. Es un proceso muy utilizado en finanzas para describir la evolución de los precios en el tiempo. Supone que el cambio de un periodo de tiempo al que le sigue no está relacionado ni con el nivel de precios ni con las series pasadas, es decir que cada cambio es independiente de los cambios de precios anteriores (Bello et al, 2010). De acuerdo con Korn y Korn (2013), el Movimiento Browniano se refiere a un proceso estocástico  $\{W(t), t \in [0, T]\}$ . De aquí se determina que  $W(t)$  es una variable aleatoria que sigue una distribución normal con valor esperado cero y varianza  $t$ , por lo tanto se cumple que  $W(t) \sim N(0, t)$ .

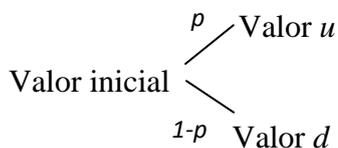
movimientos *up* y *down* que dan valor a la opción o flexibilidad del proyecto (Pardo Sempere, *et al.*, 2004).

La estructura básica para estimar el valor de las opciones es semejante a la presentada en la estructura [18]. El valor del proyecto en cada nodo difiere al incorporar el valor de la flexibilidad. El procedimiento de construcción de esta rejilla consta de dos pasos. Primero, se realiza la evaluación de la opción en los nodos terminales y después se continúa por los nodos intermedios a través de un proceso denominado de inducción regresiva (Pardo Sempere, *et al.*, 2004), es decir yendo de derecha a izquierda. Las variables requeridas para el cálculo en cada nodo, además de las anteriores, son:

$P$  = probabilidad neutral al riesgo

$$P = \frac{e^{rf(dt)} - d}{u - d} \quad [18]$$

A continuación se muestra la derivación intuitiva de la formulación de la probabilidad neutral al riesgo usando un nodo de decisión con dos ramas y sus probabilidades de ocurrencia asociadas:



El valor inicial esperado es  $(p) u + (1-p) d$ . Si añadimos el factor tiempo al análisis, los valores finales deberían descontarse por el valor del dinero en el tiempo. Si no se garantizan los valores finales, existe al menos el riesgo asociado con sus niveles, por lo que deberían descontarse a una tasa de descuento de mercado ajustado al riesgo ( $dr$ ). Es decir:

$$\text{valor presente esperado} = [(p) u + (1-p) d] e^{(-dr)(t)}. \quad [19]$$

Si asumimos que el valor esperado es  $I$ , lo cual es aceptado y usado ampliamente en modelos de opciones de precios (Mun, 2003), entonces podemos escribir:

$$I = [(p) u + (1-p) d] e^{(-dr)(t)}. \quad [20]$$

Multiplicando en ambos lados de la ecuación por la recíproca de  $e^{(-dr)(t)}$  obtenemos:

$$(p) u + (1-p) d = e^{dr(t)}. \quad [21]$$

$$\text{Y despejando } p: \quad p = \frac{e^{dr(t)} - d}{u - d} \quad [22]$$

Esta probabilidad neutral al riesgo es la solución para las probabilidades en un árbol binomial. Como en el enfoque binomial el tiempo es simplemente el paso entre nodos, podemos escribir  $t$  como  $dt$  (Pardo Sempere, *et al.*, 2004).

#### 4.2.2. OPCIONES REALES: TEORÍA Y MÉTODOS

Desde el punto de vista de la aplicación de las *Opciones Reales*, Souza y Barreto (1999) presentan algunos ensayos respecto a la valoración de los conocimientos tecnológicos generados por un centro de investigación. En uno de los ensayos, los autores investigaron el valor que el conocimiento tecnológico puede agregar a un trabajo hecho para desarrollar una oportunidad de negocio, establecido por un contrato con varias etapas, descritas por medio de un árbol de decisión. En otro ensayo utilizaron la teoría de las opciones (Modelo Black y Scholes) para estimar el valor de una patente de producto, mantenida en cartera por el centro de investigación.

Mascareñas (2005) utiliza las *Opciones Reales* compuestas para evaluar un proyecto de inversión de un fármaco. En su trabajo, el autor utiliza muchas de las técnicas más comunes de valoración en opciones como árboles de decisión, árboles binomiales y finalmente una variación del Modelo de Black y Scholes.

Vicente y Pereira Junior (2005) analizan la viabilidad financiera de una propuesta de inversión en la producción de biodiesel en Brasil, comparando los resultados obtenidos a partir del uso de modelos tradicionales - *VAN* y *TIR*- como punto de partida para el análisis inicial de la viabilidad de los proyectos, con los resultados revelados a partir de la

teoría de *Opciones Reales*. Los autores concluyen que un proyecto puede ser definido como un conjunto de *Opciones Reales* y que el uso de dicha teoría agrega flexibilidad gerencial en el análisis del VAN. En la misma línea de investigación, Santos y Pamplona (2003) plantean una aplicación de la Teoría de las *Opciones Reales* en el análisis de inversión en un proyecto real de *I+D*. Asimismo, comparan los resultados con un método de evaluación tradicional, el Flujo de Caja Descontado *FC*, con el análisis por Árbol de Decisiones.

Delgado-Juarez y Pérez- Akaki (2013) hicieron un ejercicio de evaluación para el caso del café mexicano, analizando la posibilidad de cambiar el proceso productivo, de un sistema tradicional para la producción de forma orgánica (o sea, una situación de cambio tecnológico), utilizando la metodología de opciones reales compuesta para evaluar tal transición. En el modelo creado por los autores para cada año de la transición, se calcula una opción de abandono del proyecto, generando así una cadena de opciones. De entrada, eso permite a los productores dos ventajas: una pausa para evaluar el escenario anualmente (y aquí hay también la posibilidad de no obtención de la certificación en algún momento) y además cuentan con los valores de los cálculos de las dos opciones: seguir o abandonar el proyecto. La conclusión del trabajo es que una aportación del uso del método en relación al uso del VAN es la posibilidad de modelar la incertidumbre y cuantificar decisiones estratégicas – como, por ejemplo, la opción de abandonar el proyecto.

En este trabajo, Delgado-Juarez y Pérez- Akaki (2013) presentan una doble aportación: tanto para la comunidad científica, ya que proporcionan un ejemplo de aplicación de la teoría de las *opciones reales*, como para los productores, que pueden basarse en su modelo para hacer su propio planeamiento estratégico.

Quizá lo que hace que unos trabajos que utilicen las opciones reales sean distintos de los otros sea la gran posibilidad de variantes metodológicas. En nuestro caso, por ejemplo, uno de los objetivos es demostrar que la inversión en *I+D* hecha en centros públicos de investigación es capaz de generar rentabilidad para productores rurales. Pero calculamos eso desde el punto de vista de una institución pública, que no tiene como objetivo final producir *commodities*, pero si transferir innovaciones para que los productores rurales mejoren sus niveles de rentabilidad.

De ahí, el uso de la metodología de opciones reales, asociada a la metodología del excedente económico, y también por esta razón el cálculo de los costes, se realiza de una forma muy particular considerando, por ejemplo, una parte de la remuneración de los

investigadores que trabajaron en la generación de la metodología (una parte porque difícilmente un investigador dedica 100% de su tiempo a un único proyecto de investigación). Asimismo, cuando planteamos trabajar con escenarios, a nosotros nos pareció necesario utilizar simulaciones de Monte Carlo que disminuyesen el grado de subjetividad. Todos esos factores hacen este trabajo distinto a los encontrados en la literatura.

Alvarez-Echeverria, López-Sarabia y Venegas-Martinez (2012) utilizan la metodología de las *Opciones Reales* para evaluar la adopción de una tecnología del tipo *Wi-Fi*. Los modelos utilizados en el análisis han sido los de Vasicek (1977) y CIR (Cox *et al.*, 1985). Los autores discuten los resultados y los comparan con los encontrados con el uso de VAN y afirman que las opciones reales ayudan en el proceso de toma de decisiones por incorporar aspectos importantes como la flexibilidad. Además, el uso de la metodología de las *Opciones Reales* permitió verificar que el proyecto tendría la posibilidad de generar lucro mucho antes de lo que demostraron los resultados con el uso del VAN (a partir del 3º y 7º año, respectivamente).

Muñoz (2002) utilizó el enfoque de las *Opciones Reales* para evaluar proyectos en Tecnología de Información (TI) y concluyó que, cuando se utiliza esta teoría, la empresa obtiene ventajas y tiene una mayor posibilidad de aumentar su desempeño, ya que tendrá más posibilidad al analizar cada una de las opciones disponibles (seguir, crecer, salir del negocio, etc.). Sobrinho *et al.* (2005) aplicaron la Teoría de las *Opciones Reales* a un caso real de proyecto de *I+D* en la industria aeronáutica, demostrando que es una herramienta financiera adecuada para la gestión de proyectos y de actividades de investigación.

### 4.3. APLICACIÓN EMPÍRICA: MEJORA GENÉTICA DE UNA VARIEDAD DE TRIGO<sup>9</sup>.

Las actividades de *I+D* en mejora vegetal son imprevisibles, de largo plazo y con alto coste. La garantía de retorno a los esfuerzos invertidos es una de las cuestiones que afectan al mantenimiento de un elevado dinamismo tecnológico en este sector, en especial en el segmento de las variedades de semillas de trigo (Ignaczak, *et al.*, 2006).

Los centros de investigación normalmente realizan alguna evaluación *ex ante* para llevar a cabo un proyecto de *I+D*, normalmente el *VAN*. La experiencia de los investigadores expertos en el producto en evaluación es fundamental, ya que es necesario estimar costes y flujos de beneficios. Para generar las estimaciones de beneficios en centros públicos de investigación normalmente se utiliza la teoría del excedente económico.

Es posible elaborar escenarios e intentar clasificar las semillas que se pueden comercializar. Mascareñas (2005) clasifica los proyectos de inversión, de acuerdo con la rentabilidad que pueden proporcionar:

1. *Gran éxito*. Son proyectos con una gran rentabilidad pero, en promedio, la probabilidad de que aparezcan proyectos de este tipo suele ser muy baja.
2. *Éxito*. Proporcionan una rentabilidad superior a la normal para las semillas mejoradas genéticamente, pero sin llegar a los niveles del “gran éxito”.
3. *En la media*. Proporcionan una rentabilidad “normal”. La mayoría de las semillas se encuentran en este nivel.
4. *Fracaso*. Proporcionan una rentabilidad inferior a la normal.
5. *Gran fracaso*. Refleja un completo desastre, dónde la rentabilidad es mínima aunque, por suerte, la probabilidad media de que se produzca es bastante baja.

El desarrollo de una semilla mejorada genéticamente se realiza por medio de una serie de etapas. En la primera fase – *biotecnología* - se trabaja la parte genética de la investigación, algo como el descubrimiento de alguna propiedad que consiga que la semilla sea mejor que las demás en algún aspecto. Si los resultados de esta fase son

---

<sup>9</sup> A pesar de que en este trabajo se evalúa un proyecto hipotético, se utilizan datos reales de un proyecto de investigación de mejoramiento de una semilla de trigo. Naturalmente, sería necesario contextualizar la información, sobre todo para elaborar los escenarios de cuota de mercado y costes de producción. Así fue considerada la realidad brasileña a la hora de elegir el contexto de la evaluación del proyecto. Se justifica la elección de Brasil y de las innovaciones desarrolladas en el sector agrícola en razón de la importancia económica y social que tiene para el país el desarrollo de las actividades de este sector (el sector agrícola genera uno de cada tres unidades monetarias del *PIB* brasileño). Pero el buen desempeño de las exportaciones del sector y la creciente generación de puestos de trabajo en la cadena de suministro no puede atribuirse únicamente a la vocación agrícola de Brasil. El desarrollo científico y tecnológico, obtenido mediante la investigación y la expansión de la maquinaria y de las instalaciones, también sigue siendo fundamental para la obtención de los resultados positivos de la agricultura brasileña.

prometedores se empieza la siguiente fase: el *mejoramiento*. En esta fase se llega a la nueva semilla. En la fase de *pruebas* se ponen en marcha los ensayos de campo. Si los resultados en esta fase son aceptables, se pasa a la posterior y se empieza la multiplicación de semillas. En la fase de *multiplicación* no hay más ensayos y las semillas son reproducidas. Si, efectivamente, se decide el lanzamiento en el mercado (*comercialización*), aparece el esfuerzo final para producir semillas en una cantidad determinada.

#### 4.3.1. ESTIMACIÓN DE COSTES<sup>10</sup>

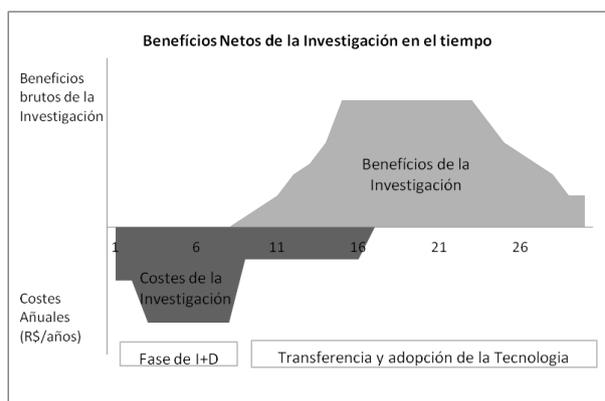
La ejecución del cálculo de los impactos de la *I+D*, como forma de establecer una base de información para cualquier toma de decisiones, requiere un núcleo de datos relacionados con los costes de la investigación y a las consecuencias de las innovaciones resultantes sobre la liberación, la asimilación, el desempeño y el mercado para cada variedad desarrollada.

En las evaluaciones de impactos de la *I+D* hay procedimientos que explican los procesos de adaptación de los análisis de coste-beneficio ya que hay, por ejemplo, grandes intervalos de tiempo entre la inversión inicial en investigación, la adopción de la tecnología y los flujos de beneficios (Alves, *et al.*, 2002). De entrada, ésta ya es una gran diferencia entre el análisis de costes de inversiones en *I+D* cuando se compara con los análisis de inversiones de otra naturaleza. La Figura 8 enseña esquemáticamente la adaptación de los flujos de costos y beneficios procedentes de una inversión con éxito en una variedad de planta.

Figura 8 - Costes y beneficios de la *I+D*

---

<sup>10</sup> La metodología utilizada para estimar tanto los costes como los beneficios está basada en el documento: *Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: Metodologia de Referência* (Avila *et al.* 2008)



Adaptado de Alston, *et al.* (1995)

En una primer fase, los flujos son negativos (es el intervalo de tiempo de la investigación – la parte biotecnológica y de mejoramiento), luego puede existir un nuevo retraso, envolviendo pruebas y multiplicación de semillas. Entonces, con la adopción de la tecnología el flujo de beneficios se vuelve positivo y, en la mayoría de los casos, este flujo va a declinar en la medida en que la tecnología se quede obsoleta y sea sustituida por otra. Eso modelo teórico refleja el modo de estimación de los costes de nuestra tecnología.

En primer lugar, consideramos el tiempo total dedicado al proyecto por el equipo de investigadores y técnicos, así como el número de personas que componen tal equipo. En el estudio de evaluación de impactos de un programa de mejoramiento de soja, desarrollado por Almeida *et al.* (1999) fue utilizado como base a la hora de considerar la composición del equipo y distribución del tiempo de los investigadores en el proyecto en evaluación en este trabajo.

En la estimación de los costes hemos tenido en cuenta, además de los gastos de personal, la depreciación del capital usado para generar tal tecnología. Fueron considerados también los gastos de administración del centro de investigación (costes fijos) y los de transferencia de tecnología. Estos últimos, en su mayor parte, realizados después de que el producto fuese lanzado y el proyecto concluido.

Los *Costes de Personal* se refieren a la remuneración anual bruta más otras cargas sociales del personal relacionadas con la generación y la transferencia de la tecnología. Los *Costes de Investigación* se refieren a los gastos anuales de generar la innovación (excepto personal), estimados con base en el presupuesto del proyecto. La *Depreciación de Capital* corresponde a la amortización anual de todos los bienes del centro de investigación, distribuida según la participación de la tecnología en el esfuerzo de investigación del centro. Los *Costes de Administración* representan una parcela de los costes fijos (costes indirectos) que son atribuidos a la tecnología. En ese ítem se incluyen:

el coste del personal de administración, los costes de los sectores de campos experimentales y la maquinaria agrícola, entre otros. Finalmente, los *Costes de Transferencia Tecnológica* son realizados por el centro de investigación para difundir y hacer viable la adopción de la tecnología bajo evaluación (cursos, seminarios, material con instrucciones). Asimismo están basados en los recursos necesarios para producir la cantidad de semillas necesarias para el lanzamiento del cultivo, en nuestro caso lo suficiente para plantar 4990 ha. La tabla 25 presenta un resumen de los costes y además indica los subtotales de los costes en las diferentes fases, lo que será muy útil más adelante en la evaluación del proyecto a partir del enfoque de las *Opciones Reales*.

Tabla 25 - Estimación de costes (en reais)

Año	Fases	Personal	Investigación	Depreciación	Gestión	Transferencia de la tecnología	Total
1	Biotecnología	96.412,30	16.934,11	20.399,07	5.599,98		139.345,46
2		97.858,48	17.018,78	21.419,02	5.765,67		142.061,96
3		99.326,36	17.103,87	22.489,97	5.939,08		144.859,29
Sub-Total		293.597	51.057	64.308	17.305		426
4	Mejoramiento	138.411,61	17.189,39	23.614,47	6.120,58		185.336,06
5		140.487,78	26.777,00	24.795,20	7.735,83		199.795,82
6		142.595,10	26.910,89	26.034,96	7.941,88		203.482,83
7		144.734,03	27.045,44	27.336,71	8.157,32		207.273,50
8		146.905,04	27.180,67	28.703,54	8.382,63		211.171,88
Sub-Total		713.134	125.103	130.485	38.338		1.007
9	Pruebas	130.412,30	27.316,57	30.138,72	8.618,29		196.485,89
10		140.116,00	27.453,15	31.645,65	8.864,82		208.079,63
Sub-Total							404.565,56
11	Multiplicación de semillas	5.840,10	27.590,42	33.227,94	9.122,75	104.219	180.000,22
12	Comercialización				8.293,41	292.000	300.293,41
13		-		-	2.675,29	2.727,27	5.402,57
14		0	0	0	2.432,09	2.479,34	4.911,42
15		0	0	0	2.210,99	2.253,94	4.464,93
16		0	0	0	2.009,99	2.049,04	4.059,03
17		0	0	0	1.827,26	1.862,76	3.690,03
18		0	0	0	1.661,15	1.693,42	3.354,57
19		0	0	0	1.510,13	1.539,47	3.049,61
20		0	0	0	1.372,85	1.399,52	2.772,37

Fuente: elaboración propia

### 4.3.2. FLUJO DE BENEFICIOS SOCIALES

El enfoque del excedente económico, método utilizado en nuestra estimación, permite estimar los beneficios económicos generados por la adopción de innovaciones tecnológicas frente a una situación en la que el suministro del producto se hacía mediante el uso de una de tecnología tradicional o sea, donde hubo un cambio técnico. Para calcular los excedentes económicos generados para la investigación agrícola de diversas formas, dependiendo de los supuestos de las curvas de oferta y demanda. Una explicación detallada (incluso con la formalización matemática) del método de cálculo utilizado puede ser encontrada en Avila (2008).

La tabla 26 presenta los Flujos de Beneficios, considerando todos los escenarios propuestos. Se han alterado, para reflejar los cinco escenarios, la variable: cuota de adopción máxima de la semilla en el mercado del primer al octavo año. La cuota inicial fue considerada la misma en todos los escenarios porque, según los investigadores consultados, para el lanzamiento son producidos un número preestablecido de semillas, o sea que las proyecciones son consideradas a partir del año siguiente del lanzamiento de la semilla.

Para la elaboración de los escenarios, inicialmente fue considerada el área plantada en Brasil en el año de 2008. Según el gobierno brasileño, 1 848 000 hectáreas permanecían con cultivos de trigo. La tasa de crecimiento anual de área plantada con trigo en el país fue calculada considerando la media del crecimiento anual de los últimos 20 años: 1.2% anual. Entonces, el área ha sido multiplicada por esta tasa para la serie de años considerados en el estudio (desde el año 13 hasta el 20) y sobre esta proyección fueron construidos los escenarios, es decir, por ejemplo, en el año 13 considerando el escenario gran éxito, tendríamos inicialmente 4 990 (0.27%) de hectáreas del área de trigo plantada en Brasil con nuestra tecnología en evaluación mientras que en el año 20, el área significaría 312 831 (16%) hectáreas.

A partir de este procedimiento, tenemos toda la parte de escenarios de área plantada con cultivos de trigo. El paso siguiente ha sido usar estas estimaciones en el cálculo de los beneficios con la metodología del excedente económico, que considera también elementos relacionados en el resumen de la demostración del método. La tabla 26 se presenta los resultados.

---

Tabla 26 - Flujo de beneficios sociales del proyecto considerando los escenarios pre-establecidos

Año	Grande Éxito	Éxito moderado	Regular	Fracaso	Fracaso Total
13	477.664	477.664	477.664	477.664	477.664
14	4.511.699	2.416.981	1.079.585	572.914	501.299
15	8.642.482	4.402.774	1.695.883	670.381	525.433
16	12.871.755	6.435.877	2.326.817	770.104	550.074
17	17.201.285	8.517.140	2.972.649	872.125	575.231
18	21.632.870	10.647.428	3.633.646	976.483	600.913
19	26.168.336	12.827.615	4.310.078	1.083.220	627.127
20	30.809.539	15.058.594	5.002.222	1.192.379	653.885
Total	122.315.631	60.784.077	21.498.547	6.615.274	4.511.631

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA VALORACIÓN DE UN PROYECTO DE SEMILLA MEJORADA GENÉTICAMENTE

La tabla 27 presenta la valoración del proyecto con el método *VAN* en evaluación considerando las estimaciones de costes, beneficios propuestos por los cinco escenarios - de gran éxito hasta fracaso total y una tasa de descuento de 12% que es la normalmente utilizada por centros públicos de investigación en agricultura en Brasil. El *VAN* del escenario regular es 1.919.444 *reais*, lo que de entrada podría indicar que el proyecto es rentable desde una perspectiva social, ya que este valor se refiere a los beneficios que la *I+D* puede transferir a la sociedad.

Sin embargo, para valorar un proyecto de mejora genética de una semilla de trigo, sería interesante considerar todas las fases del mismo hasta llegar al cultivo. Todas ellas se caracterizan por la necesidad de desembolsar una cantidad de dinero para su realización, por la ausencia total de ingresos durante las mismas y por el gran riesgo de cada una de ellas. La fase de comercialización es distinta a las anteriores porque es en esta cuando se empieza a recibir los flujos de caja esperados que sirven para validar el proyecto de inversión.

Tabla 27 - Valoración del proyecto con VAN, por escenarios

Año	Gran Éxito			Éxito Moderado			Regular			Fracaso			Fracaso Total		
	Flujo de Beneficios Sociales	Flujo de Costes	Flujo de Beneficios Sociales Netos	Flujo de Beneficios Sociales	Flujo de Costes	Flujo de Beneficios Sociales Netos	Flujo de Beneficios Sociales	Flujo de Costes	Flujo de Beneficios Sociales Netos	Flujo de Beneficios Sociales	Flujo de Costes	Flujo de Beneficios Sociales Netos	Flujo de Beneficios Sociales	Flujo de Costes	Flujo de Beneficios Sociales Netos
1	-	139.345	-139.345	-	139.345	-139.345	-	139.345	-139.345	-	139.345	-139.345	-	139.345	-139.345
2	-	142.062	-142.062	-	142.062	-142.062	-	142.062	-142.062	-	142.062	-142.062	-	142.062	-142.062
3	-	144.859	-144.859	-	144.859	-144.859	-	144.859	-144.859	-	144.859	-144.859	-	144.859	-144.859
4	-	185.336	-185.336	-	185.336	-185.336	-	185.336	-185.336	-	185.336	-185.336	-	185.336	-185.336
5	-	199.796	-199.796	-	199.796	-199.796	-	199.796	-199.796	-	199.796	-199.796	-	199.796	-199.796
6	-	203.483	-203.483	-	203.483	-203.483	-	203.483	-203.483	-	203.483	-203.483	-	203.483	-203.483
7	-	207.274	-207.274	-	207.274	-207.274	-	207.274	-207.274	-	207.274	-207.274	-	207.274	-207.274
8	-	211.172	-211.172	-	211.172	-211.172	-	211.172	-211.172	-	211.172	-211.172	-	211.172	-211.172
9	-	162.486	-162.486	-	162.486	-162.486	-	162.486	-162.486	-	162.486	-162.486	-	162.486	-162.486
10	-	165.822	-165.822	-	165.822	-165.822	-	165.822	-165.822	-	165.822	-165.822	-	165.822	-165.822
11	-	5.403	-5.403	-	5.403	-5.403	-	5.403	-5.403	-	5.403	-5.403	-	5.403	-5.403
12	-	4.911	-4.911	-	4.911	-4.911	-	4.911	-4.911	-	4.911	-4.911	-	4.911	-4.911
13	477.664	4.465	473.199	477.664	4.465	473.199	477.664	4.465	473.199	477.664	4.465	473.199	477.664	4.465	473.199
14	4.511.699	4.059	4.507.640	2.416.982	4.059	2.412.923	1.079.585	4.059	1.075.526	572.914	4.059	568.855	501.300	4.059	497.241
15	8.642.482	3.690	8.638.792	4.402.774	3.690	4.399.084	1.695.883	3.690	1.692.193	670.381	3.690	666.691	525.434	3.690	521.744
16	12.871.755	3.355	12.868.400	6.435.877	3.355	6.432.523	2.326.817	3.355	2.323.463	770.105	3.355	766.750	550.075	3.355	546.720
17	17.201.285	3.050	17.198.235	8.517.141	3.050	8.514.091	2.972.649	3.050	2.969.600	872.126	3.050	869.076	575.232	3.050	572.182
18	21.632.870	2.772	21.630.098	10.647.428	2.772	10.644.656	3.633.646	2.772	3.630.874	976.484	2.772	973.711	600.913	2.772	598.141
19	26.168.336	180.000	25.988.336	12.827.616	180.000	12.647.616	4.310.079	180.000	4.130.079	1.083.221	180.000	903.221	627.128	180.000	447.128
20	30.809.539	300.293	30.509.245	15.058.595	300.293	14.758.301	5.002.223	300.293	4.701.929	1.192.379	300.293	892.086	653.885	300.293	353.592
TIR		39%			32%			21%			12%			8%	
VAN		15.237.133			7.108.966			1.919.444			-46.600			-324.486	

#### 4.3.4. LAS FASES DEL PROYECTO CONTEMPLADAS COMO OPCIONES REALES

El primer paso es rescatar los cinco escenarios ya comentados para estimar las distintas posibilidades de rentabilidad que posee el proyecto. Para la elaboración de estos escenarios, fueron asignadas probabilidades considerando la experiencia de investigadores especialistas en el área<sup>11</sup>, y también tomando datos sobre su mercado potencial, competidores, gastos de *marketing* etc. De todas formas, es importante resaltar que siempre habrá algún grado de subjetividad en el análisis y, además, hay otros factores que se escapan al control del analista como, por ejemplo, la competencia que se espera encontrar en el periodo analizado. Con el objetivo de intentar disminuir el grado de subjetividad del análisis, hemos hecho una simulación de Monte Carlo a partir de los beneficios obtenidos en los escenarios propuestos.

Solo la variable beneficio fue simulada<sup>12</sup> (se supone que al simular esta variable todas las demás informaciones que la componen son también simuladas (Copeland y Antikarov, 2003). Para cada intervalo fueron generados 1000 valores pseudo-aleatorios, de forma que utilizamos la media de estos valores en el modelo<sup>13</sup>.

La tabla 28 ilustra cómo fue realizada la simulación. Fue considerado un valor nulo en el intervalo inicial porque, como estamos simulando beneficios, lo peor que puede ocurrir es que ninguna semilla sea utilizada – o sea, ningún beneficio social vaya a ser generado<sup>14</sup>. El resultado de la simulación se presenta en la columna  $Vb\mu$ , una media de los beneficios generados en la simulación.

---

<sup>11</sup> Para las estimaciones se contó con la colaboración de la investigadora Claudia de Mori, de Embrapa Trigo, un centro público de investigación brasileño que se dedica a la investigación en trigo.

<sup>12</sup> Los costes no fueron simulados porque, en la práctica, es una variable determinística y que además no depende de la cuota de mercado.

<sup>13</sup> La simulación con el método de Monte Carlo ha sido hecha en Excel. Hemos considerado una distribución uniforme entre  $a$  y  $b$ , donde  $a$ , sería el extremo inferior o el mínimo de cada intervalo y  $b$  el límite superior o el máximo del intervalo. En Excel eso es calculado por medio del siguiente comando:  $=a+(b-a)*ALEATORIO()$

<sup>14</sup> Es importante considerar que, al analizar solamente el variable flujo de beneficios, no existe la posibilidad de utilizar valores negativos por dos razones: aquí no son considerados los costes, y la simulación se refiere a la suma de los beneficios generados del año 13 hasta al 20 para cada escenario. Así que se puede considerar, aunque es poco probable, que en estos años considerados ninguna semilla de la variedad lanzada sea utilizada por los productores rurales. Los mismos datos de flujo de beneficios son utilizados en el tabla 27 en la que se puede observar que en los escenarios Fracaso Regular y Fracaso Total el VAN es negativo, pero en aquella situación son considerados los costes.

Tabla 28 - Intervalos de flujos de beneficios sociales del proyecto utilizados para la simulación de Monte Carlo

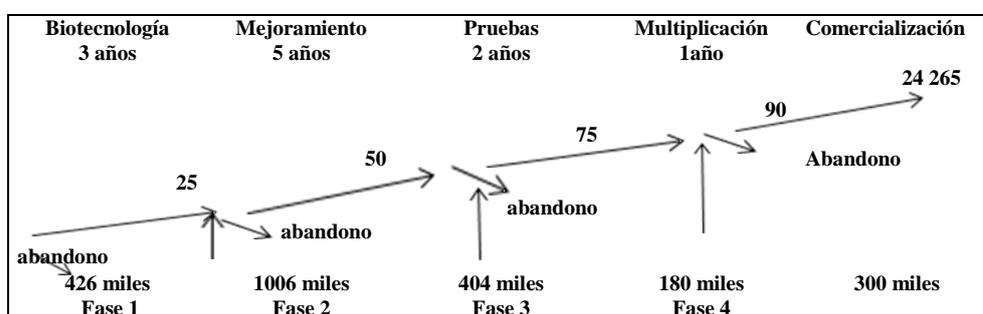
Escenarios	Intervalo	Vbμ	Probabilidad (%)	Vbμ x Probabilidad
Gran éxito	122.315.631 – 60.784.077	92.379.185	10	9.237.918,50
Éxito moderado	60.784.077 – 21.498.547	40.966.631	20	8.193.326,20
Regular	21.498.547 – 6.615.274	13.728.604	40	5.491.441,60
Fracaso	6.615.274 – 4.511.631	5.595.271	20	1.119.054,20
Fracaso Total	4.511.631 - 0	2.232.663	10	223.266,30
				24.265.006,80

Fuente: Elaboración propia

En esa tabla es posible también observar los resultados de los cinco escenarios junto a sus probabilidades asociadas. Para asignar probabilidades, se ha utilizado el conocimiento que tiene los investigadores consultados sobre el mercado del producto. En este caso se asume que la rentabilidad de un proyecto posee una distribución normal<sup>15</sup> de rendimientos (Mascareñas, 2005). Así, por un lado, vemos el valor de beneficios medio de los flujos de caja esperados (24.26 millones) y por otro, sabemos que el coste de lanzamiento de la tecnología es de 300 miles (Figura 9).

En la segunda fase de la valoración se incluyen las diversas fases por las que debe pasar el mejoramiento genético de una variedad de trigo hasta convertirse en una semilla comercializada, la probabilidad de pasar cada fase, y el dinero que es necesario invertir en cada una de ellas para continuar su desarrollo. La Figura 9 presenta el árbol de decisión para el proyecto analizado. Lo que se aprecia es una cadena de *Opciones Reales (opción real compuesta)*

Figura 9 - Árbol de Decisión del Proyecto



Fuente: elaboración propia

<sup>15</sup> En su modelo, Black-Scholes y Merton consideran una función de probabilidad acumulada de una distribución normal estándar. En este caso, se asume valores semejantes a dicha distribución.

Para empezar la fase de biotecnología, se estima que será necesario invertir 426 mil *reais*, su espacio temporal es de 3 años y se considera que hay un 25% de probabilidades de terminarla con éxito y pasar a la fase siguiente. La fase de mejoramiento cuesta 1,006 millones, siendo el tiempo medio de esta fase de 5 años y la probabilidad de éxito de un 50%. Si el proyecto sigue prometedor, se llegará a la fase de Pruebas, cuya duración se estima en unos dos años, lo que implica un coste de 404 mil reales, con una probabilidad de éxito de un 75%. Por último, si se supera esta última fase es posible comercializar la semilla, los costes implicados se estiman en 180 mil reales, la duración es de un año y la probabilidad de superar dicha fase es del 90%.

Las probabilidades de éxito respecto a cada una de las fases fueron obtenidas junto a investigadores en trigo así como las probabilidades medias de éxito de cada una de las fases del desarrollo de una semilla mejorada genéticamente.

Según Mascareñas (2005), este sistema de cálculo tiene en cuenta la posibilidad de detener el proceso, incluso cuando se ha superado una fase cualquiera. Por ejemplo, imagínese que al terminar con éxito la fase “Biotecnología” los directivos piensan que el producto, si llega a la fase de comercialización, va a ser un “fracaso total” y, por lo tanto, lo que procede es no seguir invirtiendo dinero. Esta lógica evitaría costes posteriores minimizando lo gastado hasta ese instante. Esta es la forma de pensar de la metodología de *Opciones Reales*, “*invertiremos dinero en una fase si el valor actual del proyecto al final de la misma es superior al coste de la siguiente fase*”.

La Figura 9 presenta las diversas fases que componen la elaboración de una variedad mejorada genéticamente. Lo que se aprecia es una cadena de *Opciones Reales* (*opción real compuesta*), donde el valor de cada una de ellas es función del valor de la posterior. El proceso de cálculo recursivo del valor actual medio de los flujos de caja del proyecto se realiza a partir de la teoría de valoración de opciones, aplicando el método binomial. En este caso hemos de calcular el único parámetro que no tenemos en nuestro árbol de decisión, la volatilidad.

#### **4.3.5. EL CÁLCULO DE LA VOLATILIDAD**

Para calcular el valor de una opción con el uso del método binomial, uno de los datos necesarios, entre otros, es la volatilidad del precio del activo subyacente. En lugar de buscar un activo en el mercado financiero, Copeland y Antikarov (2003), sugieren

que el Valor Actual de los flujos de caja del proyecto, sin flexibilidad (esto es, el VA tradicional) es la mejor estimación no tendenciosa del valor de mercado del proyecto, si este fuese un activo negociado. Con base en esa hipótesis, es posible evaluar *Opciones Reales* relativas a cualquier activo real, para lo cual sea posible estimar el VAN tradicional, sin flexibilidad.

Sin embargo, los parámetros necesarios para la evaluación de una opción real (variaciones en los precios de los productos, en los precios de los factores, en la demanda, etc) no pueden ser encontrados con la misma facilidad de informaciones obtenidas a partir del mercado financiero. Para estimar la distribución de probabilidad de los retornos del proyecto de inversión utilizamos nuevamente una Simulación de Montecarlo (Copeland y Antikarov, 2003).

La simulación de Montecarlo puede modelar las correlaciones cruzadas entre diversas variables, como precio y cantidad (Copeland y Antikarov, 2003). Es posible, de ese modo, estimar una medida consolidada de la volatilidad de un árbol de eventos considerando el valor del proyecto. El término consolidada es utilizado porque el resultado es una única estimación de volatilidad, generada a partir de las muchas incertidumbres que la componen (de precio, de coste o de cantidad). Se difiere, de esa forma, de la volatilidad histórica, obtenida a partir de una serie histórica, y de la volatilidad implícita, obtenida a partir del mercado financiero.

Para utilizar Simulaciones de Montecarlo en la proyección del flujo de caja operacional del proyecto de inversión, se define una franja aceptable de beneficios para el horizonte de tiempo del proyecto de inversión, adoptando los valores de los escenarios utilizados para estimar el flujo de beneficios medios en la primera fase de este trabajo. La diferencia en este caso fueron dos: (1) consideramos solamente los escenarios extremos gran éxito y fracaso total; (2) fueron generados números aleatorios de flujos de beneficios para cada año, observando los respectivos valores límites, establecidos por los escenarios gran éxito y fracaso total<sup>16</sup>. La tabla 29 presenta los valores estimados para el flujo de beneficios medio ( $FB\mu$ ) del proyecto.

---

<sup>16</sup> Este procedimiento es propuesto por Copeland y Antikarov (2003) y fue y aplicado en otros trabajos empíricos como, por ejemplo, en Meirelles y Rebelatto (2004).

Tabla 29 - Valores estimados para el flujo de beneficios medio ( $FB\mu$ )

Año	Flujo de Beneficios Sociales ( $FB\mu$ ) (1)	Flujo de Costes (2)	"Flujos de Beneficios Sociales Netos" (3)=(1)-(2)	Valor Actual del Beneficio Social Neto
1		139.345,46	- 139.345,46	- 124.415,59
2		142.061,96	- 142.061,96	- 113.250,93
3		144.859,29	- 144.859,29	- 103.107,98
4		185.336,06	- 185.336,06	- 117.784,42
5		199.795,82	- 199.795,82	- 113.369,51
6		203.482,83	- 203.482,83	- 103.090,73
7		207.273,50	- 07.273,50	- 93.760,00
8		211.171,88	- 211.171,88	- 85.288,78
9		162.485,89	- 162.485,89	- 58.594,04
10		165.822,12	- 165.822,12	- 53.390,28
11		5.402,57	- 5.402,57	- 1.553,11
12		4.911,42	- 4.911,42	- 1.260,64
13	473.199,46	4.464,93	468.734,52	107.421,85
14	2.451.835,26	4.059,03	2.447.776,23	500.863,51
15	4.412.606,32	3.690,03	4.408.916,30	805.492,52
16	6.631.327,65	3.354,57	6.627.973,08	1.081.165,98
17	9.085.350,20	3.049,61	9.082.300,59	1.322.785,68
18	11.142.267,58	2.772,37	11.139.495,21	1.448.575,39
19	13.960.411,62	180.000,22	13.780.411,41	1.599.999,15
20	15.373.743,11	300.293,41	15.073.449,69	1.562.615,77
	Total			7.460.053,85
	Desviación.Típica			658.789,25
	Volatilidad			0,088308914

Fuente: elaboración propia

Cada generación de la serie de números aleatorios significa un escenario posible. Ese proceso de generación de datos es repetido cuantas veces sean necesarias. Cuánto mayor el número de repeticiones, más debe aproximarse a una distribución normal la distribución de frecuencia de los resultados. A esa distribución se le puede aplicar la medida de concentración estadística promedio y la medida de dispersión desviación típica (Correia Neto *et al.*, 2002).

El VAN del proyecto de inversión fue de R\$ 7 460 053.85. La tasa de descuento utilizada fue de 12% anual (tipo de descuento real). Para estimar el riesgo del proyecto de inversión (y, entonces, obtener la volatilidad consolidada) tras el cálculo del VAN fue necesario obtener la desviación típica de este VAN. La desviación típica del VAN del proyecto de inversión fue de R\$658 789.25. Lo que representa un coeficiente de variación (CV) del Valor Actual del proyecto de inversión de 8.83%, a cada año. Ese valor es considerado la volatilidad del VA del proyecto de inversión.

#### 4.3.6. CÁLCULO DEL VALOR DE LAS OPCIONES REALES

La fase 4 implica un coste inicial de 180 miles de *reais*. Interesa saber cuál es el valor actual del proyecto al comienzo de la fase. Aparte del precio de ejercicio, es posible saber el valor actual del activo subyacente<sup>17</sup>, el periodo de la fase (un año) y el tipo de interés sin riesgo (4% anual). Para calcular el valor de la volatilidad, consideramos la probabilidad consolidada para todo el proyecto, que es de 8.83%. Con los valores de las cinco variables es posible aplicar el modelo binomial<sup>18</sup>.

También se calcula el árbol de forma recurrente desde atrás hacia delante para obtener el valor de la opción (tablas 30 y 31). Éste resulta ser de 22.28 millones de *reais*<sup>19</sup> y para desarrollar dicha fase hace falta desembolsar 180 miles de *reais*. Por tanto, el VAN medio, en ese instante, es positivo lo que implica que la fase 4 se llevará a cabo. En el anexo están, de forma más detallada, los cálculos y los respectivos árboles binomiales de las otras fases.

---

<sup>17</sup> Actualizando los 24.26 millones del final de la fase al comienzo de la misma:  $24.26 / 1.12 = 21.66$  millones). Los costes también son actualizados con la misma tasa.

<sup>18</sup> De acuerdo con Mascareñas (2005), un binomial de veinte subperiodos ya es suficiente en evaluaciones de esta naturaleza. Es necesario recalcular las variables para adaptarlas a un periodo equivalente a un veinteavo anual. Así, la volatilidad de dicho subperiodo es igual a 8.83% por la raíz cuadrada de 1/20. El tipo de interés sin riesgo del subperiodo en su forma continua es igual a  $e^{0.04/20} - 1 = 0.002 = 0.2\%$ . Los coeficientes de crecimiento y decrecimiento del árbol binomial son, respectivamente:  $U = e^{0.0883} = 1.09$  y  $D = 1/1.09 = 0.91$

<sup>19</sup> El método de cálculo consiste en detraer el coste de lanzamiento y después multiplicar los dos valores siguientes por la probabilidad de ascenso  $p = (1.002 - D)/(U - D) = 38.2\%$  y por la de descenso  $(1 - p)$  y el resultado se actualiza al tipo sin riesgo del sub-periodo es de 0.2%.

Tabla 30 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase multiplicación (valores en miles de reais)

21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908	47962	52390	57226	62509	68279	74583	81468	88988	97203	106177	115979	126685
	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908	47962	52390	57226	62509	68279	74583	81468	88988	97203	106177
		18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908	47962	52390	57226	62509	68279	74583	81468	88988
			16623	18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908	47962	52390	57226	62509	68279	74583
				15218	16623	18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908	47962	52390	57226	62509
					13932	15218	16623	18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908	47962	52390
						12755	13932	15218	16623	18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800	40198	43908
							7780	12755	13932	15218	16623	18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843	33690	36800
								7123	11677	12755	13932	15218	16623	18158	19834	21665	23665	25850	28236	30843
									6521	10690	11677	12755	13932	15218	16623	18158	19834	21665	23665	25850
										3978	9787	10690	11677	12755	13932	15218	16623	18158	19834	21665
											3642	8959	9787	10690	11677	12755	13932	15218	16623	18158
												3334	8202	8959	9787	10690	11677	12755	13932	15218
													3052	7509	8202	8959	9787	10690	11677	12755
														2794	6874	7509	8202	8959	9787	10690
															2558	6293	6874	7509	8202	8959
																2342	5762	6293	6874	7509
																	2144	5275	5762	6293
																		1963	4829	5275
																			1797	4421
																				1645

Fuente: elaboración propia

Tabla 31- Árbol binomial de la fase cultivo calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de reais)

126418	115943	106334	97520	89435	82018	75214	68973	63248	57996	53179	48760	44706	40987	37576	34447	31577	28944	26529	24313	22281
105909	97130	89077	81690	74913	68697	62995	57764	52966	48564	44527	40823	37425	34309	31450	28827	26422	24215	22191	20334	
88721	81363	74613	68422	62742	57533	52753	48370	44348	40659	37275	34171	31323	28711	26315	24117	22101	20252	18555		
74315	68148	62491	57302	52542	48176	44170	40496	37125	34034	31197	28596	26209	24020	22012	20170	18480	16930			
62241	57072	52331	47982	43993	40333	36976	33897	31072	28481	26104	23923	21923	20088	18405	16861	15445				
52122	47790	43816	40171	36828	33761	30947	28366	25999	23827	21835	20007	18331	16793	15382	14088					
43641	40010	36680	33625	30823	28252	25894	23731	21746	19926	18256	16725	15320	14031	12849						
36532	33490	30699	28138	25789	23635	21659	19846	18183	16657	15258	13974	12796	11716							
30575	28025	25686	23540	21571	19765	18109	16590	15196	13917	12744	11668	10681								
25582	23445	21484	19686	18036	16522	15134	13861	12692	11621	10638	9735									
21397	19606	17963	16455	15073	13804	12641	11573	10594	9696	8870										
17890	16389	15011	13748	12589	11526	10551	9657	8836	8078											
14951	13692	12538	11479	10508	9617	8800	8050	7353												
12487	11432	10465	9578	8763	8017	7332	6685													
10422	9538	8727	7984	7301	6676	6065														
8692	7951	7271	6648	6076	5480															
7241	6620	6051	5528	4909																
6026	5505	5028	4316																	
5007	4571	3633																		
4153	2735																			
1377																				

Fuente: elaboración propia

El valor de la opción en la fase *Pruebas* es de 18.68 millones, superior a lo valor necesario para realizarla. En la fase *Biología* el valor de la opción es 9,4 millones mientras sería necesario cerca de 716 miles para llevarla a cabo. De esta misma forma, son calculados todos los demás parámetros y el valor de la opción en cada una de fases del proyecto. Los resultados se presentan en la tabla 32. En el anexo están, de forma más detallada, los cálculos y los respectivos árboles binomiales de las otras fases.

Tabla 32 - Parámetros utilizados en los arboles binomiales, por fase

Parámetros/Fases	Multiplicación	Pruebas	Mejoramiento	Biología
Precio del ejercicio*	267.86	143.49	229.24	716.05
Tiempo (en años)	1	2	5	3
Valor actual del activo subyacente*	24 265	17 761	10 604	9 046
Coefficiente de crecimiento $U$	1.09	1.133	1.22	1.17
Coefficiente de decrecimiento $D$	0.915	0.883	0.82	0.86
Probabilidad de ascenso $P$	0.510	0.485	0.476	0.481
Probabilidad de descenso ( $1-P$ )	0.489	0.515	0.524	0.519
Valor de la opción*	22.280	18.687	12.709	9.480

\* en miles de *reais*

Fuente: elaboración propia

Finalmente, es posible hacer una comparación respecto a la valoración de este proyecto considerando las teorías y métodos utilizados. La tabla 33 presenta los resultados obtenidos en cada uno de ellos. El valor 9 054 175.62 *reais* se refiere al valor de la opción menos el valor del coste de realización de la fase *Biología*, R\$ 426 miles de *reais* (Figura 9).

Tabla 33 - Resultado final – métodos de valoración

Valoración del proyecto según diferentes métodos	
VAN	1.919.444,17
Opciones Reales	9.054.175,62

Fuente: elaboración propia

Al comparar los resultados obtenidos con el método de *Opciones Reales* y los métodos tradicionales fue posible comprobar que el valor estimado por el método de *Opciones Reales* fue cerca de cuatro veces superior al valor estimado por medio del VAN. Estos resultados son compatibles con otros encontrados en la literatura. Thomas et al (2008), comparando evaluaciones de proyectos de instituciones públicas chilenas, utilizando los mismos métodos, llegó a resultados semejantes: el método de las *Opciones Reales* revelaba valores entre un 25 y un 500% superiores que los mismos proyectos evaluados por el VAN, dependiendo del proyecto en estudio. Por ello, se

pudo concluir que el enfoque de *Opciones Reales* resulta una alternativa viable y útil para las instituciones públicas.

Santos y Pamplona (2003), al evaluar un proyecto de *I+D* de un sistema de control de acceso de los subscriptores de una red de TV con cable, usando el modelo de Geske y también el *VAN*, llegaron a la conclusión de que el valor del proyecto con el modelo es cerca de 92% mayor del que aquel obtenido por el método tradicional (*VAN*). Da Silva, *et al.* (2004) aplicaron la teoría de las opciones reales (en sus vertientes del modelo de Black y Scholes y también del modelo binomial) en la evaluación de un producto para internet en tecnología ASP (*Application Service Providers*) y compararon los valores con los resultados obtenidos con el uso del Valor Actual Neto. Los autores enseñan que a pesar del resultado con el *VAN* se revela negativo en el inicio, al incorporar algunas opciones incluidas en el proyecto, el mismo se hizo viable.

La utilización de las Opciones Reales ha aportado una mayor comprensión en la formulación y articulación de las decisiones sobre la conveniencia o no de acometer un proyecto de inversión. Un punto positivo es que la mayoría de los proyectos de inversión en *I+D* son complejos. Este enfoque ayuda a simplificar dicho problema haciéndolo más comprensible y posibilitando su resolución analítica. Según Mascareñas (2005), la mayoría de los problemas con opciones reales pueden ser descompuestos en una o varias opciones de compra simples y en muchos casos, la resolución de una pequeña serie de incertidumbres determinarán el resultado y podremos tomar alguna decisión sin conocer el proyecto en su totalidad. Y en nuestro caso eso ha sido observado cuando dividimos el proyecto en fases para analizarlo.

La simplificación es esencial si se quiere realizar un análisis que resulte de alguna utilidad. Por otra parte, alguna sofisticación es importante a la hora de interpretar los resultados lo que implica la realización de algún análisis de sensibilidad y la calificación de las inferencias. Así, por ejemplo, cuando tenemos que valorar un proyecto complicado lo simplificamos lo suficiente como para verlo como una opción de compra europea y lo valoramos a través de las cinco variables clásicas; posteriormente, le volveremos a añadir algo de complejidad de cara a realizar un análisis de sensibilidad, lo que nos ayudará a comprender cuáles son las principales variables que gobiernan su comportamiento. En nuestro caso, los resultados indicaron que la valoración de proyectos por medio de la metodología de *Opciones Reales* suministra información relevante que puede ayudar a un centro público de investigación a decidir por la inversión en el mejoramiento genético de una variedad de trigo.

#### 4.4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Los modelos de *Opciones Reales* están basados en una sólida teoría financiera y, a la vez, han sido bien recibidos por los profesionales y académicos como una eficiente manera de considerar en la evaluación de proyectos elementos tales como la flexibilidad y la incertidumbre.

A pesar de que grado de complejidad técnica del análisis del proyecto pueda aumentar de forma considerable, se puede considerar que ésta puede ser una buena línea de investigación para la evaluación de impactos de organizaciones públicas de investigación porque revela información más precisa y detallada acerca de la evaluación de proyectos.

Una de las grandes ventajas de las Opciones Reales ha sido incorporar todos los escenarios en el análisis aparte de volver la propia decisión de invertir en el proyecto mucho más rica a la medida en que se puede trabajar con las opciones y en las diversas fases del proyecto, ya que ha sido posible incorporar en el análisis las probabilidades de éxito y los costes de cada una de las fases del proyecto, así como fue incorporado en el análisis el gasto temporal en las respectivas fases

Los resultados indican qué proyectos de *I+D* pueden ser muy rentables e informaciones de esta naturaleza son particularmente útiles para organizaciones públicas de investigación. Fue posible incorporar en el análisis las probabilidades de éxito y los costes de cada una de las fases del proyecto, así como fue incorporado en el análisis el gasto temporal en las respectivas fases. Otro aspecto importante se refiere a la incorporación de los escenarios en los cálculos. En este sentido, el uso de las simulaciones de Monte Carlo fue fundamental para reducir la subjetividad de las estimaciones de beneficios socioeconómicos. En definitiva, con el uso de la metodología de *Opciones Reales* fue posible comprobar que el proyecto de *I+D* de mejoramiento de variedades de trigo es más rentable desde un punto de vista social de lo que revela la evaluación del mismo considerando otros métodos, como el VAN, por ejemplo.

El trabajo evaluó un proyecto de mejora genética de una variedad de trigo así que los resultados encontrados son específicos para este contexto, o sea, que una limitación de este trabajo de investigación se refiere a la imposibilidad de generalizar

los resultados para cualquier proyecto de *I+D*. Sin embargo, el conjunto metodológico utilizado puede ser utilizado para evaluar proyectos de *I+D* de otras innovaciones relacionadas al uso de biotecnología.

Por tal y como quedó mencionado en Perlitz, Peske y Schrank (1999), existe, en el contexto de la teoría de las *Opciones Reales*, la necesidad de disponer de un proceso de estandarización de los modelos ya existentes. En consecuencia, deberán ser elaborados trabajos empíricos adicionales para garantizar su aplicabilidad práctica. Como futura extensión de este trabajo, se podría plantear el cálculo de otras posibilidades en el análisis *ex ante* de proyectos de *I+D*, como por ejemplo, investigar lo que pasaría al proyecto frente a la reducción o ampliación de recursos y costes.

## CONCLUSIONES GENERALES

La evaluación de impactos consiste en estimar los efectos generados en los resultados de una innovación tecnológica. El resultado es la consecución de los objetivos previstos inicialmente en una política, programa o proyecto. Por lo tanto, el impacto es el efecto del resultado. La evaluación de impactos permite que se observe el alcance de los trabajos más allá del momento de su inicio y de sus primeras aplicaciones e implicaciones. Lo que hizo este trabajo fue analizar 10 años de efectos de resultados de innovaciones para una muestra de tecnologías.

Resulta que con el creciente énfasis en la evaluación de las inversiones en la *I+D* y la necesidad de medir a sus resultados ya no es aceptable para los gobiernos y para los organismos oficiales de desarrollo (inversores de organizaciones públicas de investigación), que, como resultado, se informe simplemente cómo se ha invertido el dinero o qué productos han sido producidos.

Así, las razones para la elaboración de estudios de evaluación de impactos comienzan a ganar nuevos elementos en diversas áreas del conocimiento y de la economía en general. El debate creado sobre el tema en muchas esferas y con varios propósitos es una respuesta a contestaciones que se refieren a acciones de intervención en las organizaciones, a la rendición de cuentas y al cambio de políticas públicas.

En ese contexto, la evaluación de los impactos de la *I+D* ha evolucionado bastante permitiendo que sus beneficios socio-económicos y la generación de intangibles tenga cada vez más importancia. Así, estudios de evaluación de *I+D* son vistos como instrumento de aprendizaje, planificación y gestión de esas actividades, de orientación de los caminos seguidos o a continuación (y la corrección de rumbos), así como de la rendición de cuentas para gobierno y aún para la sociedad en general.

Los métodos de evaluación de impacto, en general, tienen por objetivo verificar si determinado conjunto de acciones ha producido los efectos deseados en la sociedad y si estos son atribuibles a la acción del objeto de evaluación. Internalizar ese proceso no es tarea fácil, ni para empresas, ni para organismos gubernamentales, o cualquier tipo de organización.

De hecho, es cierto que la evaluación de impactos de innovaciones es algo muy buscado por inversores de la *I+D*, pero no se aplica bien de la misma manera a todos los casos. Esta tesis doctoral, con el hecho que haber realizado un estudio sistematizado de estos impactos, crea la posibilidad de, a partir de sus resultados, corregir rutas de políticas, programas y proyectos.

Por cierto, esta tesis doctoral, de la misma manera que ocurre con investigaciones de esta naturaleza, ha dejado además de respuestas, que serán muy útiles a centros públicos de investigación, nuevas preguntas o futuras líneas de investigación. Asimismo han permanecido algunos huecos o limitaciones, cuestiones que a pesar del instrumental estadístico con elevado poder analítico no ha sido posible contestar en esa investigación.

Considerando que las conclusiones técnicas de las investigaciones empíricas de esa tesis están en los respectivos capítulos, de forma muy breve, vale la pena mencionar las principales aportaciones, limitaciones y futuras líneas de investigación de esas respectivas investigaciones.

### ***Revisión Sistemática de Evaluaciones de Impacto Socio-Económico***

La primera investigación empírica buscó verificar las relaciones entre los impactos económicos y sociales por medio de un estudio sistemático. Estudios de evaluaciones de impactos, sobre todo los que consideran la dimensión económica, se realizan desde hace ya algunas décadas.

Los estudios de evaluación de impactos sociales son más recientes, pero aun así es posible encontrar muchos registros en la literatura, de forma que las organizaciones se esfuerzan por tenerlos en cuenta y los consideran con asiduidad. Sin embargo, en la mayoría de los casos son realizados en una solo dimensión, y muy difícilmente se cruzan las informaciones. Es decir, es común que sean analizados de forma desagregada.

Los datos utilizados en esa investigación, por ejemplo, son resultado de 10 años de estudios desagregados de evaluación de impactos económicos, sociales y medio ambientales de investigación agrícola. Los centros de investigación de Embrapa, cuyos

impactos fueron utilizados en ese estudio de casos, tienen una experiencia de más 30 años de evaluación de impactos considerando la dimensión económica.

Considerar las dimensiones de forma desagregada posee la gran ventaja de la visualización, pues siempre resultará muy útil decir que la inversión en una innovación transfirió para los productores una determinada renta, que no existiría sin el concurso de la tecnología empleada, o que con esa innovación han sido creados nuevos puestos de trabajo. Efectivamente, datos desagregados son más adecuados para transmitir la información al público, sea al gestor o a la sociedad.

Pero desde el punto de vista institucional de la empresa pública, del investigador que genera la tecnología, del gestor que necesita decidir dónde invertir los escasos recursos para la *I+D*, sobre todo en países en desarrollo, más información significa elementos adicionales para juzgar y, en el fondo toda evaluación, se trata de un proceso de rendimiento de cuentas.

Por esta razón en esa investigación se optó por realizar estudios agregados de evaluación de impactos socioeconómico, para verificar si de esa forma sería posible contestar las preguntas de investigación significativas para el desarrollo de los centros públicos de investigación. Analizando estas dimensiones de forma conjunta, ha sido posible conocer más sobre las innovaciones tecnológicas, de forma que los resultados del estudio serán incorporados como *input* en proyectos de *I+D* y en el desarrollo institucional.

La principal limitación de esa parte de la tesis ha sido la de no incorporar la dimensión medio ambiental en el análisis, pero entendiendo que esa pueda ser una futura línea de investigación. Incorporar la dimensión ambiental en la tesis ampliaría la complejidad de esa investigación más allá de unos límites razonables, por lo que planteamos que eso podría ser abordado en un estudio posterior.

De los análisis empíricos ha sido posible verificar que las tecnologías con elevada área de adopción tienden a presentar un Índice de Impacto Social también elevado. Así como tecnologías que presentan elevados impactos económicos y del punto de vista de la generación de empleos tienden a ser evaluadas un número mayor de veces.

Encontramos una correlación positiva entre las variables beneficios económicos y sociales, lo que corrobora lo ya indicado por la literatura sobre el tema. Utilizando técnicas más sofisticadas, como datos en panel dinámico, se descubrió que el beneficio económico de un determinado año es afectado por los resultados del año anterior y que

las variables relacionadas con los aspectos sociales y de generación de empleos, así como el área de adopción de las innovaciones, son consideradas significativas en el modelo.

Se verificó, además, en lo que se refiere a los beneficios económicos que los diferentes tipos de centro presentan medias distintas en relación a este indicador. La implicación de este hallazgo es que las diferencias, en este caso, son importantes para la gestión de estos centros en cuanto, por ejemplo, a la elaboración de políticas específicas para su mejor desarrollo, además contribuir para el perfeccionamiento de las metodologías de evaluación de impactos.

### ***Estudio Exploratorio de Impactos Intangibles***

La segunda investigación empírica se dedica al estudio de los impactos intangibles generados por la *I+D* en centros públicos. Como ya se ha comentado, el conocimiento es el primer producto o resultado de un proyecto de investigación, generado incluso antes de que se llegue a la innovación tecnológica y a su respectiva incorporación en el mercado.

En ese sentido, hay un aspecto poco comentado pero muy útil. Durante la revisión de literatura para realizar la revisión sistemática, en el primer estudio empírico de esa tesis ha sido posible verificar que la cuestión de la generación del conocimiento es, en definitiva, trabajada de una forma controvertida. Por ejemplo, cuando los resultados de un proyecto de *I+D* no son satisfactorios, resultaron negativos o no se encontraron diferencias, normalmente esta información no queda registrada y muchas veces no llega a ser asimilada en las organizaciones. Para las revisiones sistemáticas, ese sería un sesgo además de un punto débil para llevar a cabo estudios de esa naturaleza.

Pero desde el punto de vista de las organizaciones, eso parece aún más grave a medida que se pierde un conocimiento precioso que, en caso de estar bien documentado, podría ser útil para diseñar futuros proyectos de *I+D*. Aquí ya se observa una posible línea de investigación que sería estudiar cómo se realiza la generación de conocimiento en centros públicos de investigación. Eso es un problema real, que una vez resuelto posibilitaría la gestión de activos intangibles, como por ejemplo el conocimiento en centros de investigación básica.

La principal limitación de esa tesis doctoral se encuentra justamente en esa parte, debido a que no ha sido posible proponer acciones en el sentido de orientar cómo podría ser la gestión de intangibles en los centros de investigación. Parte de esa limitación viene del hecho de que en esta tesis realizamos un estudio exploratorio, o sea que serían necesarias investigaciones más profundas, que la autora pretende llevar a cabo como futura línea de trabajo.

Este es un campo de estudio en plena expansión, en lo que se refiere a los estudios de impacto de los intangibles ya existe literatura teórica, pero aún hay un vacío en términos de trabajos empíricos que necesita ser cubierto.

De todas formas, los resultados de esa parte de la tesis representan un primer paso en ese sentido, y serán incorporados en la organización que sirvió la información para el estudio de los casos analizados. Como continuación de este trabajo, ya empiezan otros proyectos en la institución para el estudio de impactos intangibles, y todos con el propósito de ayudar a resolver un problema real en las organizaciones públicas de *I+D*.

En relación con los resultados de los análisis de evaluación de impactos intangibles, se encontró que dos terceras partes de los indicadores utilizados por Embrapa para evaluar impactos de esta naturaleza también caracterizan los tipos específicos de centros. Es una práctica común a todos los tipos de centros compartir el conocimiento generado, la captación de recursos y la mejora en la imagen de la institución, como uno de los impactos de las innovaciones tecnológicas evaluadas en la muestra. Se concluye que, para sacar provecho de los intangibles generados, es necesario que se invierta en ellos y los use continuamente.

Los resultados indicaron que es posible separar a los intangibles en tres fases. La primera, *intercambio de conocimiento*, se refiere a la capacidad de la empresa de intercambiar el conocimiento generado internamente. La segunda fase, *la aplicación del conocimiento*, enseña la capacidad de promover cambios organizativos internos y también los que tienen que ver con la orientación de políticas públicas. Y, finalmente, la tercera fase, *resultados de la generación del conocimiento*, representa a los impactos más directos de la generación de intangibles, los que hacen referencia a la capacidad de apropiar los resultados sea por medio de patentes, divulgación de artículos científicos o tesis.

Como futura línea de investigación, se sugiere que esos análisis, realizados aquí por tipos de centro, sean desarrollados al nivel de centro de investigación o agrupados de acuerdo con el tipo de innovación generada (pecuaria, agrícola, *software*,

equipamientos etc). Sería interesante, además, considerar el ciclo de vida de los productos para verificar si hay aparecen diferencias y, llegado el caso, intentar explicarlas.

### ***Evaluación ex- ante de impactos con Opciones Reales***

En cuanto a la última parte de este trabajo, destacamos el uso de método de las *Opciones Reales* para evaluar proyectos de *I+D*. Al comparar el uso del método de *Opciones Reales* y con el de un método tradicional, el *VAN*, fue posible comprobar que la utilización de las *Opciones Reales* ha aportado una mayor comprensión en la formulación y articulación de las decisiones sobre la conveniencia de llevar a cabo un proyecto de inversión. La mayoría de los proyectos de inversión en *I+D* son complejos y las *Opciones Reales* ayudan a simplificar dicho problema, haciéndolo más comprensible y posibilitando su resolución analítica.

Los modelos de *Opciones Reales* están basados en una consistente teoría financiera y, a la vez, han sido apuntados en la literatura como una eficaz forma de considerar en la evaluación de proyectos elementos tales como la flexibilidad y la incertidumbre. Es verdad que, a pesar de ayudar en el análisis de un proyecto de *I+D* dividiéndolo en partes, la complejidad técnica de los cálculos del proyecto puede aumentar de forma importante, lo que podría ser una limitación para el uso del método. Pero esta puede ser una alternativa considerable para la evaluación de impactos potenciales de proyectos llevados a cabo por organizaciones públicas de investigación porque revela información más precisa y detallada acerca de la evaluación de proyectos.

En ese sentido la investigación produjo cuestionamientos importantes, como por ejemplo, la forma en que es trabajada la ejecución de presupuesto de los proyectos. Normalmente, los proyectos tienen una cantidad fija de tiempo y recursos financieros para ser concluidos. Pero el uso del método de las opciones reales ha demostrado que la oportunidad de proponerse una pausa para evaluar el mercado y las condiciones del proyecto puede ser muy valiosa.

Desde el punto de vista de las organizaciones, por tanto, el método ofrece a los inversores la posibilidad de dar a los ejecutores de los proyectos la oportunidad de

valorar todas las opciones posibles en un proyecto, incluso la de interrumpir su desarrollo.

El uso de una metodología como esta, un poco más sofisticada, permite verificar que los proyectos de *I+D* pueden ser muy rentables e informaciones de esta naturaleza son particularmente útiles para organizaciones públicas de investigación. En nuestra investigación incorporamos escenarios en los cálculos. Para reducir la subjetividad de las estimaciones de beneficios socioeconómicos, sugerimos el uso de las simulaciones de Monte Carlo. El trabajo evaluó un proyecto de mejora genética de una variedad de trigo, pero la metodología puede ser utilizada para evaluar proyectos de *I+D* de otras innovaciones relacionadas con el uso de biotecnología.

### ***Implicaciones de la tesis doctoral***

Hay elementos para creer que, elaborada de forma adecuada, la evaluación de impactos puede proporcionar mejoras de la eficiencia y efectividad de programas, contribuir para la formulación de políticas, fortalecer la planificación presupuestaria y la gestión financiera de proyectos y promover una racionalidad rigurosa y transparente para la continuidad o discontinuidad de un programa. Eso sí, además de la evaluación, los resultados de estos análisis deberán ser adecuadamente gestionados.

Los hallazgos de esta tesis doctoral pueden ser de ayuda a los investigadores, gestores y formuladores de políticas para evitar la inversión en investigaciones que no están logrando sus objetivos y evitar la eliminación de investigaciones que están o potencialmente podrían lograr sus objetivos. Asimismo, ayuda a asegurar que los beneficios lleguen a todos los sectores de la población y proporcionar una herramienta de decisión para la selección de la mejor forma de invertir los recursos destinado al desarrollo.

A nivel académico, una implicación importante es la publicación de trabajos científicos, productos de la investigación doctoral. En este sentido, cabe resaltar que la buena aceptación de los resultados de esta tesis en congresos y revistas académicas ya es un indicador de que las investigaciones empíricas son muy prometedoras en ese sentido. De todas maneras, la revisión de literatura había apuntado que la investigación respecto a la evaluación de impactos de innovaciones tecnológicas,

sobre todo en lo que se refiere al estudio de los intangibles, era un tema poco estudiado, con oportunidades de avance, principalmente con trabajos empíricos.

Pero, quizá, la principal implicación a nivel académico sea la identificación de nuevas preguntas de investigación. El proyecto de esta tesis planteaba investigar y probar métodos y técnicas de investigación diferentes de los que normalmente se usan en evaluaciones de impacto. Una vez logrado este objetivo, será posible plantear nuevas investigaciones o incluso profundizar en los resultados de esta tesis.

A nivel directivo, sobre todo para los 47 centros de investigación de Embrapa, los resultados de esa tesis doctoral tienen aplicación directa e inmediata. El conocimiento generado respecto a la identificación de las diferencias de impactos entre los centros, sobre todo para los centros de investigación básica, será utilizado para planear acciones para los centros. De igual forma, la metodología de las Opciones Reales será aplicada en la evaluación de impactos *ex ante* de proyectos de *I+D*. De esa forma, se espera que sea considerada una herramienta complementaria en la elección entre diferentes proyectos de *I+D*, o con el objetivo de que los investigadores estén preparados para los cambios que puedan ocurrir en el desarrollo del proyecto.

Las metodologías probadas podrán servir como complemento para evaluar innovaciones específicas, además de la posibilidad de uso en futuras estudios ya que el desarrollo de herramientas adecuadas para la rendición de cuentas sigue siendo un reto para centros y empresas públicas de investigación.

Para los profesionales de centros de investigación y empresas públicas, la implicación puede ser una mejora en la gestión de las políticas de *I+D*. En conclusión, creemos que los resultados de la tesis tienen una importante aplicación práctica y, desde el punto de vista de los agentes políticos, los resultados en términos de evaluación de tecnologías pueden ser útiles para direccionar inversiones en centros públicos de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrosoft Brasil (2007). Lula: Embrapa revolucionou agricultura brasileira. Disponible en [www.agrosoft.org.br/agropag/26463.htm](http://www.agrosoft.org.br/agropag/26463.htm)
- Almeida, F. A., Wetzel, C.T., Avila. A.F.D. (1999). *Impacto das cultivares de soja da Embrapa e Rentabilidade dos rendimentos em melhoramento*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 54p.
- Alston, J. M., Norton, G. W. y Pardey, P. G. (1995). *Science under scarcity: principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Ithaca, New York: Cornell University Press. 585p.
- Alston, J., Kang, C., Marra, M., Pardey, P. y Wyatt, J. (2000). *Meta-analysis of rates of return to agricultural R&D: Ex Pede Herculem?* Washington: IFPRI Research Report 113. 148 p.
- Alvarez-Echeverria, F., López-Sarabia, P. y Venegas-Martinez, F. (2012). Valuación financiera de proyectos de innovación en nuevas tecnologías con opciones reales, *Contaduría y Administración*, 57(3), julio-septiembre, 115-45.
- Alves. E. R. A., Magalhães, M. C. y Guedes, P.P. (2002). *Calculando e atribuindo benefícios da pesquisa de melhoramento de variedades: o caso da Embrapa*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 242 p.
- Anello, C. y Fleiss, J. L. (1995). Exploratory or analytic meta-analysis: should we distinguish between them?, *Journal of Clinical Epidemiology*, 48 (1)109-116.
- Ardila, J. (1999). El excedente económico y los beneficiarios del cambio técnico: una perspectiva para la evaluación de proyectos. UNICAMP, DPCT, Campinas, Brasil (Working Paper).
- Arellano, M. y Bover. O. (1995). Another look at instrumental variables estimation of error-component models, *Journal of Econometrics*, 68: 29–51.
- Arellano, M. y Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: monte carlo. evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, 58: 277-297.
- Arimoto, A. (2005). Observações sobre o relacionamento entre a função do conhecimento e o papel da universidade, In: *Sociedade de conhecimento versus economia de conhecimento: conhecimento, poder e política*, Brasília: UNESCO, SESI. 212 p.
- Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for innovation. In Nelson R. R. (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity*. Princeton: Princeton University Press, p. 609-625.
- Arruda, F. S. (2008). Avaliação em ciência, tecnologia e inovação: o caso do programa de propriedade intelectual da FAPESP. Dissertação de Mestrado. Campinas – Brasil: Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Política Científica e Tecnológica. 147p.
- Avalos, I. (1998). La sociedad del conocimiento, *Revista SIC*, 617:295-7.

- Avila, A. F. D. (2008). Avaliação dos impactos econômicos de tecnologias agropecuárias. In: Avila. A. F.D., Rodrigues, G. R., Vedovoto, G. L., (eds) *Avaliação dos Impactos de tecnologias geradas pela Embrapa.: Metodologia de referência*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 19-42. Disponible en: <http://bs.sede.embrapa.br/2009/metodologiareferenciaavalimpactoembrapa.pdf>
- Barbosa, J. G. P. y Gomes, J. S. (2002). Um estudo exploratório do controle gerencial de ativos e recursos intangíveis em empresas brasileiras, *Revista de Administração Contemporânea*, 6(2) 29-48.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage, *Journal of Management*, 17(1) 99-120.
- Barro, R. J., Sala, L. y Martin, X. S. (1995). *Economic growth, advanced series in economics*, New York: McGraw-Hill. 539p.
- Bello, J. A., Castañeda, R., Garcia, S. y Maldonado, J. (2010). Análisis documental del libro Opciones Reales y valoración de activos. Bogotá: Universidad de la Sabana. 99p.
- Becker, G. S. (1975). *Human Capital: a theoretical and empirical analysis with special reference to education*, 2nd edition, Chicago: Chicago University Press. 187p.
- Black, F. y Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities, *Journal of Political Economy*, 81(3) 637-54.
- Blanco, C., Navarro, M. y Peña, I. (2002). Influence of knowledge-based resources and alliances in business performance. Madrid. International Conference “*The transparent enterprise. The value of intangibles*”.
- Blundell, R. y Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel-data models, *Journal of Econometrics*, 87: 115–43.
- Bratsberg, B., Ragan, J. F. y Nasir, Z. M. (2002). The effect of naturalization on wage growth: a panel study of young male immigrants. *Journal of Labor Economics*. Chicago, v.20, p.568 -592.
- Brealey, R. A., Myers, S. C. y Allen, F. (2010). *Principios de finanzas corporativas*. 9º ed. Mexico: Mc Graw Hill. 976p.
- Breusch, T. y Pagan, A. (1980). The Lagrange Multiplier test and its applications to model specification in econometrics, *Review of Economic Studies*, 47: 239-53.
- Calero, J. M. (1999). Sobre gestión del conocimiento, un intangible clave en la globalización, *Economía Industrial*, 330 (VI) 61-70.
- Cañibano, L. y Sanchez. M. P. (1992). El Desarrollo tecnológico un reto para la contabilidad. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, Vol. XXII: 329-46.
- Cañibano, L. y Sánchez, P. (2004). Medición, gestión e información de intangibles: lo más nuevo, *Contabilidad y Dirección*, 1: 99-39.
- Chauvin, K. W. y Hirschey, M. (1993). Advertising, R&D expenditures and the market value of the firm, *Financial Management*, 22(4) 128-40.
- Copeland, T. E. y Antikarov, V. (2003). *Real options: a practitioner's guide*. New York: Thomson/Texere. 372p.

- Correia Neto, J. F., Moura, H. J. y Forte, S. H. C. A. (2002). Modelo prático de previsão de fluxo de caixa operacional para empresas comerciais considerando os efeitos do risco, através do método de Monte Carlo. Read, *Revista Eletrônica de Administração*. PPGA/UFGRS, 273(8)1-15.
- Cox, J.C., Ingersoll, J.E. y Ross, S. A. (1985). A theory of the term structure of interest rates, *Econometrica*, 53(2)385-07.
- Da Silva, W. V., Bordini, G. A., Costa JR, N. C. A. y Fontanini, C. A. C. (2004). Uma aplicação da teoria de opções reais à análise de investimentos em tecnologia ASP, *Economia & Tecnologia*, 8(1) 26-40.
- Delgado-Juarez, G. y Pérez-Akaki, P. (2013). Evaluación de la conversión a café orgánico usando la metodología de opciones reales, *Contaduría y Administración*, 58(1)87-15.
- Deng, Z., Lev, B. y Narin, F. (1999). Science and technology as predictors of stock performance, *Financial Analysts Journal*, 55(3) 20-32.
- Dixit, A. K. y Pindyck, R. S. (1995). The options approach to capital investment, *Harvard Business Review*, 73(1)105-15.
- Duarte, P. C., Lamounier, W. M. y Takamatsu, R. T. (2007). Modelos econométricos para dados em painel: aspectos teóricos e exemplos de aplicação à pesquisa em contabilidade e finanças. São Paulo: Anais do Congresso USP de Controladoria e Contabilidade.
- Ducharme, L. M. (1998). *Measuring intangible investment: main theories and concepts*, Paris: OECD.
- Echeverría, R. G. y Trigo, E. J. (2008). Los retos de la investigación agroalimentaria en America Latina, *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 219: 71-12.
- Egana-Sol, P. y Bravo-Ortega, C. (2010). Complementariedad entre TIC's e I+D: un analisis con paneles dinamicos. universidad de chile: Serie Documentos de Trabajo, n° 326. 25p.
- EMBRAPA (2010). Vea porque el negocio agropecuario rinde más. Disponible en: [http://www.embrapa.br/espanhol/negocio\\_htm/](http://www.embrapa.br/espanhol/negocio_htm/)
- EMBRAPA (2013a). Creando tecnología y servicios para el desarrollo del agronegocio brasileño. Disponible en: <http://www.embrapa.br/espanhol/abertura/>
- EMBRAPA (2013b). Balanço Social, 2002 -.2013. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, Secretaria de Gestão Estratégica. Disponible en: [http://bs.sede.embrapa.br/2012/bs\\_2012.pdf](http://bs.sede.embrapa.br/2012/bs_2012.pdf)
- Evenson, R. E. (2001). Economic impacts of agricultural research and extension. Handbook of Agricultural Economics. Gardner, B. L., Rausser, G. C. eds, Volume 1A, Part 1. New York: North-Holland/Elsevier Science Publishers, p. 573-28.
- Freeman, C. (1982). *The economics of industrial innovation*, 2nd edition, London: Pinter Publishers. 256p.
- Furtado, A. T. y Salles-Filho, S. L. M. (2003). *Políticas públicas para a inovação tecnológica na agricultura do estado de São Paulo*. Campinas. Unicamp, DPCT: Métodos para Avaliação de Impactos de Pesquisa. 41 p.

- García-Meca, E. (2004). Una aproximación empírica al empleo de la información sobre capital intelectual en la valoración de empresas, *Contabilidad y Dirección: medición, control y gestión de los intangibles*, 1: 141-60.
- Georghiou, L. y Roessner, D. (2000). Evaluating technology programs: tools and methods. *Research Policy*, 29: 657-78.
- Goedert, W. Castro, A. M. G. y Paez, M. L. D. (1995). O sistema Embrapa de planejamento. *Revista de Administração*, 3(4)19-33.
- Goodman, C. (1996). *Literature searching and evidence interpretation for assessing health care practices*. swedish council on technology assessment in health care. Estocolmo: SBU. 81 p.
- Greene, W. H. (1997). *Econometric analysis*. New York: McMillan. 1024 p.
- Griliches, Z. (1958). Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations, *Journal of Political Economy*, 66(5) 419–31.
- Guerra, J. A., Muñoz, P. M. y Lozano, J. M. S. (2003). Las revisiones sistemáticas, niveles de evidencia y grados de recomendación, México, MBE. 6p.
- Hausman, J.A. (1978). Specification tests in econometrics, *Econometrica*, 46 (6) 1251-71.
- Hendriksen, E. S. (1965). *Accounting theory*. Illinois: Richard D. Irwin. 510p.
- Hill, R. C.; Griffiths, W. E. y Judge, G. G. (2006). *Econometria*. São Paulo: Saraiva. 471 p.
- Hsiao, C. (1986). *Analysis of Panel Data*. New York: Cambridge University Press. 369 p.
- Huffman, W. E. y Evenson, R. E. (1992). Contributions of public and private science and technology to U.S. agricultural productivity, *American Journal Agricultural Economy*, (74) 751–56.
- Ignaczak, J. C., De Mori, C., Garragory, F. L. y Chaib Filho, H. (2006). Dinâmica da produção de trigo no Brasil no período de 1975 a 2003. Boletim de Pesquisa. Passo Fundo: Embrapa Trigo.
- Irías, L. J. M., Gebler, L., Palhares, J. C. P., de Rosa, M. F. y Rodrigues, G. S. (2004b). Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária: aplicação do Sistema Ambitec, *Agricultura em São Paulo*, 51(1) 23-40.
- Irías, L. J. M., Rodrigues, G. S., Campanhola, C., Kitamura, P. C. y Rodrigues, I. A. (2004 a). Sistema de avaliação de impacto ambiental de inovações tecnológicas nos segmentos agropecuários, produção animal e agroindústria (Sistema Ambitec). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 8 p. (Circular Técnica, 5).
- Jewkes, J. S. D. y Stillerman, R. (1958). *The sources of invention*. London: Macmillan. 428p.
- Kayo, E. K. (2002). *A estrutura de capital e o risco das empresas tangível e intangível-intensivas: uma contribuição ao estudo da valoração de empresas*. Tesis Doctoral. Universidade de São Paulo.
- Kayo, E. K., Kimura, H., Martin, D. M. L. y Nakamura, W. T. (2006). Ativos intangíveis, ciclo de vida e criação de valor. *RAC*, 10(3)73-90.

- Kinney, T. C. y Taylor, J. R. (1998). *Investigación de mercados. un enfoque aplicado*. 4ª ed., Colombia: McGraw-Hill. 874 p.
- Kislev, Y. y Hoffman, M. (1978). Research and productivity in wheat in Israel, *Journal Development Studies*, 14:166 – 81.
- Kline, S. y Rosenberg, N. (1987). An overview of innovation. In: Landau, R.; Rosenberg, N. In: *The positive sum strategy*. Washington: National Academy of Press, 275-06.
- Korn, E. y Korn, R. (2013). Modelo para el precio de las acciones. Universidad técnica de Kaiserslautern, Facultad de matemáticas. Disponible en: [http://optimierung.mathematik.uni-kl.de/mamaesch/veroeffentlichungen/ver\\_texte/bm\\_aktienkurse\\_s.pdf](http://optimierung.mathematik.uni-kl.de/mamaesch/veroeffentlichungen/ver_texte/bm_aktienkurse_s.pdf)
- Kruskal and Wallis (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis, *Journal of the American Statistical Association*, 47 (260) 583–21.
- Laporte J.R. (2001). *Principios básicos de investigación clínica*. 2ª ed. Barcelona: AstraZeneca. 212 p.
- Leitner, K. H (2002). Intellectual capital reporting for universities: conceptual background and application within the reorganization of Austrian universities.
- Lev, B. (1999). R&D and capital markets, *Journal of Applied Corporate Finance*, 11(4) 21-35.
- Lev, B. (2001). *Intangibles: management, measurement, and reporting*. Washington: Brookings. 227p.
- Lev, B. y Zarowin, P. (1999). The boundaries of financial reporting and how to extend them, *Journal of Accounting Research*, 37(2) 353-85.
- Lönnqvist, A. (2004). Measurement of intangible success factors: case studies on the designer, implementation and use of measures. Department of Industrial Engineering and management, Tampere, University of Technology, Tampere, Finland, 267p.
- Lucas, R. E . (1988). The mechanics of economic development, *Journal of Monetary Economics*, 22(1) 3–42.
- Luíz, A. J. B. (2002). Meta-análise: definição, aplicações e sinergia com dados espaciais, *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 19 (3) 407-28.
- Magalhães, M. C., Vedovoto, G. L., Irias, L. J. M., Vieira, R. C. M. T. y Avila, A. F. D. (2006). Avaliação de impactos da embrapa: uma amostra de 12 tecnologias. Brasília: Embrapa-SGE, (Embrapa-SGE, Documentos, 13). 243p.
- Mansfield, E. (1990). Intellectual Property, Technology and Economic Growth" In C. Brown y F.W Pushiing, eds. *Intellectual property rights in science, technology and economic performance*. Boulder & London Westview Press. 300p.
- MAPA (2010), Agronegócio Brasileiro: Uma Oportunidade de Investimentos. Disponible en: <http://www.agricultura.gov.br/>
- MAPA (2013), Séries históricas. Nível: Nacional, Período: Anual ( 2002 à 2009 ). Disponible en: <https://i3gov.planejamento.gov.br/main.php?Y999=11&Y998=37448&Y777=0>

- Marcel, A. E. (2003). El real valor de las opciones reales. XXIII Jornadas Nacionales de Administración Financiera. Vaquerías, Córdoba, 155-65.
- Mascareñas, J. (2005). La valoración de un proyecto de inversión biotecnológico como una opción real compuesta. Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas. N° 34 ISSN: 1988-1978. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/jmas/mon/34.pdf>
- Meirelles, J. L. F. y Rebelatto, D. A. N. (2004). Obtenção da volatilidade por meio da simulação de Monte Carlo para a avaliação de Opções Reais. Brasil: Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- Merton, R. C. (1973). Theory of rational option pricing, *Journal of Economics and Management Science*, 4: 141-83.
- Mun, J. (2002). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. New York: John Wiley and Sons. 386p.
- Mun, J. (2003). *Real options analysis course: Business cases and software applications*. New York: John Wiley and Sons. 303p.
- Muñoz, J. P. (2002). Estudio de Modelos de Evaluación de Proyectos de Inversión en TI. Working paper. Disponible en: <http://www.inf.udec.cl/~cjimenez/johanaperezDic2002.pdf>
- Nelson, R. R. y Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge: Harvard University Press, 437p.
- Nevado Peña, D. y López Ruiz, V. R. (2004). Una herramienta de gestión de intangibles ocultos mediante técnicas econométricas: Método y aplicación, *Medición, Gestión y Control de los intangibles*, Ed. Deusto, 163-182. Disponible en: [http://www.accid.org/revista/ARTICLES/RCD\\_1\\_AD3CAS.pdf](http://www.accid.org/revista/ARTICLES/RCD_1_AD3CAS.pdf)
- Nuchera, A. I. y Serrano, G. L. (2006). La importancia del conocimiento científico y tecnológico en el proceso innovador. *Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología*. n. 39, Disponible en <http://www.madrimasd.org/revista/revista39/tribuna/tribuna1.asp>
- OCDE (1996). *Organisation for Economic Co-operation and Development. The knowledgebased economy*. Paris: OECD-GD. 46 p.
- OCDE (2002). *Frascati Manual, proposed standard practice for surveys for research and experimental development*. Paris: OECD. 255p.
- OCDE (2005). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation*, 3rd Edition. Paris: OECD. 71p.
- Pardey, P., Alston, J.M., Chan-Kang, C., Magalhães, E.C. y Vosti, S.A. (2004). Assessing and attributing the benefits from varietal improvement research Brazil. Washington: International Food Policy Research Institute. 90p. (Research Report 136).
- Pardo Sempere, L., Rodríguez Alcaide, J. J. y Rodríguez Zapatero, M. (2004). Opciones Reales en la valoración de proyectos de inversión en acuicultura, *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 5 (10) 107-26.
- Paulino, S. R., Rodrigues, G. S., Salles-Filho, S. L. M. y Bin, A. (2003). Impactos ambientais na agricultura: um método de avaliação de programas tecnológicos.

- In: seminário latino-iberoamericano de gestão tecnológica altec, 10, Cidade do México: Altec.1-16.
- Pereira, L. V. (1993). Sistema de propriedade industrial no contexto internacional. En: S. Schwartzman (coord), *Ciência e Tecnologia no Brasil: Política Industrial, Mercado de Trabalho e Instituições de Apoio*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p 82-113.
- Perlitz, M., Peske, T. y Schrank, R. (1999). Real Option Valuation: The New Frontier in R&D Project Evaluation, *R&D Management*, 29(3) 255-69.
- Rodrigues, G. S. (1998). Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas: fundamentos, princípios e introdução à metodologia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, (Documentos, 14). 66 p.
- Rodrigues, G. S., Campanhola, C. y Kitamura, P. C. (2002a). Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D, *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 19(3) 349-75.
- Rodrigues, G. S., Buschinelli, C. C. de A., Irias, L. J. M. y Ligo, M. A. V. (2002b). Avaliação de impactos ambientais em Projetos de Pesquisa II: avaliação da formulação de projetos: versão I: Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, (Boletim de Pesquisa, 10).
- Rodrigues, G. S., Campanhola, C. y Kitamura, P. C. (2003a). An Environmental impact assessment system for agricultural R&D. *Environmental Impact Assessment Review*, 23: 219-44.
- Rodrigues, G. S., Campanhola, C. y Kitamura, P. C. (2003b). Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: Ambitec-Agro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34), 93 p.
- Rodrigues, G. S., Campanhola, C., Kitamura, P. C., Irias, L. J. M. y Rodrigues, I. (2005). Sistema de avaliação de impacto social da inovação tecnológica agropecuária (Ambitec-Social). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 31 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).
- Rodrigues, G. S. (2008). Avaliação de impacto ambiental de inovações tecnológicas agropecuárias In: Avila. A. F.D., Rodrigues, G. R., Vedovoto, G. L., (2008) Avaliação dos Impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: Metodologia de referência. Brasília, DF: Embrapa. Informação Tecnológica. p. 85-101. Disponível en: <http://bs.sede.embrapa.br/2009/metodologiareferenciaavalimpactoembrapa.pdf>
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth, *Journal of Political Economy*, 94:5.
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata, *Stata Journal* 9(1) 86-36.
- Rozo Náder, V. (2009). Contraste entre técnicas tradicionais de inversión y valoración de opciones reales en ambientes de incertidumbre, utilizando el modelo de Black & Scholes y el método binomial. Tesis (Magister Ingeniero Industrial) -- Universidad del Norte. Programa de Maestría en Ingeniería Industrial. Disponível en: <http://hdl.handle.net/10584/93>

- Santos, E. M. y Pamplona, E. O. (2003). Qual o valor de um projeto de pesquisa? uma comparação entre os métodos de Opções Reais, Árvore de Decisão e VPL Tradicional na Determinação do Valor de um Projeto Real de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). 3º Encontro Brasileiro de Finanças, Universidade de São Paulo.
- Schimmelpfennig, D. E., O'Donnell, C.J. y Norton, G.W. (2006). Efficiency effects of agricultural economics research in the United State, *Agricultural Economics* (34) 273–80.
- Schultz, T. Z. (1971). *Investment in human capital*, New York: The Free Press. 272p.
- Schultz, T.W. (1953). *The economic organization of agriculture*. New York: McGraw-Hill. 374 p.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development*. Cambridge: Harvard University Press. New York: Oxford University Press, (1961). 255p.
- Smith, V.H. y Pardey, P.G. (1997). Sizing up social science research (Measuring the Benefits of Social Science Research), *American Journal of Agricultural Economics* 79(5)1530–33.
- Sobrinho, A. A. y Marins, F. A. S., Batista Junior, E. D. (2005). Decisão de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento usando a teoria das opções reais. Anais do XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Porto Alegre, Brasil.
- Souza, A. L. V. y Barreto, S. P. (1999). Avaliação de ativos intangíveis: algumas técnicas para valorar tecnologia. *Boletim Técnico Petrobras* 42 (1/4) 9-17.
- Spielman, D. J. y Birner, R. (2008). How innovative is your agriculture? using innovation indicators and benchmarks to strengthen national agricultural innovation systems, *Agriculture and Rural Development Discussion*. Paper 41. 47p.
- Stewart, T. A. (1997). *Intellectual capital: the new wealth of organizations*. New York: Doubleday. 278p.
- Sveiby, K. E. (1997). *The new organizational wealth: managing and measuring*. San Francisco: Berrett-Koehler. 220p.
- Tabor, S. R. (1998). Towards an appropriate level of agricultural research finance. In: Tabor, S. R.; Jannesen, W.; Bruneau, H. (Ed.). *Financing agricultural research: a sourcebook*. The Hague: International Service for National Agricultural Research, p 3-27.
- Thomas, M. G., Vidal, R. A. y Chacur, A. A. (2008). Evaluación socioeconómica de proyectos con el método de Opciones Reales, *Revista Ingeniería Industrial* , 7 (2) 47-64.
- Timmer, P. (1997). Valuing social science research and policy analysis (Measuring the Benefits of Social Science Research), *American Journal of Agricultural Economics* 79(5) 1545–50.
- Tosterud, R. J., Gilson, J. C., Hannah, A. E. y Stefansson, B. R. (1973). Benefit-cost evaluation of research relating to the development of selkirk wheat and target rapeseed. In: *Symposium On Agricultural Research*, Manitoba.

- Proceedings. Manitoba: Department of Agricultural Economics: University of Manitoba, 1:149-99 (Occasional Series, 4).
- UCM (2012). Analisis no paramétrico: el procedimiento de pruebas no paramétricas. Capítulo 19, 66 p. Disponible en: [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\\_departamento/materiales/analisis\\_datosyMultivariable/19nparam\\_SPSS.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/19nparam_SPSS.pdf)
- Vasicek, O. (1977). An equilibrium characterization of the term Structure, *Journal of Financial Economics*, 5:177-88.
- Veciana Vergés, J. M. (2007). Las nuevas empresas en el proceso de innovación en la sociedad del conocimiento: evidencia empírica y políticas públicas. *Economía Industrial*, 363: 103-118.
- Vergés, J. (2002). Empresas Públicas y objetivos sociales (extra-productivos). Notas de Clase. 38p. Disponible en: <http://webs2002.uab.es/jverges/pdf%20gep&r/eps%20y%20objetivos%20social.es.pdf>
- Vedovoto, G. L., Avila, A. F. D. y Marques, D. V. (2008). Avaliação de impacto sobre o conhecimento, sobre a capacitação e de impacto político-institucional da pesquisa da Embrapa. En: Avila, A. F.D., Rodrigues, G. R. & Vedovoto, G. L., *Avaliação dos Impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: Metodologia de referência*. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica, p. 105-27.
- Vicente, E. F. R. y Pereira Junior, (2005). O Uso da Teoria de Opções Reais (TOR) na Avaliação de Projetos: Um Estudo de Caso do Biodiesel no Brasil. Anais do IX Congresso Internacional de Custos - Florianópolis, Brasil.
- Viladomiu, L. y Rosell, J. (1998). Evaluando políticas, programas y actuaciones de desarrollo rural, *Economía Agraria*, 182: 297-08
- Waissbluth, M. (2006). Metodología de evaluación de políticas públicas, programas y proyectos públicos, Mimeo.
- Windmeijer, F. (2005). A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators, *Journal of Econometrics*, 126: 25–51.
- Wooldridge, J. M. (2006). *Introdução à Econometria: uma abordagem moderna*. São Paulo: Thompson Learning. 684 p.
- Yeganiantz, L. y Macêdo, M. M. C. (2002). Avaliação de impacto social de pesquisa agropecuária: a busca de uma metodologia baseada em indicadores. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 59 p. (Texto para Discussão, 13).
- Zackiewicz, M. (2005). Trajetórias e Desafios da Avaliação em Ciência, Tecnologia e Inovação Tecnológica. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Política Científica e Tecnológica, Campinas. Brasil.
- Zackiewicz, M. (2003). Coordenação e organização da inovação: perspectivas do estudo do futuro e da avaliação em ciência e tecnologia, *Parcerias Estratégicas*, 17: 193-14.



## ANEXOS

*Valor del proyecto en la Fase Pruebas*Tabla 34 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase pruebas (valores en miles de *reais*)

17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234	54649	61918	70153	79484	90056	102034	115606	130982	148403	168142	190506	215845
	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234	54649	61918	70153	79484	90056	102034	115606	130982	148403	168142
		13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234	54649	61918	70153	79484	90056	102034	115606	130982
			12212	13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234	54649	61918	70153	79484	90056	102034
				10779	12212	13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234	54649	61918	70153	79484
					9513	10779	12212	13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234	54649	61918
						8396	9513	10779	12212	13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574	42571	48234
							7411	8396	9513	10779	12212	13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270	33163	37574
								6541	7411	8396	9513	10779	12212	13836	15677	17762	20124	22801	25834	29270
									5773	6541	7411	8396	9513	10779	12212	13836	15677	17762	20124	22801
										5095	5773	6541	7411	8396	9513	10779	12212	13836	15677	17762
											4497	5095	5773	6541	7411	8396	9513	10779	12212	13836
												3969	4497	5095	5773	6541	7411	8396	9513	10779
													3503	3969	4497	5095	5773	6541	7411	8396
														3092	3503	3969	4497	5095	5773	6541
															2729	3092	3503	3969	4497	5095
																2409	2729	3092	3503	3969
																	2126	2409	2729	3092
																		1424	2126	2409
																			1257	1876
																				1110

Fuente: elaboración propia

Tabla 35 - Árbol binomial de la fase pruebas calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de *reais*)

215701	191125	169346	150048	132947	117793	104364	92465	81920	72576	64296	56959	50457	44696	39590	35066	31057	27504	24356	21567	18688
167999	148854	131888	116855	103533	91728	81268	71998	63784	56505	50055	44339	39274	34786	30809	27285	24161	21394	18942	16769	
130838	115925	102709	90998	80620	71424	63275	56054	49656	43985	38961	34508	30563	27066	23968	21223	18790	16634	14724		
101891	90273	79978	70855	62771	55607	49260	43634	38650	34233	30318	26850	23776	21053	18639	16501	14606	12926			
79341	70291	62271	55164	48867	43286	38341	33959	30076	26635	23586	20884	18490	16368	14488	12822	11346				
61774	54724	48477	42941	38035	33688	29836	26422	23398	20717	18342	16237	14372	12719	11255	9957					
48090	42598	37732	33419	29598	26211	23210	20551	18195	16107	14257	12617	11164	9876	8736						
37430	33152	29361	26002	23025	20387	18049	15978	14142	12515	11074	9797	8665	7662							
29126	25794	22840	20223	17904	15849	14028	12415	10985	9718	8595	7600	6718								
22658	20061	17761	15722	13916	12315	10896	9639	8525	7538	6664	5888									
17618	15596	13804	12216	10809	9562	8456	7477	6610	5841	5159										
13693	12118	10721	9484	8388	7417	6556	5793	5117	4517											
10635	9408	8320	7357	6503	5746	5075	4481	3953												
8253	7297	6450	5699	5034	4444	3922	3456													
6397	5653	4993	4408	3890	3430	3017														
4952	4372	3858	3402	2998	2628															
3826	3374	2973	2618	2279																
2948	2596	2284	1960																	
2265	1991	1654																		
1733	1338																			
966																				

Fuente: elaboración propia

### *Fase Mejoramiento*

Tabla 36 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase mejoramiento  
(valores en miles de *reais*)

10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459	62692	76377	93049	113360	138105	168251	204978	249722	304233	370643	451549	550115
	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459	62692	76377	93049	113360	138105	168251	204978	249722	304233	370643
		7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459	62692	76377	93049	113360	138105	168251	204978	249722
			5864	7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459	62692	76377	93049	113360	138105	168251
				4814	5864	7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459	62692	76377	93049	113360
					3951	4814	5864	7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459	62692	76377
						3243	3951	4814	5864	7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671	42239	51459
							2662	3243	3951	4814	5864	7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360	28459	34671
								2185	2662	3243	3951	4814	5864	7144	8704	10604	12919	15739	19174	23360
									1794	2185	2662	3243	3951	4814	5864	7144	8704	10604	12919	15739
										1472	1794	2185	2662	3243	3951	4814	5864	7144	8704	10604
											1208	1472	1794	2185	2662	3243	3951	4814	5864	7144
												992	1208	1472	1794	2185	2662	3243	3951	4814
													814	992	1208	1472	1794	2185	2662	3243
														668	814	992	1208	1472	1794	2185
															549	668	814	992	1208	1472
																450	549	668	814	992
																	370	450	549	668
																		303	370	450
																			249	303
																				204

Fuente: elaboración propia

Tabla 37 - Árbol binomial de la fase mejoramiento calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de *reais*)

549886	455835	377863	313222	259633	215205	178373	147838	122523	101537	84138	69714	57756	47843	39624	32810	27162	22479	18597	15378	12710
370413	307046	254512	210960	174854	144920	120105	99532	82476	68336	56614	46896	38839	32159	26622	22031	18226	15070	12455	10286	
249493	206799	171404	142060	117734	97566	80846	66985	55494	45967	38069	31521	26093	21593	17862	14769	12205	10079	8317		
168022	139257	115409	95639	79249	65661	54396	45057	37314	30896	25574	21163	17505	14473	11960	9876	8148	6716			
113131	93750	77683	64362	53319	44164	36575	30282	25066	20741	17156	14184	11720	9677	7983	6579	5415				
76148	63090	52264	43290	35849	29681	24568	20328	16813	13900	11484	9482	7821	6445	5304	4358					
51230	42432	35139	29092	24079	19923	16478	13621	11253	9290	7663	6313	5195	4268	3499						
34442	28514	23600	19526	16148	13348	11027	9103	7507	6185	5088	4179	3425	2800							
23130	19137	15826	13081	10805	8919	7355	6058	4983	4092	3353	2741	2233								
15509	12819	10588	8739	7205	5934	4881	4007	3283	2682	2184	1772									
10375	8562	7059	5813	4780	3923	3213	2625	2137	1732	1397										
6915	5694	4681	3842	3146	2569	2090	1694	1365	1092											
4584	3761	3079	2514	2045	1656	1334	1066	845												
3014	2459	2000	1619	1303	1041	824	644													
1956	1582	1273	1016	803	626	480														
1243	991	783	610	466	347															
763	593	453	336	239																
439	325	230	152																	
221	144	80																		
74	22																			
-25																				

Fuente: elaboración propia

### *Fase Biotecnología*

Tabla 38 - Arbol binomial - Valor del activo subyacente multiplicado por los coeficientes de crecimiento y decrecimiento - Fase biotecnología (valores en miles de *reais*)

9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763	35849	41775	48681	56729	66107	77035	89771	104611	121905	142058	165542	192909
	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763	35849	41775	48681	56729	66107	77035	89771	104611	121905	142058
		6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763	35849	41775	48681	56729	66107	77035	89771	104611
			5717	6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763	35849	41775	48681	56729	66107	77035
				4906	5717	6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763	35849	41775	48681	56729
					4210	4906	5717	6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763	35849	41775
						3613	4210	4906	5717	6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654	26399	30763
							3100	3613	4210	4906	5717	6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682	19440	22654
								2660	3100	3613	4210	4906	5717	6662	7763	9046	10542	12285	14316	16682
									2283	2660	3100	3613	4210	4906	5717	6662	7763	9046	10542	12285
										1959	2283	2660	3100	3613	4210	4906	5717	6662	7763	9046
											1681	1959	2283	2660	3100	3613	4210	4906	5717	6662
												1443	1681	1959	2283	2660	3100	3613	4210	4906
													1238	1443	1681	1959	2283	2660	3100	3613
														1062	1238	1443	1681	1959	2283	2660
															912	1062	1238	1443	1681	1959
																782	912	1062	1238	1443
																	671	782	912	1062
																		576	671	782
																			494	576
																				424

Fuente: elaboración propia

Tabla 39 - Árbol binomial de la fase biotecnología calculado de forma recurrente – Valor de la opción obtenido por medio de la multiplicación de la última columna por las probabilidades de ascenso y descenso (valores en miles de reais)

192193	165819	143051	123396	106428	91780	79135	68218	58794	50658	43634	37571	32336	27818	23917	20549	17642	15132	12965	11095	9480
141342	121920	105154	90680	78185	67398	58086	50047	43107	37115	31943	27478	23624	20296	17423	14944	12803	10954	9359	7982	
103895	89593	77247	66588	57386	49443	42586	36666	31555	27143	23334	20046	17208	14757	12642	10816	9239	7878	6703		
76319	65787	56695	48846	42071	36221	31171	26812	23048	19799	16995	14573	12483	10678	9121	7776	6615	5613			
56013	48257	41562	35782	30792	26484	22766	19555	16784	14391	12326	10543	9004	7675	6528	5537	4682				
41059	35348	30417	26161	22486	19314	16576	14212	12171	10409	8888	7575	6442	5463	4618	3889					
30047	25841	22210	19076	16370	14034	12018	10277	8774	7476	6356	5390	4555	3834	3212						
21938	18841	16167	13859	11866	10146	8661	7379	6272	5317	4492	3780	3165	2635							
15966	13685	11717	10017	8550	7283	6189	5245	4430	3727	3119	2595	2142								
11569	9889	8439	7188	6107	5174	4369	3674	3074	2556	2108	1722									
8330	7094	6026	5104	4309	3622	3029	2517	2075	1693	1364										
5946	5035	4249	3570	2984	2478	2041	1664	1339	1058											
4190	3519	2940	2440	2009	1636	1315	1037	797												
2897	2403	1976	1608	1290	1016	779	575													
1944	1581	1267	996	762	560	385														
1243	975	744	544	372	223															
727	529	359	212	85																
346	201	76	-33																	
66	-41	-133																		
-140	-219																			
-292																				

Fuente: elaboración propia