



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS
AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD ZACATENCO

PROGRAMA DE DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO
PARA LA SOCIEDAD

“Análisis costo-beneficio social de la investigación científica y desarrollo
experimental (I+D) en México: caso Cinvestav”

Tesis que presenta:

EDITH PANIAGUA HERNÁNDEZ

Para obtener el grado de

DOCTORA EN CIENCIAS

EN DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA SOCIEDAD

Director de Tesis: Dr. Eduard De La Cruz Burelo

México, Ciudad de México

Enero, 2023

Dedicatoria

Para mi esposo Alejandro y mi hijo Jonás a quienes amo infinitamente. Ustedes significan para mí más de lo que las palabras pueden expresar. Son el amor, los brazos que me cuidan y los susurros que me alientan. En el momento que llegaron a mi vida la revolucionaron y me llenaron de vitalidad. Pienso en ustedes en todo lo que hago, me inspiran y les dedico este logro académico.

Agradecimientos

Al CONACYT y el programa de becas de estudios de posgrado que proporciona las condiciones materiales para construir la sociedad del conocimiento de México.

Al CINVESTAV por contribuir al desarrollo de la sociedad mediante la investigación científica y la formación de recursos humanos de alta calidad. Que orgullo pertenecer.

Al DCTS, a los fundadores del programa y a los investigadores que le dan vida. Que compartimos una visión en torno a la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Al Dr. Eduard de la Cruz Burelo, por su dirección y apoyo durante mi estancia en el programa de doctorado.

A la Dra. Cecilia Bañuelos Barrón; al Dr. Gerardo Hernández García; al Dr. Gerardo Angeles Castro, al Dr. el Dr. Miguel Ángel Pérez Angón y a la Dra. América Padilla Viveros; por su tiempo, por sus invaluable aportaciones y su ejemplo académico. Gracias por su apoyo y amistad.

Al personal administrativo del Cinvestav, Sonia Elizabeth Solórzano Frías y Miguel Sosa, por hacer posibles todos los procesos del doctorado, pero sobre todo por su amistad.

A mis compañeros y amigos del Cinvestav y en particular a mis compañeros del DCTS: Lilian, Sandra, Marcela, Yara, Silvano, Javier, Aidé, Alejandra, Tania, Edson, Alfonso, José Luis, Xóchitl, Diana, Irene, Angélica, Paulina, Andrea ... Por las largas charlas, por escucharme, por las risas y por compartir e influir de alguna forma en mi vida.

A mi FAMILIA: mi esposo Alejandro, mi hijo Jonás, mi mamá Blanca Estela, mi papá Rubén Paniagua, mis hermanos Rubén y Marlene, mi suegra Gloria, mis cuñados Eduardo y Ricardo, mi sobrina Melissa, mis sobrinos Leonardo y Joshua. Por el apoyo incondicional que siempre me han brindado en todos los proyectos y demás metas que me he trazado en la vida, siempre sentí su voz de ánimo y respaldo.

A todos gracias, siempre voy a estar en deuda.

Índice general

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Índice general	4
Lista de tablas, figuras y gráficas	6
Resumen	9
Abstract	10
Capítulo 1	11
1. Introducción.....	11
1.1 Antecedentes de la investigación.....	13
1.2 Problema de investigación.....	16
1.3 Hipótesis.....	16
1.4 Objetivo general.....	16
1.5 Objetivos específicos.....	16
1.6 Preguntas de investigación.....	17
1.7 Justificación de la investigación.....	17
1.7.1 Relevancia.....	17
1.7.2 La transdisciplina.....	18
1.7.3 La ciencia, tecnología e innovación.....	18
1.7.4 La sociedad.....	19
1.8 La metodología.....	19
1.9 Esquema de la tesis.....	20
1.10 Delimitaciones de los alcances y asunciones importantes.....	23
Capítulo 2	24
2 Revisión teórico-conceptual de los enfoques, métodos y herramientas para la evaluación de la investigación científica.....	24
2.2 Paradigmas de evaluación de la investigación científica.....	24
2.2.1 El enfoque económico en la evaluación científica.....	24
2.2.1.1 Teoría de la elección racional (TER).....	26
2.2.1.2 Teorías modernas y contemporáneas del crecimiento económico.....	29
2.2.1.2.1 Teorías del crecimiento endógeno y la concepción de la idea de la economía del conocimiento.....	33
2.2.1.3 Teoría de la empresa.....	34
2.3 Métodos de evaluación científica.....	35
2.3.1 Métodos económicos de evaluación.....	36
2.3.1.1 Análisis costo-beneficio social.....	36
2.3.2 Métodos no económicos de evaluación científica.....	39
2.3.2.1 Revisión por pares.....	39
2.3.2.2 Modelado lógico.....	40
2.3.3 Métodos híbridos.....	42
2.3.3.1 Análisis de redes sociales.....	43
2.3.3.2 Métodos basados en datos.....	45
2.3.3.3 Bibliometría.....	46
2.4 Herramientas mínimas para implementar una evaluación científica.....	48
2.4.1 Distinciones entre tipos de investigación científica.....	49

2.4.2 Directrices de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el manual de Frascati.....	52
2.4.3 Las escalas y niveles de madurez tecnológica (NMTI).....	53
2.4.4 El modelo de cuadrantes de la investigación científica.....	55
2.4.5 Niveles de incertidumbre y la financiación de la ciencia.....	56
Capítulo 3.....	60
3 Mecanismos y actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de México.....	60
3.1 El sistema de evaluación científica en México y la participación del Cinvestav.....	61
3.2 Tendencias y perspectivas de la inversión en Ciencia y Desarrollo experimental.....	65
3.3 El financiamiento de la ciencia y la tecnología en México y la participación del Cinvestav.....	69
3.3.1 El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.....	70
Capítulo 4.....	78
4.1 Metodología de costo-beneficio social de la inversión en I+D.....	78
4.2 Rentabilidad Social del Conocimiento científico del Cinvestav.....	83
4.2.1 La hechura y publicación de literatura científica y tecnológica.....	84
4.2.2 Los costos y los beneficios asociados a la creación de conocimiento científico.....	85
4.2.3 El modelo de cálculo del valor monetario de un producto de conocimiento.....	85
4.2.4 Fuentes de datos e información.....	86
4.2.5 Resultados.....	87
4.3 La rentabilidad social de la formación del capital humano altamente calificado.....	90
4.3.1 El modelo de cálculo del valor del capital humano altamente calificado.....	92
4.3.2 Fuentes de datos e información.....	93
4.3.3 Curva salarial del sector académico en México.....	95
4.2.4 Resultados.....	98
4.3 Evaluación costo-beneficio social <i>Ex-Post</i> del Cinvestav.....	100
4.3.1 Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), Valor Presente Neto Esperado (VPNE) y razón Costo-Beneficio Social (CBS) del Cinvestav.....	101
4.4 Método paramétrico.....	104
4.4.1 Las reglas de decisión del modelo CBS paramétrico.....	105
4.4.2 Resultados del método paramétrico:.....	106
4.5 Método probabilístico.....	107
4.5.1 Reglas de decisión del modelo probabilístico:.....	110
4.5.2 Resultados del método probabilístico:.....	110
Capítulo 5.....	116
5 Conclusiones.....	116
5.1 Sobre la valoración de la producción de conocimiento científico.....	117
5.2 Sobre el beneficio social de la formación de Capital Humano especializado.....	119
5.3 Sobre Costo-Beneficio Social del Cinvestav.....	120
5.4 Implicaciones para el Cinvestav.....	120
5.5 Sobre la Hipótesis.....	122
5.6 Implicaciones de políticas y prácticas.....	122
5.7 Limitaciones e investigaciones posteriores.....	123
Referencias.....	125
Anexos.....	135
Publicación: Uso del análisis cuantitativo para monetizar el costo social de la producción científica: una estimación para el Cinvestav en México con base en la Web of Science.....	135
Reporte de Simulación Model Risk.....	136
Ejercicio del presupuesto de egresos 2016-2018 según la clasificación económica y por objeto del gasto del Cinvestav.....	139

Lista de tablas, figuras y gráficas

Tabla 1: Del laboratorio al mercado.....	51
Tabla 2 Niveles de Madurez Tecnológica.....	54
Tabla 3: Porcentaje de asignación y erogación del total del presupuesto del Cinvestav según su finalidad y función en el periodo de estudio.....	74
Tabla 4: Principales resultados del ejercicio del presupuesto de egresos por finalidad y función.....	74
Tabla 5: Principales indicadores cuantitativos de la actividad científica del Cinvestav 2016-2018.....	87
Tabla 6: Niveles de Sueldos de Profesores Titulares del IPN.....	96
Tabla 7: Niveles de Sueldos de Investigadores Cinvestav.....	96
Tabla 8: Niveles de Sueldos de los Centros de Investigación Conacyt.....	96
Tabla 9: Egresos del Cinvestav 2016-2018.....	105
Tabla 10: Resultados del análisis Costo-Beneficio Social.....	106
Tabla 11: Resultados Análisis Costo Beneficio Social.....	115
Figura 1: Esquema de desarrollo de la tesis doctoral.....	22
Figura 2: Marco básico de la Función de Producción Educativa.....	35
Figura 3: Modelo Lógico Básico.....	41
Figura 4: Modelo lógico de Sistemas: del ciclo de vida de I+D a la adopción o difusión.....	42
Figura 5: Representación gráfica de la Red Social.....	43
Figura 6: Indicadores para el análisis bibliométrico.....	47
Figura 7: Modelo Lineal Vannevar Bush.....	49
Figura 8: Modelo Cuadrante de investigación Científica.....	56
Figura 9: Cuadrante de Pasteur Ampliado.....	60
Figura 10: Actores del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación.....	62
Gráfica 1: GIDE por sector de ejecución y fuente de los fondos, 2016-2019.....	67
Gráfica 2 Presupuesto Anual Devengado por el Cinvestav 2013-2021.....	71
Gráfica 3 Presupuesto Anual Devengado por Clasificación Funcional Programática 2015-2021.....	73
Gráfica 4: Ciencia, Tecnología e Innovación: tasas de crecimiento y tendencias de los resultados del ejercicio del presupuesto 2013-2021.....	75
Gráfica 5: Educación: tasas de crecimiento y tendencias de los resultados del ejercicio del presupuesto 2013-2021.....	76
Gráfica 6: Cantidad de Grados Otorgados por el Cinvestav 1961-2021 (60 años).....	94
Gráfica 7 Cantidad de Grados Otorgados por el Cinvestav 1991-2021 (30 años).....	94
Gráfica 8 Cantidad de Grados Otorgados por el Cinvestav 1991-2021 (15 años).....	95
Gráfica 9: Curva Salarial de la Profesión Académica/Investigación en México.....	98
Gráfica 10: Histograma distribución de probabilidad VPNE.....	111
Gráfica 11: Box-Plot VPNE.....	112
Gráfica 12: Histograma distribución de Probabilidad TIRE.....	113
Gráfica 13: Box-Plot TIRE.....	114

Abreviaturas

C	Efectos Culturales
CB	Costo-Beneficio
CBS	Costo-Beneficio-Social
CC	Conocimiento Científico
CE	Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología
CNAO	Centro Nacional de Hadronterapia para el Tratamiento del Cáncer
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
CONAC	Consejo Nacional de Armonización Contable
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
COSECYT	Comité de diseño, monitoreo, seguimiento, evaluación y rendición de cuentas
CPI	Centros Públicos de Investigación
CTI	Ciencia, Tecnología e Innovación
CTS	Ciencia, Tecnología y Sociedad
CyT	Ciencia y Tecnología
EC	Economía del Conocimiento
Ex	Externalidades
FPE	Función de producción educativa
GIDE	Gasto en Investigación Científica y Desarrollo Experimental
H	Capital Humano
IES	Instituciones de Educación Superior
I+D	Investigación y Desarrollo Experimental
IPN	Instituto Politécnico Nacional
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del
K	Capital
L	Trabajo
Lc	Costo laboral de científicos
Lo	Costo laboral de personal administrativo, técnico y operativo
LCT	Ley de Ciencia y Tecnología
MDP	Millones de Pesos

NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
Op	Costos operativos
PECITI	Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación
PIB	Producto Interno Público
PNPC	Nacional de Posgrados de Calidad
RCB	Relación Costo Beneficio
SE	Sector Empresarial
SG	Sector Gobierno
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SNCT	Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología
SNCTM	Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de México
SNI	Sistema Nacional de Investigadores
SNP	Sistema Nacional de Posgrados
T	Externalidades Tecnológicas
TER	Teoría de la elección racional
TIRE	Tasa Interna de Rendimiento Económico
VPNE	Valor Presente Neto Esperado
WoS	Web of Science

Resumen

En México, el presupuesto público destinado al desarrollo científico es limitado y ha decrecido año con año, según datos de la UNESCO, el PIB dedicado a I+D pasó del .44% en 2014 al .31% en el 2018. Los dilemas y tensiones generados debido a los recursos económicos restringidos enfatizan la necesidad de mecanismos de decisión operativa, técnica, administrativa y de gestión presupuestaria en los Centros Públicos que garanticen que la inversión sea la opción óptima y socialmente benéfica entre las distintas alternativas. Los instrumentos metodológicos del análisis económico y financiero como la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), el Valor Presente Neto Esperado (VPNE) y la Razón Costo-Beneficio Social (RCBS) son útiles para conocer la rentabilidad social de la inversión pública de las Instituciones y proyectos I+D. En este sentido, se estimó el valor monetario de las publicaciones científicas (Conocimiento Científico) y los estudiantes graduados (Capital Humano) del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav) en México, a partir de los cuales, se calcularon los índices de rentabilidad y eficiencia presupuestaria TIRE, VPNE, RCBS. Los métodos que se utilizaron para el cálculo fueron propuestos por Massimo Florio los cuales se circunscriben a los principios clásicos de la metodología económica del costo-beneficio social (CBS). Para la valoración monetaria de Conocimiento Científico se asume que el valor estadístico de la producción científica es el costo de producción marginal expresado en términos del valor del tiempo del científico. En promedio, el costo marginal de producción calculado de una publicación científica del Cinvestav para el periodo 2016-2018, es de MX\$363,300.75 a precios corrientes del 2021 (USD\$17,500 aproximadamente). Respecto a la variable del Capital Humano, la valoración monetaria considera el salario incremental futuro de las personas con grado de Doctor que entra al mercado laboral del sector académico. El beneficio social del capital humano especializado, para una persona que posee el grado académico de Doctor en Ciencias y que se emplea en la Academia en México es de MX\$18,557,482.00 a precios corrientes del 2021 (US\$950,000 aproximadamente). Con base en estos valores y los estados financieros del Cinvestav se calcularon los índices de rentabilidad bajo dos perspectivas (método paramétrico y probabilístico). Asumiendo los costos del Cinvestav para producir artículos científicos y formar capital humano, así como los beneficios sociales que de ellas obtienen los investigadores y la Institución; para el contexto mexicano y circunscrito en un enfoque de economía neoclásica, las variables tienen una relación positiva en términos costo-beneficio social de la actividad del sector de ciencia y tecnología. Finalmente se encontró que hay un 65% de probabilidad de que los beneficios excedan los costos; con un VPNE de MX\$ 1,560 mdp aproximadamente; lo anterior, sin incluir el valor económico del descubrimiento científico. Siguiendo las reglas de decisión del análisis costo-beneficio social, los recursos públicos destinados al Cinvestav no deben ser considerados como un egreso sin retorno sino una inversión deseable y socialmente eficiente.

Palabras Clave

Cinvestav

Costo beneficio-social

I+D

Método Monte Carlo

Valor presente neto esperado

Tasa Interna de Retorno

Abstract

In Mexico, the public budget allocated to scientific development is limited and it has decreased year after year, according to UNESCO, the GDP dedicated to R&D went from .44% in 2014 to .31% in 2018. The dilemmas and tensions generated due to restricted economic resources emphasize the necessity for operational, technical, administrative, and budget management decision mechanisms in Public Centers that guarantee the investment in the optimal and socially beneficial option among the different alternatives. The methodological instruments of economic and financial analysis such as the Internal Economic Rate of Return (IRR), the Expected Net Present Value (NPV) and the Social Cost-Benefit Ratio (CBSR) are useful to know the social profitability of public investment in Institutions and R&D projects. The monetary value of scientific publications (Scientific Knowledge) and graduate students (Human Capital) were estimated for the Center for Research and Advanced Studies of the IPN (Cinvestav) in Mexico. Likewise, the budgeted profitability and efficiency rates were calculated: IRR, NPV, CBSR. The methods used for the calculation were proposed by Massimo Florio which are circumscribed to the classical principles of social benefit-cost analysis (SCB). Scientific Knowledge monetary valuation assumes the statistical value of scientific production as the marginal cost of production expressed in terms of the value of the scientist's time. On average, the marginal cost of production of scientific publication at Cinvestav for the 2016-2018 is MX\$363,300.75 at current prices for 2021 (approximately USD\$17,500). Regarding Human Capital monetary valuation considers the future incremental salary of people with a PhD who enters the labor market in the academic sector. The social benefit of human capital, for a person who has obtained a PhD and who is employed in the Academy sector in Mexico is MX\$18,557,482.00 at current prices of 2021 (approximate US\$950,000). Based on these values and the financial statements of Cinvestav, the financial rates are calculated from two perspectives (parametric method and probabilistic method). Assuming the Cinvestav costs of producing scientific articles and training specialized human capital and the social benefits that researchers and the Institution obtain from them; on the Mexican context and circumscribed in a neoclassical economics approach, both variables have a positive relationship in terms of social cost-benefit of the activity of the science and technology sector. It was found that there is a 65% probability that the benefits will exceed the costs; with a VPN of approximately MX\$1,560 billion; the foregoing, without including the economic value of the scientific discovery. Following the decision rules of the social cost-benefit analysis, the resources allocated to Cinvestav should not be considered as an expense without return, but as a desirable and socially efficient investment.

Keywords

Cinvestav Economic Internal Rate Monte Carlo Method
 Return Expected Net Present Value R&D Social cost-benefit

Capítulo 1

1. Introducción

Durante el desarrollo de este capítulo se expondrá el contexto, el alcance, las limitaciones, los objetivos y la estructura de la presente investigación. Como punto de partida se describe el contexto en el que se desarrolla el objetivo de la tesis doctoral, para entender por qué se plantea este tema como aportación original al estado del conocimiento de los estudios enfocados en el desarrollo científico y tecnológico para la sociedad. En el apartado referente al alcance se definen los límites del objeto de la investigación, separando los aspectos que quedan dentro del estudio de aquellos que se relegan a posteriores trabajos. En lo referente a los objetivos, se especifican aquellos de carácter general y que se pretenden alcanzar a lo largo de la tesis. Finalmente, se describe la estructura y contenido de la disertación.

Actualmente las economías más industrializadas se caracterizan entre otras cosas por la masiva incorporación del conocimiento a la actividad económica. En 2018, el 87% del gasto en investigación se concentró en tres regiones: Asia Oriental y Asia Sudoriental (40%) —que agrupa a China, Japón y la República de Corea—, América del Norte (27%), y la Unión Europea (19%). En 2014, estas tres regiones representaban el 85% del gasto mundial en investigación (Schneegans y Lewis, J. y T. Straza [editores], 2022). La inversión sostenida en la generación de conocimiento y el desarrollo tecnológico es la característica primordial del modelo de la llamada Economía del Conocimiento (EC).

La EC sostiene como premisa principal que el conocimiento y las tecnologías son base para el crecimiento económico a largo plazo de los países (Paye, 1996). En este sentido, el desarrollo del conocimiento y la calidad de éste se convierte en ventaja competitiva y motor clave del crecimiento económico ya que un país que genera nuevo conocimiento tiene más oportunidades para especializarse en la producción de bienes intensivos en tecnología, los cuales tienen más posibilidades de crear empleos mejor remunerados, más inversión, así como niveles de bienestar superiores para la sociedad en general (CONACYT, 2016).

Así también, en el proceso de producción del conocimiento se reconocen dos grandes pilares: *i)* la formación de capital humano altamente calificado para llevar a cabo funciones de investigación y *ii)* la construcción de infraestructura moderna dedicada a este mismo fin. Ambos elementos son determinantes para impulsar el desarrollo de un sistema nacional equilibrado con alto potencial para construir una economía del conocimiento (CONACYT, 2018b). Por lo tanto, el grado de consolidación del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación (CTI) que tenga un país le permitirá competir en la EC cada vez más globalizada.

Para países en desarrollo como México la fuente primordial de financiamiento de las infraestructuras científicas y tecnológicas es pública. La inversión en este rubro ha sido baja y va de regular a mala: el porcentaje del Producto Interno Público (PIB) dedicado a inversión en investigación y desarrollo para el 2014 fue de 0.44% y para el 2018 de 0.31% (Schneegans y editores, 2022). En el año 2012 se planteó que la meta de inversión nacional en este rubro sería del 1%, situación que no se ha logrado diez años después [2022] (PECITI, 2012).

La cuantificación total de los costos y beneficios sociales y económicos de las instituciones de investigación científica y desarrollo tecnológico no es tarea sencilla. Si bien las infraestructuras de I+D tienen un impacto económico directo y regional vinculado a actividades tales como el empleo de mano de obra durante la fase de construcción, la creación de puestos de trabajo y servicios para su operación y mantenimiento; la complejidad de la cuantificación se deriva de la naturaleza intangible, los tiempos y la incertidumbre asociada a los resultados de la investigación.

Aunado a lo anterior y de acuerdo con un estudio publicado por el Banco Mundial (2017), en México persiste una gran irregularidad en la implementación de los proyectos de inversión, pues están plagados de ausencia de análisis técnicos, estudios de viabilidad económica y social y de una primacía de las decisiones políticas por sobre la evidencia que proveen los análisis técnicos (Fay Marianne et al., 2022).

La carrera contra el reloj hacia modelos intensivos en conocimiento científico, los presupuestos públicos limitados para el desarrollo de I+D en países en desarrollo, así como de la falta de metodologías y técnicas para medir el retorno de esta inversión, son elementos que generan la necesidad de indagar en la teoría y práctica de evaluación de programas y proyectos I+D para desarrollar y aplicar un modelo capaz de evaluar, en términos monetarios, el impacto económico de las instituciones de investigación científica en México.

1.1 Antecedentes de la investigación

En general, los procesos de evaluación de proyectos de la ciencia se circunscriben alrededor de dos grandes paradigmas: el económico y el sociológico. El primero, parte de la premisa fundamental de que la ciencia es una fuerza productiva; un factor necesario del proceso de producción que puede ser analizado con los conceptos y métodos de análisis económico. El segundo, el paradigma sociológico se concentra en el factor social de la ciencia, se interesa por el conjunto de relaciones que mantienen los científicos; manifestaciones de estas relaciones las constituyen las sociedades, los grupos y equipos de trabajo, los colegios invisibles, etc.

La elección del paradigma sustenta el método y éste a su vez las técnicas y herramientas para la implementación. Link y Vonortas (2013), engloban los métodos y sus aplicaciones en cuatro grandes grupos: métodos económicos, no económicos, híbridos y basados en datos. Respecto a las técnicas, éstas pueden ser: encuesta, estimación estadística o econométrica, análisis de patentes, bibliometría, cienciometría, análisis de redes, estudios de casos, seguimientos históricos y juicio de expertos. La utilidad de cada técnica, sin embargo, varía de acuerdo con el alcance, la especificidad y la importancia relativa de los objetivos establecidos.

En la práctica, la mayoría de los enfoques de la evaluación de la investigación científica son pragmáticos y atóricos. Generalmente están orientados a las herramientas, o se basan en una teoría poco desarrollada, la ventaja de los enfoques económicos es que se basan en

décadas de desarrollo de teorías relativamente sólidas como son: la economía de la empresa, la teoría de la elección racional y el crecimiento económico.

Cabe recalcar que, la decisión de optar por un enfoque económico deviene también del propósito de la inversión en I+D. La pregunta que guía a la evaluación enmarcada en el análisis económico se limita a responder ¿Cómo se comparan los beneficios sociales asociados con el programa de I+D financiado con fondos públicos con los costos para la sociedad de emprender o continuar con el programa? En concordancia con esto, la metodología de Costo Beneficio Social resulta ser pertinente en el inicio de la evaluación.

El análisis Costo Beneficio (CB) es una metodología comúnmente empleada por la empresa y el sector privado; pero, cuando el Estado y su gobierno es la institución economizadora, entonces el objetivo del CB se extiende hacia la optimización de la función de bienestar social y reemplaza el enfoque de los beneficios y costos corporativos por los costos y beneficios sociales (Florio, Forte, Pancotti, et al., 2016). El enfoque de análisis se conoce como Costo-Beneficio Social (CBS) y se enmarca en la concepción teórica de la Economía del Bienestar que tiene por objetivo la eficiencia económica y el bienestar social de los contribuyentes del país asimismo se considera como una buena práctica para la planificación estratégica del presupuesto público.

Han sido varias las evaluaciones empíricas que se han realizado en el marco del CBS, entre las que destacan la guía metodológica para la cuantificación de los beneficios económicos de los proyectos del sector de I+D desarrollada por la Red JASPERS de la Comisión Europea en el 2013, basada en un enfoque costo-beneficio, la cual dio la pauta para el desarrollo y la evaluación empírica de los diversos resultados que generan las Entidades de investigación en diversas áreas y contextos de la ciencia (JASPERS, 2013).

El primer caso de estudio analizado se realizó en el área de la física de partículas; en el cual Florio, Forte y Sirtori, (2016), desarrollan el análisis costo-beneficio social del Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés) que actualmente opera en Suiza. En este análisis los autores demuestran que la evaluación de los beneficios puede hacerse cuantitativamente estimando los efectos sobre el bienestar en diferentes tipos de agentes.

El resultado al cual llegan es que hay un 90% de probabilidad de que los beneficios superen los costos y estiman un valor presente neto de EUR\$2.900 millones.

Para el área de la medicina y ciencias de la salud el modelo CBS se aplicó al caso del Centro Nacional de Hadronterapia para el Tratamiento del Cáncer (CNAO) ubicado en Italia. El CNAO es un centro de investigación aplicada especializado en hadronterapia, un tratamiento oncológico avanzado que estudia las ventajas clínicas de la terapia de hadrones en comparación con la radioterapia tradicional. El análisis demostró que el Centro proporciona una contribución neta positiva al bienestar de la sociedad mayor que sus costos de operación. Si bien es cierto que en este caso; la fuente de los beneficios más importantes son principalmente los tratamientos de salud a los pacientes a quienes se les garantiza los beneficios económicos en términos de una vida más larga o mejor calidad de vida; el valor de la producción de conocimiento tiene una relación costo-beneficio positiva donde el valor presente neto esperado asciende a casi EUR\$12.3 millones, con rangos de valores posibles que van de EUR\$6.3 y EUR\$27 millones (Battistoni et al., 2016).

El estudio más reciente está circunscrito al área de la astronomía y astrofísica, en el cual Morretta et al. (2022), estimaron el valor socioeconómico de las publicaciones científicas para el caso del sistema satelital Cosmo-SkayMed financiado por la Agencia Espacial Italiana, institución que tiene el objetivo de realizar observaciones satelitales y cuyos resultados son de carácter público. Este análisis se encontró que el beneficio total de las publicaciones para la comunidad científica es positivo y oscila entre EUR PPS. \$32,4 y \$37,4 millones.

Las tres investigaciones convergen en su conclusión: el método para estimar el costo social de la producción científica es un enfoque fácil de implementar y se puede utilizar para evaluar cualquier infraestructura de investigación o universidad en cualquier campo de estudio. Asimismo, encuentran que hay una relación positiva en términos costo-beneficio del valor de las publicaciones científicas producidas.

1.2 Problema de investigación

Implementar técnicas cuantitativas al análisis y evaluación de los resultados de una institución cuya función primordial es la investigación científica es una actividad compleja por la dificultad metodológica de capturar el valor inherente de la intangibilidad de los bienes que produce, así como también, por la crítica que se opone a otorgarle al conocimiento científico y el capital humano asociado una categoría mercantil e instrumentalista válida únicamente por su valor de cambio. Sin embargo, resulta necesario reconocer que es poco probable que el porcentaje de gasto público que se destina a actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) aumente, ya que en muchos países se observa una reducción del financiamiento público para las universidades (OECD, 2016). Este innegable hecho motiva el presente trabajo de investigación, el cual se suma a los esfuerzos de tan compleja tarea: la valoración socioeconómica de las publicaciones científicas y el capital humano que lo produce.

1.3 Hipótesis

El núcleo de esta investigación se establece en el siguiente enunciado: “Es posible evaluar cuantitativamente [valor monetario] el impacto económico de las instituciones de I+D a través de un modelo Costo-Beneficio-Social”

1.4 Objetivo general

- i. Desarrollar y aplicar un modelo de análisis costo-beneficio social que sea capaz de evaluar, en términos económicos, el impacto económico de las instituciones de investigación científica en México.

1.5 Objetivos específicos

Las preguntas anteriores se responden en los cuatro capítulos interrelacionados que tienen los siguientes objetivos específicos:

- i. Enmarcar teórica y conceptualmente a la investigación

- ii. Describir estado actual del gasto público en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de México
- iii. Desarrollar el modelo teórico-conceptual que evalúe los beneficios sociales y económicos de las infraestructuras de investigación científica y desarrollo tecnológico
- iv. Aplicar el método teórico CBS en un caso de estudio seleccionado de infraestructuras de investigación científica básica en México: (Cinvestav/evaluación Ex-Post)

1.6 Preguntas de investigación

- i. ¿Cuál es el modelo teórico-conceptual que mejor evalúa los beneficios económicos y sociales de las infraestructuras de investigación científica?
- ii. ¿Cuál es el estado actual de las inversiones en I+D en México?
- iii. ¿Cuáles son las fortalezas y limitaciones del modelo de CBS propuesto al probarlo con estudios de casos concretos para México?

1.7 Justificación de la investigación

La relevancia de la presente investigación se sostiene en cinco razones las cuales se circunscriben al doctorado Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad (DCTS) el cual tiene como misión: examinar con un enfoque transdisciplinario de alto nivel la aplicación de la ciencia y la tecnología a la solución de los problemas que enfrentan las sociedades modernas. Asimismo, la investigación se enmarca en la esfera de investigación “*Desarrollo y Prospectiva de la Ciencia y la Tecnología*”. Dichas razones se enuncian a continuación:

1.7.1 Relevancia

Dado que el recurso público es limitado, la toma de decisiones de inversión pública debe asegurarse en la opción óptima y benéfica socialmente entre las distintas alternativas. Por tanto, la relevancia del estudio CBS se eleva a nivel de agenda política e interés público.

Al considerarse el CBS como una metodología integral cuantitativa se propone como un primer paso objetivo y complementario a otros criterios de evaluación de inversión pública pero que contemple un enfoque específico para proyectos de inversión científica y tecnológica los cuales tienen características propias que requieren de un trato diferenciado.

1.7.2 La transdisciplina

El análisis económico como eje transdisciplinario analítico ha desarrollado distintos instrumentos metodológicos para la aproximación a fenómenos sociales desde una perspectiva integral. En este sentido; un análisis CBS, aplicado a instituciones de I+D, es un modelo de evaluación económica multicriterio, heurístico y complejo y, por tanto, no afín a una sola disciplina.

1.7.3 La ciencia, tecnología e innovación

Los estudios sociales sobre ciencia, tecnología y sociedad (abreviado CTS) abarcan un campo transdisciplinar de estudios sobre los efectos culturales, éticos y políticos del conocimiento científico y la innovación tecnológica (López Cerezo José Antonio, 1998). En concordancia con lo anterior, el CBS aplicado a las infraestructuras I+D enfatiza en la utilidad social, apropiaciones e impactos en la vida cotidiana de las personas de la actividad científica. El CBS, bajo la concepción propuesta de Florio et al., (2016) considera al menos seis clases de contribuciones sociales: (1) producción de conocimiento; (2) desarrollo del capital humano; (3) efectos secundarios tecnológicos (spillovers); (4) efectos culturales; (5) el valor puro del descubrimiento o bien público; (6) los servicios a terceros incluidos los consumidores (Florio y Sirtori, 2016).

1.7.4 La sociedad

La infraestructura de investigación científica tiene un impacto en la sociedad en función del conocimiento generado a través de los servicios que ofrecen. Esto se complementa con otro conjunto de impactos económicos directos vinculados a actividades tales como el empleo de la fuerza de trabajo y los empleos y servicios para su operación y mantenimiento. La metodología CBS trata de responder el cuestionamiento sobre ¿Cuál es el efecto de una nueva infraestructura en el bienestar de una comunidad?.

1.8 La metodología

El eje central del CBS es una evaluación (*Ex-Ante* o *Ex-Post*) de los beneficios y costos socioeconómicos inter-temporales expresados en unidades de bienestar (generalmente términos monetarios en valor presente). El efecto neto en la sociedad se calcula mediante un indicador de rendimiento cuantitativo (valor presente neto, tasa interna de rendimiento, o una relación beneficio-costos).

La metodología recurre a cuatro fundamentos 1) precios sombra para capturar beneficios sociales más allá del mercado o el valor financiero; 2) un escenario contrafactual para garantizar que todos los costos y beneficios se estimen en términos incrementales; 3) descuento para convertir cualquier valor pasado y futuro en su equivalente actual; y 4) una identificación consistente de los beneficios sociales con respecto a la teoría de CBA. Así también, considera al menos seis clases de contribuciones sociales de las I+D:(1) producción de conocimiento, (2) desarrollo del capital humano, (3) efectos secundarios tecnológicos (*spillovers*) y (4) efectos culturales, (5) el valor puro del descubrimiento o bien público (6) los servicios a terceros incluidos los consumidores (Florio, Forte, Pancotti, et al., 2016); (Florio, Forte y Sirtori, 2016; Florio y Sirtori, 2016).

Dado que la metodología CBS se realiza con base en los objetivos y la misión de la institución que está siendo estudiada y que el Cinvestav es el caso de análisis de la presente tesis; el estudio se concentra en dos variables: la creación de conocimiento y el capital humano altamente calificado. Lo anterior así se enuncia en el decreto de creación del Centro, la cual es “contribuir de manera destacada al desarrollo de la sociedad mediante la

investigación científica y tecnológica de vanguardia y la formación de recursos humanos de alta calidad” (Cinvestav, 2022).

1.9 Esquema de la tesis

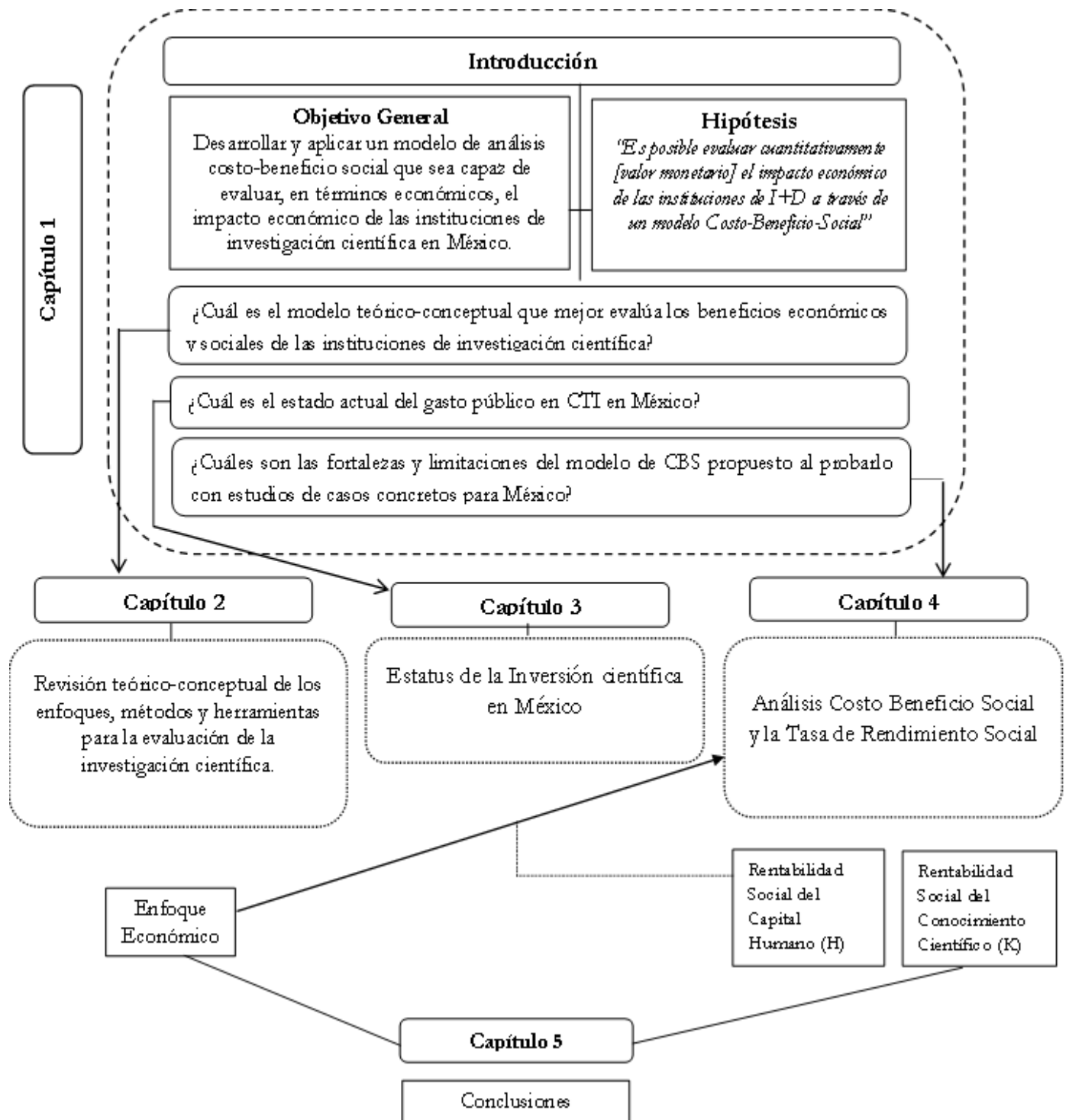
La investigación se divide en cuatro partes a través de las cuales se pretende demostrar que es posible evaluar cuantitativamente [valor monetario] el impacto económico de las instituciones I+D través de un modelo Costo-Beneficio Social.

Para la visualización del razonamiento general de la tesis se realizó la Figura 1: “Esquema de desarrollo de la tesis doctoral”; la cual es un mapa gráfico de la presente disertación. Como puede observarse en la citada figura (ver página siguiente), el flujo de desarrollo se plantea a partir de un estado del conocimiento de la cuestión sobre la evaluación de programas de ciencia y tecnología. Posteriormente se plantean las aportaciones de la tesis doctoral: primero, la valoración monetaria de la publicación de los resultados de la investigación [conocimiento científico] y capital humano que genera dicho conocimiento. Segundo, al probar el modelo de cálculo se confirma que la creación y difusión del conocimiento se puede valorar con técnicas cuantitativas y económicas.

El capítulo uno recoge la descripción del contexto, objetivos, alcance y estructura de esta tesis. El capítulo dos pretende construir un fundamento teórico-conceptual que circunscriba la investigación, para lo cual hace una revisión de los enfoques, métodos y herramientas para la evaluación de la investigación científica. Por un lado, se expone el paradigma economista como preponderante en los procesos de evaluación de la actividad científica y tecnológica y concepción necesaria para el análisis costo-beneficio social. Por otro lado, este capítulo se centra también en los elementos mínimos y necesarios para la aplicación práctica de una evaluación. El capítulo tres describe el estatus actual del gasto público en Ciencia y tecnología del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de México. En este se describieron las tendencias y perspectivas de la inversión en I+D, los actores y mecanismos de la evaluación científica. El capítulo cuatro aborda lo que es la aportación y núcleo de la presente tesis. En él se describe la metodología CBS propuesta como un instrumento para toma de decisiones de inversión basada en dos variables principales:

conocimiento y capital humano. Durante el desarrollo del capítulo se describe la aportación conceptual y matemática de dicha herramienta. En modelo se implementa a un caso práctico escogidos de forma estratégica, con el objetivo de mostrar la aplicabilidad de la propuesta. Finalmente, el capítulo cinco ofrece una perspectiva general del resultado del desarrollo de la tesis y sintetiza las conclusiones principales.

Figura 1: Esquema de desarrollo de la tesis doctoral



1.10 Delimitaciones de los alcances y asunciones importantes

En primer lugar, es importante resaltar que la presente tesis se centra esencialmente en la valoración monetaria de los principales resultados que derivan de una institución de investigación científica y desarrollo experimental, específicamente, el caso del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) considerando el periodo 2016-2018.

El Cinvestav tiene el objetivo explícito de “formar investigadores especialistas a nivel posgrado y expertos en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, así como la realización de investigación básica aplicada de carácter científico, tecnológico y humanístico” y para lograrlo, ejerce el 99.8% del presupuesto en dos finalidades: (1) desarrollo social y (2) desarrollo económico. En correspondencia a esta finalidad, el análisis costo-beneficio social se realizó únicamente a dos variables, para la primera finalidad corresponde la formación de capital humano (H), mientras que, para la segunda, la producción de conocimiento científico (C).

Por consiguiente, no entra dentro del alcance de esta investigación el estudio de otros aspectos relacionados con la gestión, como la planificación, la coordinación o el control de los presupuestos. Si embargo, dichos elementos serán abordados tangencialmente, en la medida en que interaccionen con la cuestión aquí tratada. Por otro lado, tampoco se pretende hacer una aportación específica a la teoría general de los modelos Costo Beneficio Social, sino más bien articular una propuesta con una marcada orientación práctica para México, sin perjuicio del rigor científico.

Capítulo 2

2 Revisión teórico-conceptual de los enfoques, métodos y herramientas para la evaluación de la investigación científica.

En este capítulo se expone el marco teórico-conceptual que sustenta a la investigación, así como los elementos y conceptos básicos necesarios para el entendimiento del desarrollo de esta tesis. Se estableció un marco de análisis circunscrito a la teoría económica neoclásica y al enfoque de la nueva gestión pública que, en conjunto, confluyen en la idea de que las evaluaciones numéricas son más útiles en un ámbito de políticas públicas cada vez más dominado por métricas. Alineado a lo anterior, se opta por el marco metodológico del Análisis Costo-Beneficio Social, que consiste en determinar y ponderar los costos económicos y los beneficios sociales generados en la ejecución del presupuesto público.

Los métodos y herramientas más populares para evaluar a la actividad científica se pueden clasificar en cuatro enfoques: métodos económicos (análisis de impacto económico, enfoque costo-beneficio), no económicos (revisión por pares, modelado lógico), híbridos (análisis de redes sociales) y métodos basados en datos (bibliometría, análisis de patentes). Aquí se abordan solo los métodos más utilizados y que además son necesarios para el tema en cuestión. Finalmente se revisita brevemente la clasificación convencional de la ciencia y se presentan tres marcos referenciales para la caracterización de las distintas actividades de investigación científica, ya que estas distinciones conceptuales constituyen herramientas mínimas para implementar una evaluación científica.

2.2 Paradigmas de evaluación de la investigación científica

Los principales paradigmas que han sido preponderantes en los procesos de evaluación de la actividad científica y tecnológica: el economicista y el sociológico. Se parte de la premisa de que el enfoque o paradigma en el cual se circunscribe cualquier evaluación sustentará el método, el propósito y los objetivos de la investigación.

2.2.1 El enfoque económico en la evaluación científica

La idea de evaluar la actividad científica y tecnológica bajo este enfoque surge de la teoría económica neoclásica que promete un análisis matemático más riguroso y, por lo tanto, se ajusta bien a la necesidad de justificación de los gastos por parte de los responsables políticos y tomadores de decisiones. Normalmente, estos enfoques producen evaluaciones numéricas, útiles en un ámbito de políticas públicas cada vez más dominado por métricas (Kostoff, 2001).

La principal área de interés de la economía neoclásica, corriente principal del pensamiento económico, ha sido la asignación y distribución óptima de los recursos en una sociedad. Para lo cual retoma las ideas de los economistas marginalistas y algunas percepciones provenientes de los autores de la economía clásica. En la escuela marginalista destacan autores como William Stanley Jevons (Jevons, 1879), Alfred Marshall (1890), Carl Menger (1871) y León Walras (1874), quienes buscaron desarrollar una teoría basada en modelos matemáticos rigurosos y objetivos que se resumen en tres principios: i) la maximización como referencia del comportamiento individual, ii) el cálculo en el margen como principio de racionalidad y iii) las matemáticas como técnica de análisis.

Por otra parte, de las numerosas contribuciones al desarrollo del pensamiento económico en general heredadas de la escuela de la Economía Clásica Inglesa [presidida por numerosos economistas y filósofos como: David Hume, Adam Smith, Bentham, David Ricardo, Malthus, James Mill, John Stuart Mill, Senior, Torrens y otros] hay dos características comunes que son bien definidas: i) el examen sistemático de la naturaleza de las relaciones económicas y que ii) apoyan al sistema de libertad como forma de organización social. En estas características se tiene el punto de contacto con el liberalismo económico (Claudio González Vega, 2011).

El enfoque neoclásico dirigido al estudio y análisis económico de la actividad científica ha construido una subdisciplina específica: la Economía de la Ciencia (EC), la cual parte de la premisa de que el saber científico es el motor del crecimiento económico para los países, y en este sentido, asume que la práctica científica cuesta dinero y que los científicos y las instituciones académicas son actores económicos que responden a intereses propios; mientras que los primeros, buscan un salario bien remunerado, incentivos económicos y

prestigio, las segundas compiten por recursos monetarios y reputación (Stephan, P. E., 2012). Para conocer cómo y en qué magnitud la investigación científica y sus actores han contribuido al desarrollo de los países, la EC, circunscrita al paradigma económico neoclásico desarrolla metodologías de evaluación utilizando metodología del análisis económico.

La evaluación del proceso de investigación científica con las técnicas del análisis económico se sostiene en tres teorías relativamente sólidas: 1) la teoría de la elección racional; 2) la teoría del crecimiento económico y 3) la teoría de la empresa. Este apartado no pretende desarrollar todo el entramado teórico y sus implicaciones empíricas, ni tampoco, presentar la formulación matemática que a éstos acompaña; sino más bien, el objetivo es mostrar un breve esbozo de las aportaciones teóricas que son mínimas y necesarias para comprender la contribución de esta en los distintos enfoques de evaluación económica práctica.

2.2.1.1 Teoría de la elección racional (TER)

Las distintas aproximaciones teóricas a la elección racional que se han dado en el ámbito de las ciencias sociales se concentran en tres disciplinas: la economía, la ciencia política y la sociología. Como punto de partida se presenta una perspectiva teórica general desde cada uno de estos tres ámbitos disciplinarios.

Para la ciencia económica la TER se ha definido como un constructo teórico que se basa en el conjunto de axiomas lógicos y matemáticos que explican cómo los agentes económicos procesan la información y toman decisiones; Sapir (2000), considera que la TER se erige como el “núcleo duro” del saber económico, sobre todo en microeconomía, y encuentra sus correlativos macroeconómicos en la Teoría del Equilibrio General" (Escobar Jiménez, 2016, p. 6). Así también, Álvarez (2009) la define como la conjunción de la triada: maximización de los beneficios, equilibrio de mercado y preferencias estables (Escobar Jiménez, 2016, p. 8). En el sentido definido por Álvarez, estas variables serían suficientes para explicar las decisiones racionales de los individuos, sin embargo, cabe destacar el supuesto utilitarista en la cual un agente económico tiene uso y acceso a

información completa en la cual basa sus decisiones y que invariablemente busca maximizar su utilidad individual.

En ciencia política, específicamente en la teoría política positiva; escuela de pensamiento dominante en la ciencia política de fines del siglo XX, la TER es el esfuerzo de la ciencia pública de un cuerpo teórico formal, unificado y acumulable que dé cuenta, a partir de un conjunto simple y reducido de axiomas de los fenómenos relacionados con el poder y la toma de decisiones colectivas. En este caso, William Riker (1920-1993) introduce al análisis político el método axiomático de la TER. El autor parte de la premisa de que los resultados políticos son consecuencia de las elecciones de los diversos actores que busca alcanzar sus propias metas y donde la historia y la cultura son irrelevantes para comprender el comportamiento político (Lewin y Vedung, 1980).

La Sociología de la Elección Racional busca dar cuenta de los resultados sociales sobre la base del contexto social y de la acción individual. Sin embargo, a pesar del progreso de esta en el campo de la Sociología se ha visto limitada por diversas críticas que sociólogos han emitido sobre la falta de realismo de las explicaciones de la elección racional ya que existe un vasto cuerpo de investigación social que revela que las personas a menudo actúan de manera impulsiva, emocional o simplemente por la fuerza de la costumbre, así como que el individuo posee valores y creencias existentes antes de la acción [por tanto, no se da de forma racional]. Según sea la perspectiva analítica de la razón de acción individual, los modelos sociológicos se separan en dos tipos: “*delgados*” y “*gruesos*”.

En los modelos “*delgados*” de elección racional no se preocupan por los valores (o metas) particulares que persiguen los individuos, sino que parten del supuesto en el que cualesquiera que sean los valores de un individuo estos son estables y transitivos (si alguien prefiere *a* de *b* y *b* de *c*, debe preferir entonces *a* de *c*). Estos modelos son como los que se encuentran generalmente en la economía: universalistas. En esa medida, los modelos “*delgados*” se asemejan a las teorías de la física y la biología sobre el comportamiento óptimo de los átomos y los organismos.

Por otro lado, los modelos “*gruesos*” de acción individual permiten algunos aspectos de la intencionalidad; dado que las personas tienen razones para hacer lo que hacen su comportamiento es predecible solo si sabemos qué los motiva. Por lo tanto, estos modelos especifican los valores y creencias existentes del individuo. Con base en Max Weber (1864-1920) hay varios medios para hacerlo, pero la estrategia más popular ha sido suponer que los individuos buscan cantidades máximas de bienes privados intercambiables como la riqueza y, posiblemente, el poder o el prestigio (Hechter y Kanazawa, 2019 p.5).

Todas estas orientaciones de la elección racional [económica, política o social] parten de la idea del individualismo metodológico, es decir, aceptar que los fenómenos sociales deben explicarse a partir de acciones de los individuos. Así también, consideran tres argumentos básicos: 1) los individuos toman decisiones racionales con arreglo a fines, 2) dadas sus preferencias (elemento subjetivo de la acción) y 3) teniendo en cuenta cuáles son las restricciones en las que pueden tomar sus decisiones (elemento objetivo de la acción), (Martínez García, 2004, p. 140). En suma; estos principios básicos configuran una teoría general de la acción social que se conjuga en la siguiente idea: las acciones son producto de la relación entre las restricciones o escasez y las preferencias mediadas por una racionalidad instrumental.

Dado que la escasez, las preferencias y la racionalidad instrumentalista son el núcleo duro de la TER, es importante aclarar qué se entiende conceptualmente por cada uno de estos elementos: primero, debe de entenderse por el término escasez, el uso que los economistas hacen de la palabra; “una situación en la cual las necesidades y deseos de un individuo o grupo de individuos exceden los recursos disponibles para ser satisfechos” (Martínez García, 2004, p. 143). En otros términos, hay escasez siempre que tengamos que renunciar a un posible curso de acción para seguir otro¹. Segundo, respecto a las preferencias individuales Martínez García menciona que es una relación ordinal de distintos estados entre los que el individuo puede elegir. Dada una alternativa entre dos elementos simples

¹ La escasez y recursos limitados tienen implícito un costo de oportunidad, el cual se define como aquel costo tangible o no en el que se incurre al tomar una decisión y no otra, o, dicho de otra forma, es el valor o utilidad que se sacrifica por elegir una alternativa A y descartar una alternativa B.

(un bien) o compuestos (una cesta de bienes), pudiendo generalizar los bienes a estados o situaciones, el individuo sabe cuál es el par de la comparación que prefiere². Finalmente, para Friedman (1953), el supuesto de racionalidad instrumental es [...] un artefacto tecnológico que nos ayuda a organizar nuestra información y a predecir hechos. (Martínez García, 2004, p. 152).

2.2.1.2 Teorías modernas y contemporáneas del crecimiento económico

Las teorías del crecimiento económico surgen del interés de diversos economistas por entender por qué los países tienen tasas de crecimiento a largo plazo tan distintas entre ellos y cuáles son los determinantes teóricos y empíricos que influyen en dicho crecimiento. En la concepción más simple, el crecimiento económico se define como el aumento de la renta o valor de bienes y servicios finales producidos por una economía (generalmente de un país o una región) en determinado periodo (generalmente en un año)[...] y habitualmente se mide en porcentaje de aumento del Producto Interno Bruto (PIB) (Wikipedia, 2022). Sin embargo, más allá de esta convencional definición técnica y al tratarse de un fenómeno económico dinámico que induce cambios estructurales en distintos sectores productivos, Enríquez (2016), menciona que el crecimiento económico remite a relaciones sociales y, especialmente, a las relaciones de producción que [en su conjunto] se encuentran imbricadas en estructuras y relaciones de poder y en entramados institucionales que las modelan y encauzan en el contexto del proceso de acumulación de capital. Por tanto, [...] el crecimiento económico es un proceso encauzado e incentivado desde la política económica y demás instrumentos económicos diseñados y adoptados por el aparato de Estado para incidir en la construcción de los mercados y en su expansión (Enríquez Pérez, 2016, pp. 76–77).

2 Las preferencias, para permitir una elección racional, deben cumplir tres supuestos, que permiten su ordenación: ser reflexivas, completas y transitivas. A) Reflexivas: cada elemento es comparable consigo mismo. Supuesto trivial, pero axioma necesario para poder construir unas reglas consistentes de elección. B) Completas: cualquier conjunto de elementos que se presente es comparable, es decir, cualquier conjunto posee alguna característica común en mayor o menor medida, característica representable normalmente por dinero o por tiempo. En los ámbitos más propios de la economía este supuesto no suele presentar ningún problema, pues podemos mantener que la característica común medida es simplemente el precio monetario. C) Transitivas: si se prefiere A de B; B de C, entonces prefiere A de C ($A > B; B > C \Rightarrow A > C$).

Con base en la idea anterior y dado que el objetivo es que las variables que están relacionadas significativamente con la tasa de crecimiento del PIB aumenten; los economistas han desarrollado diversos modelos teóricos y empíricos para establecer de modo lógico y cuantitativo la relación entre determinadas estrategias económicas y sus indicadores.

Desde una perspectiva cronológica, el inicio de la teoría moderna del crecimiento es el artículo de Frank Ramsey (1928) titulado “*A Mathematical Theory of Saving*” y que posteriormente fue publicado en el *Economic Journal* en marzo de 1930. El artículo responde a la pregunta: ¿cuánto de sus ingresos debe ahorrar una nación? y cuya respuesta deriva en la Regla Keynes-Ramsay que enuncia que la tasa de ahorro, multiplicada por la utilidad marginal de consumo, debe ser siempre igual a la cantidad por la cual la tasa total neta de utilidad no llega a la tasa máxima posible (Eatwell et al., 1990). Esta idea central sirvió de modelo para casi todos los estudios subsecuentes sobre crecimiento económico óptimo.

A finales de los cincuenta, Harrod (1939) y Domar (1946) se suman al análisis Ramsey-Keynes mediante una función de producción de dos factores productivos: trabajo y capital, con coeficientes fijos y una propensión marginal a ahorrar fija y delimitada exógenamente. Con esta aproximación concluyen que el crecimiento de la producción de un país está en función de la demanda en el largo plazo y que es posible la presencia en el largo plazo de dificultades, como escasez de mano de obra [según Harrod], y escasez de inversión, [según Domar] que obstaculizan el logro de un crecimiento equilibrado con pleno empleo.

Las siguientes aportaciones en la materia fueron las de los economistas Robert M. Solow (1956) y Trevor Swan (1956). El modelo conocido como Solow-Swan (1956) es uno de los modelos más importantes de la teoría de crecimiento económico llegándose a considerar incluso punto de partida de la teoría económica. El modelo revela que el crecimiento económico llega a su fin cuando las variables per cápita alcanzan los niveles compatibles con el estado estacionario y que la tasa de crecimiento per cápita en el estado estacionario está determinada exclusivamente por cambios exógenos de la variable tecnología (Ronny Alexander Farinango Salazar et al., 2020, p. 55). Para demostrar lo anterior, los autores construyen una función de producción con dos insumos factoriales:

trabajo y capital; asumen un alto grado de sustituibilidad entre estos factores de la producción. La diferencia sustancial del modelo antecesor, Harrod y Domar (1946), es que el modelo Solow-Swan modificó la función de producción, dejando de lado la función de coeficientes fijos e introduciendo una función de producción que permitiera la sustitución entre el capital y el factor trabajo, en interés de tornar la variable relación capital-producto para posicionar a la economía o hacerla converger hacia un equilibrio de largo plazo o a un estado estacionario. En este sentido, como menciona Martín y Barro (2018) el aspecto básico del modelo Solow-Swan radica en la forma neoclásica de la función de producción (Martín y Barro, 2018).

Respecto de la función de producción neoclásica, esta cumple tres características importantes: rendimientos constantes a escala, productividad marginal de los factores positiva pero decreciente y el cumplimiento de las condiciones de Inada (la productividad marginal de los factores tiende a “cero” cuando el factor tiende a infinito, y tiende a infinito cuando el capital tiende a “cero”) (Martín, 1999).

La función Cobb-Douglas³ es la función de producción neoclásica por excelencia, ampliamente utilizada en la economía y puede utilizarse para derivar la ecuación fundamental de crecimiento del modelo Solow-Swan, la cual se enuncia de la siguiente forma:

$$k_t = sA_t k_t^\alpha - (d + n)k_t$$

Donde:

- k = Capital total
- s = Ahorro per cápita
- A : es una constante, denominado función de producción de tecnología

³ La función Cobb-Douglas se enuncia como $Y = AK_t^\alpha L_t^\beta$ donde α y β son los parámetros que representan el peso de los factores productivos K (capital) y L (trabajo) en la distribución de la renta. A es el progreso técnico o productividad total de los factores (PTF). La PTF no es una variable directamente observable pues representa un estado no cuantificable formado por factores tales como: la organización empresarial, los conocimientos de los empresarios y trabajadores o el nivel de aplicación de la tecnología. Por tanto, esta función de producción está compuesta por dos factores productivos que se mantienen constantes en el tiempo y un factor adicional (progreso técnico)

- d = Depreciación
- n = Crecimiento poblacional
- α = Coeficiente de los rendimientos marginales decrecientes

La ecuación nos muestra como la renta per cápita de un país depende de la diferencia entre el ahorro per cápita (s) y la inversión necesaria para que el capital per cápita se mantenga constante. Por lo tanto, vemos que, a mayor ahorro e inversión, mayor crecimiento económico, y a menor crecimiento poblacional (n) o menor depreciación, mayor es el crecimiento económico. En esta ecuación, la tasa de ahorro (s), la de depreciación (d) así como la del crecimiento de la población se consideran constantes. Además, el trabajo y la población coinciden.

El modelo que completó el análisis neoclásico del crecimiento fue el modelo Ramsey-Cass-Koopmans, desarrollado por los economistas David Cass (1965) y Tjalling Koopmans (1965). Se trata del primer modelo de crecimiento óptimo intertemporal en el que el ahorro y, por consecuencia, el de consumo, no están dados a priori, sino que son endógenos, se determinan racionalmente y responden a las preferencias y restricciones presupuestarias en el tiempo de las familias consumidoras. Para explicar esto, los autores introducen en el modelo neoclásico dos ideas: la de optimización intertemporal del consumidor del modelo de Ramsey (1928) y la tasa de ahorro creciente, decreciente o constante según la combinación de los parámetros estructurales. Lo anterior derivó en una versión más sofisticada y mejor microfundamentada del modelo neoclásico de Robert Solow.

Las tres teorías del crecimiento económico hasta aquí expuestas; Harrod-Domar (1946), Solow-Sawm (1950) y Ramsay-Cass-Koopmans (1965) son modelos de carácter exógeno que explican como una economía solo podrá disfrutar de crecimiento económico *ad infinitum* si ocurre un choque exógeno [un cambio tecnológico], tal que desplaza la función de producción hacia un nuevo punto compatible con un estado estacionario más alto (Ronny Alexander Farinango Salazar et al., 2020, p. 55).

Sin embargo y a pesar de ser modelos ampliamente difundidos, éstos no están libres de críticas. Kenneth Arrow (1962) dijo que un enfoque de crecimiento económico que depende en tan gran medida de una variable exógena, es notoriamente insatisfactorio

desde el punto de vista intelectual (Martin, 1999). Con el objeto de resolver los puntos de crítica hacia estos modelos, los investigadores introdujeron algunos rasgos de competencia imperfecta con los cuales el nivel de tecnología pudiera mejorar a través de actuaciones deliberadas tales como los gastos en I+D (Martín y Barro, 2018). Como resultado se generaron los primeros modelos de crecimiento orientados a responder dónde surge la innovación tecnológica que hace progresar la economía.

2.2.1.2.1 Teorías del crecimiento endógeno y la concepción de la idea de la economía del conocimiento

En los últimos treinta años el análisis del crecimiento económico se encuentra dominado por la teoría endógena. Este constructo teórico sostiene que el crecimiento económico es el resultado de factores endógenos y no de fuerzas externas como propone la teoría neoclásica. Como resultado de este supuesto los modelos han endogeneizado el progreso tecnológico; entendiendo por tecnología a la “formula” o el “conocimiento” que permite a las empresas “mezclar” capital y trabajo para producir un producto atractivo para los consumidores (Martin, 1999). Para la TCE factores como el capital humano, la innovación, el conocimiento, las externalidades económicas y el efecto *spillover* son las bases de crecimiento económico en el largo plazo; por tanto, ciertas políticas pueden tener efectos positivos en la tasa de crecimiento. Dichas políticas pueden ser subsidios a la investigación o a la educación que agregan un aliciente a la innovación.

El estudio del crecimiento endógeno puede clasificarse en tres grandes grupos: en el primero encontramos a Paul Romer (1986), Robert Lucas (1988), Sergio Rebelo (1991) y Robert Barro (1991) quienes explican el crecimiento económico mediante la supresión de rendimientos decrecientes de las externalidades. En un segundo grupo, se distinguen los modelos de Paul Romer (1987,1990), Philippe Aghion y Peter Howitt (1992 y 1998), y Gene Grossman y Elhanan Helpman (1991) quienes introducen la competencia imperfecta y la idea de crecimiento a través del progreso tecnológico. Por último, un tercer tipo de modelos explican el crecimiento económico por medio de la fuerza de la demanda. En este último encontramos las teorías de Cornwall (1972), Peter Skott (1989), Nicolás

Kaldor (1970, 1972, 1981, 1985), Anthony Thirlwall (1979) y Edward J. Nell (1992) (Martin, 1999).

El elemento común de todos estos modelos es la existencia de las empresas dedicadas a la investigación y desarrollo (I+D) que deciden invertir una cierta cantidad de recursos para crear nuevos productos, es decir innovar, y una vez que los han desarrollado poseer una patente que les da un monopolio para su producción o alquiler. Aclarando que la inversión I+D no es altruista, sino que esta busca maximizar su beneficio.

2.2.1.3 Teoría de la empresa

La Empresa como organización económica en el enfoque neoclásico se explicó mediante el factor tecnológico, así que la empresa es el lugar que permite transformar ciertos factores de producción (trabajo, capital fijo, capital circulante, capital humano) en resultados (bienes y servicios comercializados en el mercado). En este orden de ideas, Ricketts (2003) expone que [...] la empresa es la unidad microeconómica fundamental en la teoría de la oferta. Las empresas existen y se reconocen por su función, que es la de transformar las entradas de los factores de producción en salidas de bienes y servicios. Con algunas excepciones notables, la asimetría implícita entre la teoría de la demanda, con su énfasis en el consumidor individual como bloque fundamental en la construcción de la microeconomía, y en la teoría de la oferta, con su énfasis en la empresa rara vez se explora (Ricketts, 2003).

La ruptura de la visión neoclásica de la empresa trajo consigo el desarrollo de varios enfoques alternativos que buscan explicar los fenómenos económicos y empresariales, tanto en el plano de sus relaciones en la estructura interna de la empresa y de sus actividades, como en el de la estructura externa, según un comportamiento definido que logre sus leyes de equilibrio.

Desde la perspectiva microeconómica el reto más importante de la Empresa es la competitividad, esto significa tener una operación económica rentable que produzca mercancías eficientemente y genere nuevo valor y riqueza. Para lograr lo anterior, la

Empresa implementa estrategias administrativas que incluyen el conjunto de decisiones y acciones gerenciales para la optimización continua de su función de producción (FP). La FP muestra las distintas cantidades de producto que se puede obtener combinando distintas cantidades de factores productivos y dado cierto nivel de conocimientos o tecnología.

Trasladando la lógica económica de la Empresa, sector privado, a las Instituciones científicas, sector público, tenemos que la FP académica o de educación, consiste en la manera en cómo la escuela [institución I+D] utiliza los recursos (*inputs*) que posee para producir un bien educativo como salida (*outputs*) que pueden ser expresados en términos de rendimiento, matrícula, etc. (Carnoy et al., 2006). En el caso de la escuela con objetivos múltiples estos pueden ser los establecidos en el plan de producción. El mismo autor define el marco conceptual básico de una función de producción educativa con la trayectoria de la siguiente figura:

Figura 2: Marco básico de la Función de Producción Educativa



Fuente: (Carnoy et al., 2006)

2.3 Métodos de evaluación científica

El interés de evaluar la eficiencia de la inversión pública en programas de investigación I+D ha promovido el desarrollo de distintos métodos de evaluación los cuales utilizan una serie de herramientas cuantitativas, cualitativas y mixtas que cambiarán según el enfoque analítico e interés del evaluador. Link y Vonortas (2013), engloban dichos métodos en cuatro enfoques: métodos económicos (análisis de impacto económico, enfoque costo-beneficio), no económicos (revisión por pares, modelado lógico), híbridos (análisis de redes sociales) y métodos basados en datos (bibliometría, análisis de patentes) (Link y Vonortas, 2013b). La utilidad y aplicabilidad de cada técnica varía de acuerdo con los objetivos específicos y la etapa cronológica del programa I+D en cuestión. Respecto a los

objetivos, estos cambian de acuerdo con el área y tipo de investigación (investigación, desarrollo e innovación). Sobre la etapa cronológica del proyecto; los impactos tecnológicos, económicos y sociales que se esperan en la etapa de gestación del proyecto difieren totalmente de los resultados que se esperan cuando está en operaciones o cuándo concluye.

En esta parte de la investigación se abordan brevemente algunos de los métodos y técnicas más populares en la evaluación de la actividad científica y tecnológica. Estas pueden usarse solas o en combinación (métodos mixtos) y pueden implicar la recopilación de datos primarios o secundarios, así como estar dirigidos a uno o más de los productos e impactos asociados con los objetivos de un programa.

2.3.1 Métodos económicos de evaluación

El supuesto que circunscribe a la evaluación de carácter económico es el criterio de la eficiencia. En general, se busca que exista una distribución eficiente de los recursos donde la selección de insumos de factores minimice el costo de producir bienes y servicios para satisfacer deseos dados, sujeto a limitaciones tecnológicas y de recursos. Esta asignación incluye la eficiencia tanto de la producción como de la distribución (Rutherford, 1995). Los métodos económicos de evaluación más comunes son los análisis de impacto económico, las evaluaciones costo-beneficio y los modelos econométricos y estadísticos.

2.3.1.1 Análisis costo-beneficio social

El análisis costo beneficio (CB) es una de las herramientas más populares para la evaluación de proyectos de inversión, de planeación y ejecución presupuestaria. Si bien es cierto, su utilización ha sido mayormente en la esfera privada, Empresas y Compañías metódicamente justifican la entrada o salida en distintos proyectos de inversión con base en los análisis costo-beneficio. En el ámbito público, cada vez hay mayor aceptación mundial como una herramienta para juzgar la eficiencia de los proyectos. Al tratarse de la evaluación de políticas y programas públicos el Costo-Beneficio Social (CBS) reemplaza el enfoque de los beneficios y costos privados por los beneficios y costos sociales (Florio, Forte, Pancotti, et al., 2016). Los criterios con los cuales la empresa privada evalúa sus actividades son marcadamente diferentes de los que se aplican en la evaluación de las

actividades públicas o sociales. En general, las actividades privadas se evalúan en términos de ganancias mientras que las públicas se evalúan en términos del bienestar general para toda la sociedad.

La metodología de análisis CBS surge como mecanismo de evaluación dentro de la concepción teórica de la economía del bienestar aplicada y su núcleo de análisis es la política pública. Este mecanismo tradicionalmente se ha aplicado a infraestructuras como transporte, agua y energía y recientemente se ha extendido con éxito a sectores como medio ambiente, la educación y la cultura. Países con una larga tradición en el uso de modelos CBS son Estados Unidos de América, Francia y Reino Unido; cuyos gobiernos nacionales han emitido guías de análisis CBS con directrices específicas para evaluar los beneficios netos en los campos de interés público.

El eje central del análisis CBS es la evaluación intertemporal (*Ex-post* o *Ex-ante*)⁴ de los beneficios y costos sociales de un proyecto o presupuesto implementado. Estos costos y beneficios se expresan en unidades de bienestar que generalmente son términos monetarios. El concepto de costo social se refiere al costo total que debe pagar la sociedad cuando ocurre un acto de utilizar un recurso público. Este costo es pagado por el generador de la acción (Costo interno) y por la sociedad externa a dicho generador (Costo externo) donde la suma de dichos costos es el Costo Social Neto. Respecto a los beneficios sociales, la sociedad no efectúa un pago directo por recibirlos, estos son principalmente externos a la entidad que toma las decisiones que provocan estos beneficios (Fabrycky et al., 1981).

Metodológicamente el CBS proporciona un conjunto de procedimientos para comparar beneficios y costos asociados tradicionalmente con la intervención del gobierno. La justificación subyacente del CBS es la elección racional; es decir, un agente racional sopesará los costos y beneficios de cualquier actividad propuesta y solo emprenderá la actividad si los beneficios exceden los costos. El efecto neto en la sociedad se calcula

⁴ La evaluación puede ser *Ex-ante* cuando se trata de un proyecto que se llevará a cabo o *Ex-post* si la evaluación busca retroalimentar metodologías y corregir desviaciones de un proyecto que ya ha sido implementado. Sobre este tema se ahonda en el apartado 4.3

mediante indicadores de rendimiento financiero cuantitativo como son: Tasa Interna de Rendimiento Económico (TIRE), el Valor Presente Neto Esperado (VPNE) o la relación beneficio-costos (RCB).

La ecuación típica del análisis CBS se presente en la igualdad 2.3.1.2 (1). En este marco conceptual, el modelo de CBS consiste en pronosticar, en términos incrementales, el valor presente neto esperado de los proyectos.

Ecuación 2.3.1.2 (1)

$$\mathbb{E}VPN_P = \mathbb{E} [(VPN_{B_u}) + (VPN_{B_n})] - \mathbb{E} (VPN_{C_u})$$

Donde:

- $\mathbb{E}VPN_P$ es la suma del valor presente neto esperado de los beneficios y costos económicos del Proyecto.
- $\mathbb{E} VPN_{B_u}$ es el valor presente neto de los beneficios sociales con cualquier uso práctico real o predecible del proyecto
- $\mathbb{E} VPN_{B_n}$ es el valor presente neto esperado de un posible uso que aún no se ha identificado.
- $\mathbb{E} VPN_{C_u}$ es el valor presente neto esperado de los costos

Con base en la ecuación se determina la relación beneficio/costo, el cual es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a la sociedad. Si el resultado es mayor que 1, significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos. En otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y, en consecuencia, el proyecto generará riqueza a una comunidad que se traduce en beneficio social.

Respecto al CBS aplicado a Infraestructuras I+D; Griliches (1958) fue pionero en la aplicación de conocimientos económicos fundamentales para el desarrollo de estimaciones de tasas de retorno privadas y sociales de las inversiones públicas en I+D. Los flujos de

desembolsos de inversión a lo largo del tiempo (los costos) generan flujos de superávit económico a lo largo del tiempo (los beneficios) (Griliches, 1958). Una vez identificados y medidos, estos flujos de costos y beneficios se utilizan para calcular las tasas de rendimiento, las relaciones costo-beneficio y otras métricas relacionadas.

2.3.2 Métodos no económicos de evaluación científica

Este apartado se enfoca específicamente en los procedimientos cualitativos que se han implementado en los procesos de evaluación de la ciencia. La investigación cualitativa se define como un proceso que permite analizar las características y problemas del fenómeno a evaluar desde la perspectiva de los actores involucrados y el entorno. Se realiza a través de un contacto directo y continuo en el campo de estudio, esto permite obtener una visión general de la cultura y el contexto donde se ubica el objeto de estudio (Quecedo y Castaño, 2022). Las técnicas que se utilizan en este tipo de investigación son la observación, la entrevista en profundidad, los cuestionarios, entre otras que generan datos descriptivos. En materia de evaluación científica, la “revisión por pares” es probablemente la herramienta más antigua y utilizada, la cual se caracteriza por su carácter cualitativo y no económico. Los términos “revisión por pares” y “paneles de expertos” se usan indistintamente para describir los procedimientos que se usan para seleccionar las propuestas que compiten por el financiamiento; aceptar o rechazar manuscritos enviados para su publicación en revistas con revisión por pares (*peer review*); evaluar si las políticas o programas de una agencia han logrado los objetivos previstos, entre otras situaciones relacionadas (Link y Vonortas, 2013b).

2.3.2.1 Revisión por pares

La revisión por pares es un mecanismo cualitativo de valoración crítica de la actividad científica la cual se ha institucionalizado como práctica para medir y calificar el quehacer científico. Propiamente se define como la “evaluación de los resultados de investigaciones científicas o proyectos sobre la competencia, la importancia y la originalidad, por parte de expertos calificados que investigan y presentan trabajos para su publicación en el mismo campo (pares)” (Brown, 2004). Sin embargo, los procedimientos de la revisión por pares no son exclusivos para aceptar o rechazar manuscritos enviados

para su publicación en revistas científicas, sino que se utilizan en diversas situaciones relacionadas a tareas académicas como: seleccionar proyectos de investigadores o universidades que compiten por financiamiento gubernamental; juzgar el desempeño de un investigador que busca la promoción a un rango académico más alto o bien, evaluar si las políticas o programas han logrado los objetivos y justificar la continuación o no de este. (Link y Vonortas, 2013b). En esencia, la técnica se basa en los consejos y recomendaciones de personas consideradas expertas en virtud de su experiencia técnica, conocimientos y reconocimiento de otros expertos de la misma área.

Hay diferentes formas de revisión por pares, los tipos más comunes son: cerrado, doble ciego y abierto: en el primero, los revisores son conscientes de las identidades de los autores, pero los autores no saben quién revisó su manuscrito. En el segundo, el tipo doble ciego, ni los autores ni los revisores conocen las identidades de los demás. En el tercero, que es del tipo abierto, los revisores son conscientes de la identidad de los autores y la identidad de los revisores se revela a los autores (www.springer.com, 2022).

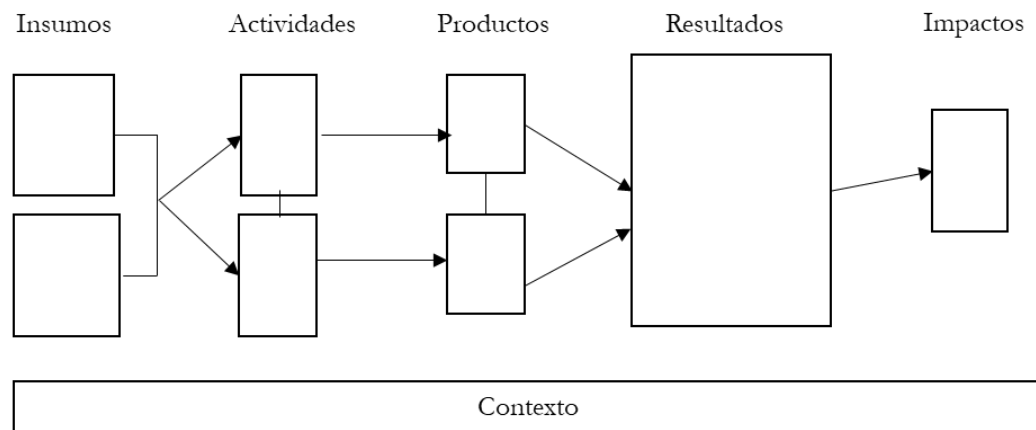
La técnica ha sido analizada desde dos perspectivas; las ventajas y desventajas. Respecto de las ventajas destaca que sólo mediante este procedimiento es posible obtener juicios válidos y directos sobre la calidad de productos o procesos, a diferencia de indicadores que sólo reflejarían aproximada y parcialmente los aspectos cualitativos de aquellos. También se valora que la revisión por pares sea flexible, que se adapte a las tradiciones de las diversas disciplinas o, incluso, paradigmas o escuelas. Asimismo, puede usarse, con adaptaciones mínimas, a diversos tipos de unidades, instituciones, carreras, o proyectos (Ladrón de Guevara Cervera, Michele et al., 2008, p. 265)

2.3.2.2 Modelado lógico

Los modelos lógicos (ML) son una herramienta cualitativa de diseño, implementación y evaluación de proyectos y programas, no solo de ciencia y tecnología, sino que por su versatilidad ha sido aplicada en la mayoría de las disciplinas con diferentes marcos teóricos y enfoques de evaluación. En general, un ML es una representación gráfica de organizar información y mostrar el proceso de pensamiento. Es también, una aproximación visual a los mapas implícitos que todos llevamos en nuestras mentes acerca de cómo funciona o

debería funcionar el mundo (Frechtling, 2015). En particular los modelos lógicos describen la acción planeada y los resultados esperados de un proyecto específico de manera gráfica. La Fundación Kellogg (2004) precisa que como mínimo, el ML incluye un conjunto de siete componentes: insumos, actividades, productos, resultados, impactos, contexto y las conexiones entre estos. Las interrelaciones entre los componentes [identificadas con flechas y líneas] son críticas en el mapeo lógico del modelo ya que estas muestran interdependencias o consecuencias esperadas. La figura 3 expone un modelo lógico horizontal muy simple pero ilustrativo de las características mínimas de los modelos lógicos.

Figura 3: Modelo Lógico Básico



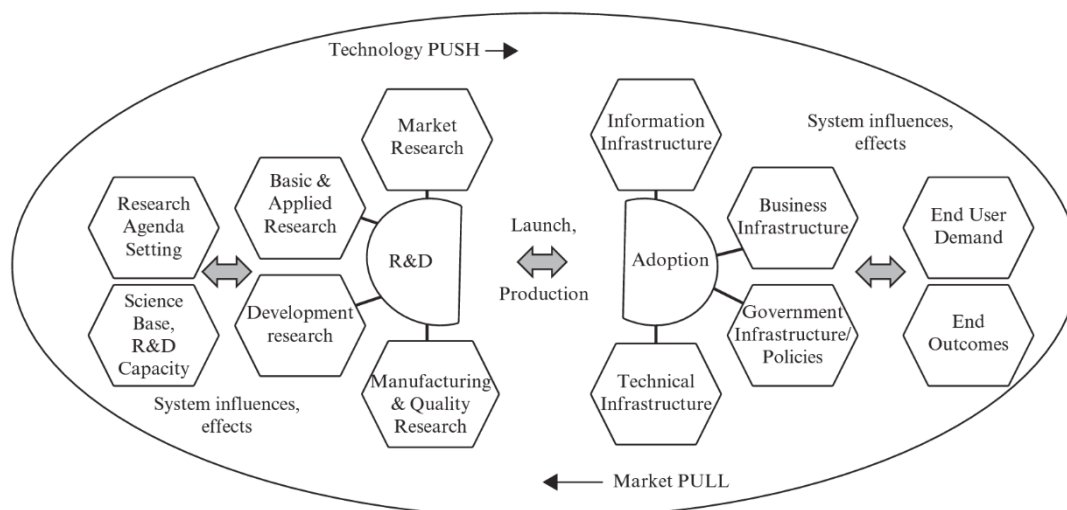
Fundación Kellogg (2004)

Cabe destacar que los modelos lógicos horizontales son los más simples; sin embargo, existen otros tipos de representaciones gráficas como son: los modelos lógicos verticales y los no lineales que se retroalimentan entre los mismos componentes. La forma gráfica dependerá del número y de la complejidad de interrelaciones entre componentes.

En materia de desarrollo científico y tecnológico; Jordan (2010) desarrolló un modelo lógico genérico para describir el ciclo de vida de la I+D [componente 1] y el proceso de adopción o difusión de mercado [componente 2]. En el modelo, el autor expone las interacciones entre estos dos elementos, en donde, a medida que el producto se adapta a las diferentes demandas o nuevos descubrimientos abren otras oportunidades de mercado (Jordan, 2010). La abstracción de Jordan (2010); que se presenta en la Figura 4, se

caracteriza por ser no lineal e iterativa entre los elementos. En este sentido, el punto principal de la representación del modelo lógico es que el proceso viene de cualquier punto del desarrollo y de manera concurrente o iterativa a través de conexiones hechas entre los elementos y no es solo un relevo donde la investigación básica pasa a la investigación aplicada y que luego pasa la investigación y desarrollo, tal es el caso del modelo lineal.

Figura 4: Modelo lógico de Sistemas: del ciclo de vida de I+D a la adopción o difusión



Fuente: (Jordan, 2010)

Del lado izquierdo del diagrama están los elementos que influyen en la lógica del desarrollo de la I+D. Aquí se observan seis campos [actividades] de la investigación: básica y aplicada, de desarrollo, de fabricación y calidad y de mercado. Otros elementos [insumos] que influyen en las actividades y a su vez en los resultados son: la agenda de investigación y las capacidades científicas. En el lado derecho del diagrama lógico está el proceso de adopción del mercado. Aquí hay tres áreas de [actividades] infraestructura de mercado que aumentan la infraestructura técnica: la infraestructura comercial, infraestructura gubernamental y la infraestructura de información, así como, la demanda del usuario final [insumo] y los resultados finales.

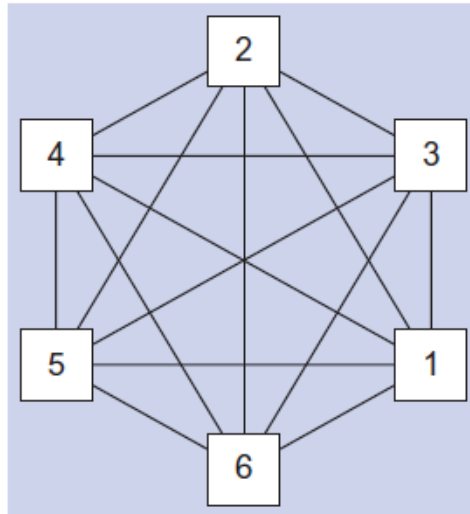
2.3.3 Métodos híbridos

La metodología de investigación híbrida es aquella que combina tanto los métodos cuantitativos como los cualitativos en el mismo análisis; tradicionalmente ha sido ampliamente utilizada en varios campos disciplinares como la educación y la sociología. El enfoque híbrido se clasifica dentro de lo que se conoce en el ámbito de las ciencias sociales como: estrategia de triangulación metodológica, a través de la cual, los investigadores aprovechan lo mejor de cada método [cualitativo y cuantitativo] superando así las deficiencias de cada uno; se considera que las debilidades de cada método son a menudo las fortalezas del otro (Molina Azorín José F et al., 2012). Así también, (Tashakkori y Teddlie, 2010) señalan que los estudios híbridos son superiores a la utilización de una aproximación monométodo. El análisis de redes sociales es una herramienta analítica híbrida muy importante para evaluar el desempeño de la actividad científica. Su principal potencial radica en mejorar la comprensión de los impactos estructurales y del desarrollo de capacidades de la inversión en I+D (Link y Vonortas, 2013b).

2.3.3.1 Análisis de redes sociales

El análisis de redes sociales (ARS) ha recibido una atención significativa en los últimos años debido a la proliferación de datos de las distintas comunidades en línea que se pueden recopilar fácilmente en una gran cantidad de redes. Como sugiere el nombre, el ARS se refiere al proceso de representar redes de personas como gráficos y luego explorar estos grafos. Una representación típica de una red social (Figura 5) tiene nodos para personas y aristas que conectan dos nodos para representar una o más relaciones entre ellos; el gráfico resultante puede revelar patrones de conexión entre las personas (Powell, 2015).

Figura 5: Representación gráfica de la Red Social



La gráfica de red social es $G=(V,E)$, en el que V es un conjunto de nodos correspondientes a personas y E es un conjunto de aristas (Etiquetadas 1,2,3,4,5,6) correspondientes a las relaciones de las respectivas personas.

Las redes pequeñas se pueden representar visualmente, y estas visualizaciones son intuitivas y pueden hacer patrones aparentes de conexiones y revelar nodos que están altamente conectados o que juegan un papel fundamental en la conexión de grupos. A medida que crece la representación de la red de una comunidad se hace necesario aplicar técnicas analíticas de gráficos para calcular las características de los nodos y el gráfico como un todo. Muchas de las técnicas de minería de datos y análisis de redes sociales han sido investigadas en la literatura científica, entre las cuales, las medidas de centralidad y las medidas de similitud son las más populares. En general, las medidas de centralidad determinan la importancia relativa de un nodo en una red social. Las medidas de similitud calculan la semejanza entre dos subgrupos dentro de una red social. Ejemplos de las primeras son la centralidad de grado, la centralidad de cercanía y la centralidad de intermediación son las medidas típicas; mientras que, la información mutua y coeficiente de agrupación son algunas medidas de similitud comunes (Yang, 2013).

La aplicación de este análisis tradicionalmente se había implementado a los campos de marketing, administración, sociología, psicología y seguridad nacional. Sin embargo, en la literatura más reciente se encuentran aplicaciones en epidemiología, identificación de expertos, redes sociales criminales y redes sociales académicas. Estas últimas, ha sido de gran interés para la evaluación de la actividad científica. Los modelos de coautoría y co-

citación son redes típicas en este tipo de estudios. Así también, proporcionan información sobre la búsqueda de expertos y las asociaciones entre ellos.

En las redes de co-citación las citas bibliográficas son vistas como una red en donde los artículos son los nodos y las citas son las aristas; aquellos nodos con más citas tendrán la mayor cantidad de aristas y el mayor grado de centralidad. El grado de centralidad de un nodo en un gráfico es simplemente un conteo del número de aristas que se conectan desde y hacia este. Por lo tanto, un artículo citado cinco veces dentro de una red tendría un grado de centralidad de cinco. El artículo con mayor grado de centralidad sería el papel citado con más frecuencia. Las citas no solo se utilizan para juzgar la calidad de los artículos, sino que también para calificar a los investigadores que escribieron esos artículos y las revistas que los publicaron.

En las redes de coautoría, los autores son los nodos y las aristas son los vínculos por colaboración entre ellos. Las medidas de centralidad explican quién colabora con más personas y quien tienen la mayor influencia en su campo disciplinar. La longitud del camino es la métrica más útil para trazar un mapa de distancias entre autores para colaboración, en donde, “A” está conectado a “B” que está conectado a “C” que está conectado a “D”, de modo que “A” y “D” tienen una longitud de camino de nivel 3. Estos nodos pueden estar conectados con otros caminos más cortos a través de una serie diferente de nodos.

2.3.3.2 Métodos basados en datos

Actualmente el análisis de datos es considerado como una ciencia que se encarga de examinar un conjunto de datos con el propósito de sacar conclusiones sobre la información para poder tomar decisiones, o simplemente ampliar los conocimientos sobre diversos temas. En materia de evaluación de la Ciencia las aplicaciones basadas en el análisis de datos se han concentrado en investigaciones bibliométricas (el estudio de la producción basada en publicaciones), en la patentometría (análisis de patentes) y los datos estadísticos.

Se considera que, la bibliometría es la técnica más popular en el análisis de los resultados de la investigación básica. Sin embargo, también es útil como indicador parcial de la producción general de I+D, de la productividad y el impacto de los equipos y centros de investigación financiados con recursos públicos. Las cuestiones fundamentales de la bibliometría se analizan en este documento.

2.3.3.3 Bibliometría

La bibliometría es la metodología central en las ciencias de la información que se basa en datos y en el uso de métodos matemáticos y estadísticos para estudiar documentos y patrones de publicación (Feather y Sturges, 2003). La metodología abarca varios tipos de análisis que incluyen: recuentos de publicaciones, recuentos de citas, análisis de co-citación y mapeo científico para generar indicadores cuantitativos de referencia y medición de la actividad investigadora. El conjunto de las técnicas bibliométricas más comunes y utilizados se categorizan en la Figura 6.

Los indicadores bibliométricos son datos numéricos calculados a partir de las características bibliográficas⁵ observadas en los documentos científicos y académicos publicados, que permiten el análisis de rasgos diversos de la actividad científica, mediante un conjunto de técnicas vinculados tanto al consumo como a la producción de la información (Flores-Fernandez y Aguilera-Eguia, 2018).

De los indicadores arriba expuestos destacan por su relevancia y amplia utilización en el campo académico; el Índice de productividad de los autores (que cuantifica el rendimiento de un investigador a través del número de sus publicaciones), el Factor de impacto de una revista (que mide la frecuencia con la cual ha sido citado el artículo promedio de una revista en un año en particular), o el Índice de colaboración (se calcula con el total de autores de los artículos con múltiples autores entre el total de artículos con múltiples autores).

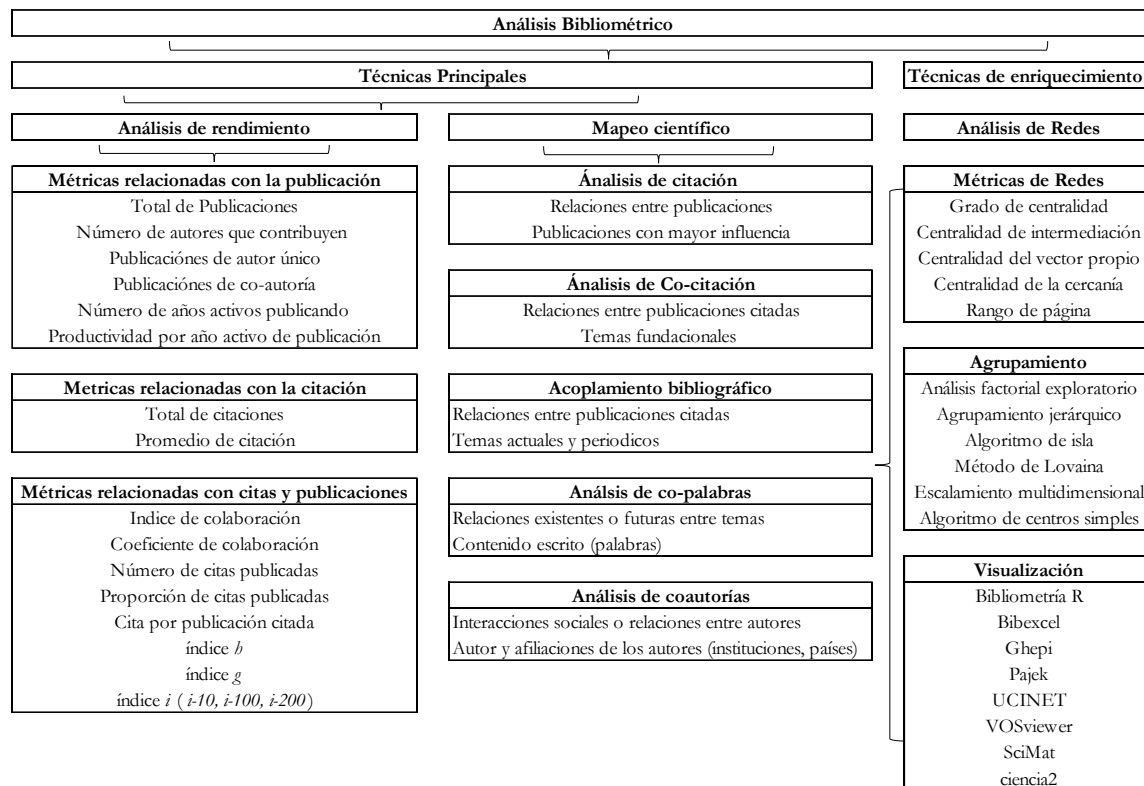
Existen otros que son poco conocidos entre los investigadores y científicos pero que su importancia en la evaluación es trascendental. Estos indicadores son el Índice de

⁵ Las características bibliográficas son nombre del autor, título de la obra o publicación, editorial, país, número de edición, de página y año de publicación y el informe general o la síntesis de lo más destacado del documento.

inmediatez (que permite medir cuán rápido es citado un artículo y, por ende, cuáles son las revistas principales y nucleares en una disciplina [media del número total de citas recibidas en un año “X” por los artículos publicados ese año, dividido por el total de artículos publicados ese año]), el Índice de obsolescencia (que busca medir el envejecimiento y la vida media de las publicaciones a través de los índices de Price o de Burton-Kebler) y el Índice de aislamiento (que mide el aislamiento o apertura de un país a través del número de referencias que pertenecen al mismo país de origen de una revista).

El uso de los indicadores bibliométricos se ha concentrado en dos tareas principalmente: la función descriptiva [cuando el interés está en indicadores como la posición geográfica, el año de la publicación y la disciplina] y la función evaluativa [con indicadores de productividad, conteo de citas y citación, etc.]. Esta última función ha sido mucho más relevante que la primera.

Figura 6: Indicadores para el análisis bibliométrico



Fuente: Adaptación con base en (Flores-Fernandez y Aguilera-Eguia, 2018).

2.4 Herramientas mínimas para implementar una evaluación científica

Como punto de partida se revisita brevemente la clasificación convencional de la ciencia; posteriormente, se presentan tres marcos referenciales para la caracterización de las distintas actividades de investigación científica. Primero, la perspectiva de los Manuales de Frascati; documentos de referencia por excelencia en los ámbitos de innovación e investigación científica. Segundo, los nueve niveles de madurez tecnológica desarrollados por Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (conocida como NASA, por las siglas en inglés) que son frecuentemente utilizados para gestionar el progreso de la actividad de investigación y desarrollo tecnológico. Tercero, el modelo de cuadrantes o cuadrante de Pauster propuesto a finales de los años 90's y que se presenta como parte de un paradigma moderno de comprensión de la ciencia.

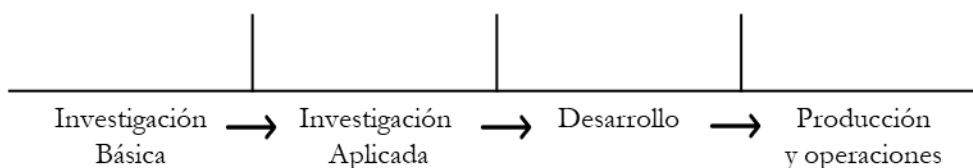
2.4.1 Distinciones entre tipos de investigación científica

En esta parte del texto se presenta una revisión a la clasificación convencional de la ciencia. Si bien es cierto, la frontera entre ciencia pura, ciencia aplicada e innovación tecnológica suele ser bastante difusa e inclusive inexistente por la interrelación dinámica entre los elementos distintivos que las caracterizan; es un recurso analítico que en términos económico-financieros resulta conveniente y necesario.

La idea de que hay diferentes tipos de investigación científica ha sido objetada por algunos científicos, argumentando que es una división utilitarista que carece de sentido (Pérez, 2001). Pero también, otros consideran que no aclarar las diferencias y las relaciones a la larga es pernicioso para la ciencia puesto que los resultados entre estas difieren grandemente. Desde la óptica economista de la ciencia, la diferenciación es necesaria para la ejecución de las tareas de administración, evaluación de impacto y financiamiento de proyectos de carácter científico.

Se reconoce que Vannevar Bush (1945) planteó el problema dicotómico entre “ciencia básica-ciencia aplicada” en el documento titulado: *Science, The Endless Frontier*, con el modelo lineal de la ciencia. El modelo consistía en explicar el proceso de investigación científica mediante una secuencia lineal y estática de etapas de la investigación que se extiende desde la ciencia básica hasta el desarrollo de una nueva tecnología y en el cual cada una de las etapas sucesivas depende de la anterior (Vannevar Bush, 1945). La figura 6 representa gráficamente al modelo lineal de la siguiente forma:

Figura 7: Modelo Lineal Vannevar Bush



Fuente: Con base en Vannevar Bush, 1945

En este gráfico se observa que la secuencia tecnológica consiste primero en investigación básica, investigación aplicada y desarrollo, donde, en palabras de Bush:

- i. La investigación básica traza el curso de la aplicación práctica, elimina los callejones sin salida y permite que los científicos e ingenieros aplicados alcancen su objetivo con la máxima velocidad, franqueza y economía.
- ii. La investigación básica, dirigida simplemente hacia una comprensión más completa de la naturaleza y sus leyes, se embarca en lo desconocido, el reino posible.
- iii. La investigación aplicada se ocupa de la elaboración y aplicación de lo conocido. Su objetivo es convertir lo posible en real, demostrar la viabilidad del desarrollo científico o de ingeniería, explorar rutas y métodos alternativos para lograr fines prácticos.
- iv. Desarrollo, es la etapa final en la secuencia tecnológica, es la adaptación sistemática de los resultados de la investigación en materiales, dispositivos, sistemas, métodos y procesos útiles. (Vannevar Bush, 1945)

Cada proyecto científico se compone de un conjunto de actividades que se organizan y se gestionan de acuerdo con un objetivo específico y sus propias metas. Estos últimos se circunscriben al objetivo general de la ciencia [básica o aplicada] y de la tecnología que son dos actividades afines, pero con racionalidades diferentes. Por un lado, la ciencia busca el saber con validez universal e insensible a formulaciones subjetivas (Javier Aracil, 2019). Por otra parte, el propósito de la tecnología es el conocimiento instrumental efectivo sobre un fragmento de realidad, diseñado para resolver un problema práctico y específico (p. 53). Con base en esta diferencia conceptual de raíz se puede prever los mínimos resultados esperados y los riesgos que la inversión en ciencia y tecnología tiene.

Mario Bunge (1984), filósofo de la ciencia, describe sucintamente las etapas del proceso de la investigación que desemboca en el mercado; aclara que en el caso de un artefacto tal como una calculadora electrónica o procedimiento como un tratamiento médico recorren todas las etapas. En cambio, en el caso de un producto o servicio más modesto, tal como un alimento envasado se prescinde de las etapas científicas arrancándose directamente de la etapa de la invención (hay invención de la ciencia ya conocida, no de nuevas investigaciones). La tabla 1 “Del laboratorio al mercado” describe las diferentes etapas según el tipo de investigación, quién la ejecuta en dónde y que produce como resultado final. Cabe recalcar la que Bunge adiciona en la explicación a la producción [etapa mercantil] porque el mismo enuncia que “no solo hay un flujo incesante de información de la ciencia a la técnica y de esta a la economía sino también hay un reflujo” (Bunge, 1984).

Tabla 1: Del laboratorio al mercado

Actividad	Ejecutada por	Principalmente en	Produce
Investigación básica	Científicos	Universidades, institutos científicos, academias	Teorías, hipótesis, métodos, datos, cálculos, diagramas, diseños experimentales etc.
Investigación aplicada		Universidades, laboratorios industriales y agrícolas, estaciones experimentales, hospitales	
Investigación e invención técnicas	Técnicos e inventores	Laboratorios industriales y estaciones experimentales, talleres	Diseños y modelos de artefactos o procedimientos
Desarrollo	Técnicos y administradores	Plantas industriales y estaciones agrícolas	Prototipos, plantas piloto, planes de producción
Producción	Obreros, contra maestres, empleados, administradores y técnicos	Plantas industriales, minas, granjas, bosques, mares	Bienes y Servicios
Distribución		Oficinas, almacenes y negocios	
Fuente: Bunge (1984)			

A la compleja discusión sobre los límites de la ciencia pura, aplicada y desarrollo tecnológico se suma el uso generalizado de los términos I+D (investigación y desarrollo) o bien, I+D+i (investigación, desarrollo e innovación) cuando se considera el término de

innovación tecnológica. El uso de estos términos, escritos en forma de ecuación algebraica, proviene de la administración pública y su implicación en la formulación de políticas.

En cualquiera de sus connotaciones (pura, aplicada, desarrollo tecnológico o I+D) se requiere de una noción delimitada y bien definida sobre cuáles son las actividades científicas que permita instrumentar evaluaciones de impacto económico y social de proyectos de forma precisa. Así como también para la formulación de determinadas políticas gubernamentales para la industria. En este orden de ideas, se presentan las descripciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) y Donal Stokes (1997).

2.4.2 Directrices de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el manual de Frascati

Una de las referencias más aceptadas internacionalmente y que constituyen un lenguaje común para cuantificar la I+D son las directrices propuestas por la OCDE en la serie de documentos conocidos como la “Familia Frascati” cuyo nombre oficial es Propuesta de Norma Práctica para encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental. Los cinco manuales de la OCDE caracterizan todas las actividades científico y tecnológicas que un país o región pueden realizar: la investigación y desarrollo experimental (Manual de Frascati), la innovación tecnológica (Manual de Oslo), los recursos humanos (Manual de Canberra), y las transacciones de intangibles relacionadas con el comercio de conocimiento científico y tecnológico (balanzas de pagos tecnológicos y patentes).

Para la OCDE, el término investigación y desarrollo experimental (I+D) abarca tres tipos de actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. La I+D comprende el trabajo creativo y sistemático realizado con el objetivo de aumentar el volumen de conocimiento (incluyendo el conocimiento de la humanidad, la cultura y la sociedad) y concebir nuevas aplicaciones a partir del conocimiento disponible (OCDE, 2018). En específico, el Manual de Frascati precisa que la investigación básica consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables,

sin intención de otorgarles ninguna aplicación o utilización determinada. La investigación aplicada consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos, pero está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico. El desarrollo experimental consiste en trabajos sistemáticos fundamentados en los conocimientos existentes obtenidos a partir de la investigación o la experiencia práctica, que se dirigen a producir nuevos productos o procesos, o a mejorar los productos o procesos que ya existen (OCDE, 2018).

Del párrafo anterior es importante distinguir que las actividades no están ordenadas linealmente, es decir, que la investigación básica anteceda a la aplicada y esta, a su vez, al desarrollo experimental. El manual de Frascati (2018) identifica que hay flujos de información y conocimiento entre los elementos del sistema de I+D que se retroalimentan. En este sentido, la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental tiene que observarse desde un punto de vista dinámico (p.56).

La definición de la I+D incluye, en su versión actualizada 2018, la expresión “conocimiento de la humanidad, la cultura y la sociedad” que engloba las ciencias sociales, las humanidades y las artes. En contraste con la definición previa donde la I+D se concentraba en la investigación de ciencias exactas y experimentales como son las ciencias naturales, biológicas y físicas; ahora, las disciplinas sociales y humanísticas como la sociología, la economía o las ciencias políticas, literatura, música, artes visuales, teatro, danza y otras artes escénicas pueden incluirse en la I+D según el criterio de novedad apreciable o el tratamiento de la incertidumbre.

2.4.3 Las escalas y niveles de madurez tecnológica (NMT)

Una herramienta de evaluación y clasificación de proyectos de investigación muy utilizada por su aplicabilidad operativa es la metodología de los Niveles de Madurez Tecnológica (NMT) o bien *Technology Readiness Levels* (TRLs, por sus siglas en inglés). Esta metodología se desarrolló en los años 70's en Estados Unidos por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) y consiste en nueve niveles divididos en tres bloques que se extienden desde los principios básicos de la nueva idea o tecnología hasta llegar a

las pruebas con éxito en un entorno real. El primer bloque (TRL: 1-3) aborda la investigación básica y experimental (principios básicos observados, concepto formulado, prueba experimental) y último (TRL:7-9) corresponde a los niveles de innovación tecnológica (prototipo, sistema completo y calificado, sistema real en entorno operativo) (Mankins, 1995). Los Niveles de Madurez Tecnológica clasificados en un modelo general de tres grandes bloques se observan en la Tabla 2.

Tabla 2 Niveles de Madurez Tecnológica

NMT 9 - 7	Innovación	9: Pruebas con éxito en un entorno real 8: Validación y certificación del sistema en un entorno real 7: Validación del sistema en un entorno real
NMT 6 - 4	Desarrollo	6: validación del sistema o subsistema en un entorno relevante 5: Validación a nivel de componentes en laboratorio 4: Validación a nivel de componentes en laboratorio
NMT 3 - 1	Investigación	3: Prueba de concepto característica 2: Concepto y/o tecnológica formulada 1: Idea básica
Fuente: elaboración propia con base en metodología NMT		

De la tabla anterior se entiende que apoyar un proyecto en el que se aborden los 9 TRLs significaría fomentar el desarrollo de una nueva tecnología desde su idea básica hasta su despliegue en el mercado. Si el foco se quiere poner en la investigación básica, la convocatoria debería referir fundamentalmente a los tres primeros niveles (TRL 1 - TRL 3), mientras que si se pretenden abordar proyectos de desarrollo tecnológico se deberá insistir más en los cuatro siguientes (TRL 4 - TRL 7). Finalmente, los proyectos de innovación más cercanos al mercado y los proyectos de implantación y despliegue se contemplarían en los dos últimos (TRL 8 – TRL 9).

Los costos asociados a los tres primeros niveles de madurez tecnológica están descritos por J. C. Mankis como costos bajos únicos absorbidos por los distintos programas de

investigación. Lo anterior se interpreta como que la inversión en I+D está supeditado a programas de investigación que en general se llevan a cabo en los centros de investigación y universidades.

Cabe destacar que, a pesar de la clasificación en tres grupos, no hay una correspondencia clara y precisa entre los dos sistemas de clasificación: el propuesto por la OCDE y el de la NASA. Esto debido a la “multitud de sistemas de clasificación por NMT y sus genéricas descripciones” (OCDE, 2018). En respuesta a esta crítica es necesario seguir explorando el término I+D con el objeto de establecer un marco de referencia de evaluación de actividades.

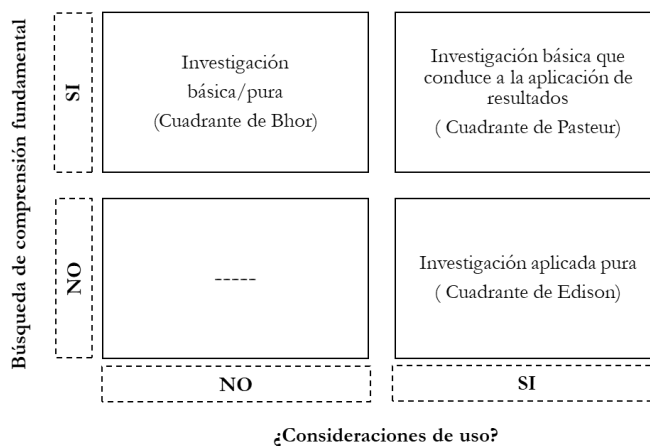
2.4.4 El modelo de cuadrantes de la investigación científica

El Cuadrante de Pasteur (Stokes, 1997) es un modelo de clasificación científica que permite entender mejor la relación entre la ciencia básica y la aplicada, entre el nuevo conocimiento y la aplicación práctica del mismo. A diferencia de otros marcos referenciales de las actividades científicas, en el cuadrante de Pasteur no trata de categorías sino más bien de las perspectivas o inspiración de la investigación. Es decir, si la investigación está inspirada en la búsqueda de una comprensión básica de un fenómeno natural o si la investigación está inspirada en consideraciones sobre la utilidad práctica de un posible desarrollo obtenido a partir de la misma.

Este enfoque tiene cuatro posibles escenarios: el primer caso es el cuadrante de Bohr donde el investigador no tiene interés en la aplicación práctica, sino que solamente tiene el deseo de comprender o de explicar un proceso básico de la naturaleza. El segundo caso es el cuadrante de Edison donde el investigador no tiene interés por explicar o entender nada y solamente busca producir un artefacto útil. El tercer caso es el cuadrante de Pasteur donde el investigador tiene el interés tanto en la explicación de un fenómeno natural como de su aplicación práctica (las investigaciones de Pasteur sobre fenómenos tan básicos como la fermentación o la imposibilidad de la generación espontánea, realizadas en el marco de investigaciones de utilidad práctica inmediata como la producción de vinos o las enfermedades del gusano de seda, son un ejemplo contundente). El cuarto cuadrante no

está vacío, sino que es posible investigar por puro placer, sin que se tenga en mente una aplicación práctica inmediata o sin que se trate de un intento de explicación de un fenómeno básico de la naturaleza, como es el caso (el ejemplo es de Stokes) de los observadores de aves (Stokes, 1997). Los cuatro cuadrantes de Pasteur gráficamente se ilustran en la Figura 8.

Figura 8: Modelo Cuadrante de investigación Científica



Fuente: (Stokes, 1997)

La representación gráfica del cuadrante de Pasteur [plano cartesiano con cuatro regiones] precisa que el modelo estático y lineal que tenía como punto de partida la investigación básica y finalizaba en la producción y el funcionamiento tecnológico ya ha expirado. Con esta imagen, Stokes desplazó el modelo unidimensional por una imagen que concibe trayectorias duales e independientes que además son interactivas pero semiautónomas.

2.4.5 Niveles de incertidumbre y la financiación de la ciencia

La utilidad de distinguir y caracterizar la gama de actividades que acontecen en el proceso de investigación científica se resume, en términos prácticos, dar a conocer cuál será el resultado que se espera de destinar recursos para el financiamiento y desarrollo de dichas actividades.

Los bienes que resultan del proceso de investigación científica son muy distintos a los bienes resultantes del proceso de producción material tradicional. Mientras que en el proceso de producción de bienes se transforman los recursos o factores productivos para obtener bienes materiales [tangibles], en el proceso de investigación científica los bienes que se obtienen son inmateriales [intangibles]. La intangibilidad de los resultados que se obtienen ha obstaculizado los procesos de evaluación científica por la ausencia de valores de mercado asociados con éstos y por la incertidumbre asociada al logro de los resultados de las investigaciones.

Para la teoría económica; la producción de los bienes tecnológicos (fórmulas, conocimiento o ideas)⁶ requieren un elevado costo fijo inicial, el coste I+D, que es muy superior al costo marginal de producir unidades adicionales. La implicación de este concepto es muy importante dado que, como sabemos, cuando existen costes fijos, los costos medios son siempre superiores a los costos marginales. El problema inmediato [...] es que, en competencia perfecta, el precio será igual al costo marginal, por lo que cualquier empresa competitiva sufrirá pérdidas al producir este tipo de bienes. (Martin, 1999). En este sentido y dado que el objetivo económico de las empresas es la maximización del beneficio y con ello incrementar el valor de la empresa se espera que las inversiones que éstas hagan sean provechosas y no haya pérdidas económicas o materiales; los bienes tecnológicos tenderán a ser producidos únicamente por empresas con poder de mercado o bien el gobierno deberá garantizar al inventor de una nueva idea la capacidad “legal” de poner un precio superior al costo marginal (aunque eso represente darle un poder monopolístico) para permitir que pueda recuperar los costos iniciales de inventar la idea. (Martin, 1999).

⁶ La característica principal que hace diferentes a los bienes normales es que los bienes intangibles pueden ser utilizados simultáneamente en diferentes puntos del planeta por diferentes personas al mismo tiempo, es decir, se trata de bienes no rivales.

Con base en el razonamiento anterior, el orden de las actividades científicas y tecnológicas, así como la proximidad al mercado de los resultados esperados recobra importancia para los temas de financiamiento y gestión de los factores productivos.

Ordenar los resultados de la investigación científica con base en la proximidad al mercado se refiere a qué tan lejos o cerca temporalmente están los productos resultantes de las actividades científicas de la comercialización en el mercado. Mientras más fundamental sea la investigación más larga es la distancia temporal existente respecto al mercado y en ese mismo orden; la investigación aplicada tiene una distancia mucho más corta hacia la comercialización (Frontier economics for BIS, 2014). En otras palabras, la investigación básica requiere tiempos más prolongados para una aplicación productiva que, la investigación aplicada y esta a su vez que el desarrollo experimental.

A causa de la gran distancia existente entre la investigación básica o pura y el mercado productivo, esta actividad tiene una mayor probabilidad de retrasos temporales que conllevan un alto riesgo e incertidumbre en el retorno de la inversión. Por otro lado, la distancia temporal entre la investigación aplicada pura y el mercado productivo es más corta y la incertidumbre en el retorno de la inversión es menor porque hay un impacto económico directo más próximo de su comercialización. El caso intermedio entre una mayor incertidumbre de los resultados esperados y una menor probabilidad de impacto económico es la investigación básica aplicada.

Otro factor importante para considerar en los procesos de inversión de las actividades científicas y tecnológicas son las externalidades. En economía, una externalidad es una situación en la que los costes o beneficios de producir o consumir un bien o servicio no se reflejan en su precio de mercado. Visto de otro modo, las externalidades son efectos secundarios (positivas o negativas⁷) que se producen cuando una persona o una empresa

⁷ Una externalidad negativa surge cuando no se asumen todos los costes de un efecto negativo. Hablamos de externalidades negativas cuando, por ejemplo, una empresa contamina su entorno o cuando una persona arroja basura a la calle. Por otra parte, una externalidad positiva surge de un efecto positivo que no se reporta como beneficio; el ejemplo sería la utilización de energías renovables, del que se beneficia la sociedad porque

realiza una actividad y no asume todos los costes de esta, o todos los beneficios que le podría reportar (Cabello, 2016) Dado este concepto, resulta de suma importancia explicar el tipo [positiva o negativa] y los probables receptores de las externalidades de investigación científica.

La investigación científica genera externalidades positivas de conocimiento. El conocimiento creado por un agente o grupo de investigación puede ser usado por otro sin compensación alguna, o con una compensación de menor del valor a la real. El beneficiario del *spillover* o externalidad puede usar el nuevo conocimiento para copiar o imitar los productos o procesos del innovador, (por ejemplo, haciendo réplicas de investigación) o puede usarlo como input para un proceso de investigación conducente a otras nuevas tecnologías (Delgado Carolina y Millan Díaz Carlos Danilo, 2006). Con base en la idea anterior y retomado la clasificación de los tipos de investigación [por curiosidad, pura, aplicada a resultados] del cuadrante de Pasteur (1997), se lograría identificar los grados distintos de externalidades generadas. En este sentido, una visión ampliada del cuadrante de Pasteur (1997) permite que, tanto los tomadores de decisiones como las partes interesadas en financiar proyectos basados en ciencia, tengan mayor claridad no solo del tipo de investigaciones y sus consideraciones de uso, sino también de la probabilidad del retorno de la inversión y las externalidades económicas.

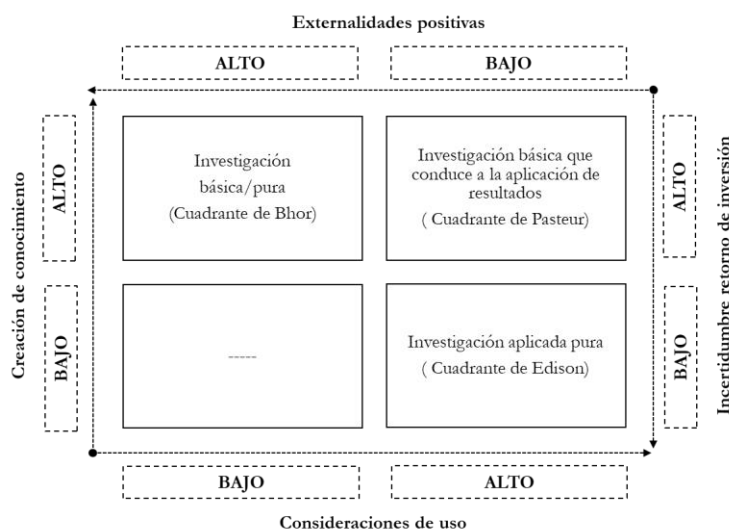
El Cuadrante de Pasteur Ampliado (CPA) es una aportación original de este trabajo de tesis, mismo que se representa en la Figura 9. El CPA retoma el modelo original de Stokes (1997) el cual está formado por dos rectas; una horizontal [eje “x”] y otra vertical [eje “y”] que se entrecortan perpendicularmente en el origen. Mientras que el eje “x” se identifica con la fundamentalidad de la investigación científica; el eje “y” considera la utilidad de esta. Por causa de los ejes el plano se divide en cuatro cuadrantes: 1) el cuadrante de Bhor, que se refiere a la investigación básica o pura; 2) el cuadrante de Pasteur que corresponde a la investigación básica que conduce a la aplicación de resultados; 3) el cuadrante de

la persona o empresa que las utiliza no está contaminando. En estos casos, los precios de mercado no recogen los beneficios reales.

Edison de la investigación aplicada pura; 4) este cuadrante hace referencia a la investigación por curiosidad o didáctica.

Como parte de las necesarias adecuaciones para el CPA, se agregaron dos ejes. El eje paralelo al eje “y” describe los riesgos del proyecto con base en la probabilidad de retorno de la inversión. En este sentido; mientras que el cuadrante de Bhor y el de Pasteur tienen un alto grado de incertidumbre de lograr una baja o nula tasa de retorno de inversión, el cuadrante de Edison es una investigación con un nivel bajo de incertidumbre ya que hay una gran probabilidad de que retorne la inversión debido a su proximidad con el mercado productivo. El eje paralelo al eje “x” describe las externalidades positivas de conocimiento. El cuadrante de Bhor genera un alto efecto positivo que no se reporta como beneficio y hay un gran número de posibles receptores del conocimiento generado que van de otros científicos hasta la sociedad en general. Los cuadrantes de Pasteur y de Edison tienen una menor probabilidad de generar externalidades de conocimiento debido a que por la proximidad de comercialización estos resultados son protegidos mediante mecanismos legales de propiedad industrial o patentes.

Figura 9: Cuadrante de Pasteur Ampliado



Fuente: elaboración propia

Capítulo 3

3 Mecanismos y actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de México

Este capítulo de la tesis doctoral aborda los procesos de evaluación de la ciencia en México desde el enfoque arriba-abajo⁸. Se considera que evaluar a la ciencia es un proceso complejo que va más allá de calificar a los autores, las ideas, la difusión y el impacto de estas. La evaluación científica es también un instrumento que está sometido a distintos factores como son las relaciones entre política y ciencia, la financiación, la existencia de medios materiales y humanos e incluso las relaciones entre los propios científicos y las Instituciones de investigación. Con base en esta idea, el capítulo expone la estructura del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de México (SNCTM), los actores y las relaciones entre estos. Así también, aborda la asignación de recursos financieros, los presupuestos ejercidos; las tendencias y las perspectivas de la inversión. El texto termina caracterizando la participación del Cinvestav dentro del SNCT, así como la política de evaluación de los productos resultantes de su actividad.

3.1 El sistema de evaluación científica en México y la participación del Cinvestav

En términos teóricos, un SNCT está conformado por el conjunto de agentes e instituciones de coordinación, financiamiento, ejecución (mediante relaciones, estructuras, medidas) de acciones para desarrollar y promocionar las políticas públicas [en materia CTI] estipuladas por el Estado de cada país vinculándose con el entorno e interactuando entre sí (Wileidys Artigas et al., 2017). En términos jurídicos, para el caso mexicano y de acuerdo con la última reforma de la Ley de Ciencia y Tecnología (LCT) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11-05-2022 (LCT, 2022); el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación se integra por:

“Artículo 3:

I. La política de Estado en materia de ciencia, tecnología e innovación que defina el Consejo General; [...]

II. El Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación, así como los programas sectoriales y regionales, en lo correspondiente a ciencia, tecnología e innovación; [...]

⁸ Esto significa que las decisiones políticas del nivel nacional se transmiten a los niveles inferiores.

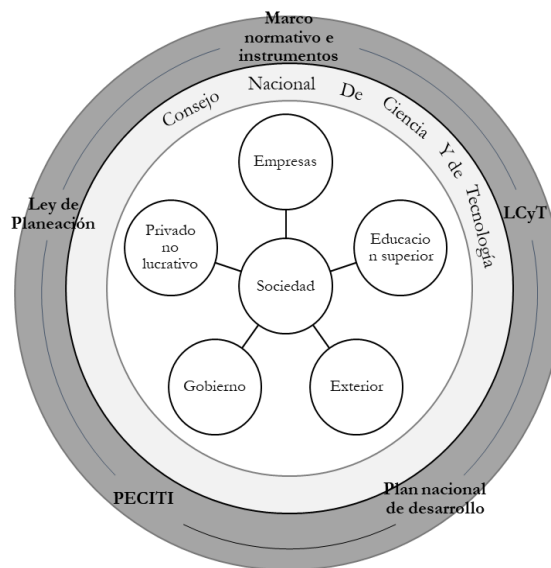
III. Los principios orientadores e instrumentos legales, administrativos y económicos de apoyo a la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación que establecen la presente Ley y otros ordenamientos; [...]

IV. Las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal que realicen actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación o de apoyo a las mismas, así como las instituciones de los sectores social y privado y gobiernos de las entidades federativas, a través de los procedimientos de concertación, coordinación, participación y vinculación conforme a ésta y otras leyes aplicables, y [...]

V. La Red Nacional de Grupos y Centros de Investigación y las actividades de investigación científica de las universidades e instituciones de educación superior, conforme a sus disposiciones aplicables”

La Figura 12 representa de forma gráfica el SNCTI de México según el artículo 3 de la LCT vigente, dicho artículo se enunció previamente.

Figura 10: Actores del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación



2014-2018, 2022)

Fuente: (PECITI

La complejidad del marco normativo, la diversidad de instrumentos, y los niveles de los distintos actores que participan en el sistema: sector público en sus tres niveles [federal, local y municipal], el sector académico y de investigación, y el conjunto de empresas; ha generado un SNCT

poco articulado y desvinculado que ha dificultado su consolidación (PECITI 2014-2018, 2022).

Desde su creación en 1970, el Conacyt [organismo público descentralizado] es el coordinador y eje articulador del SNCT. El Conacyt cuenta con vínculos sólidos entre las instituciones de educación superior (IES)⁹, los centros públicos de investigación (CPI)¹⁰ y los Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología (CE)¹¹ [organismos públicos descentralizados, dotados de personalidad jurídica y patrimonio propios]. Sin embargo, las relaciones entre éstos [IES, CPIs, CEs] con el sector productivo son débiles o incluso inexistentes. Al respecto el PECITI 2014-2018 ya apuntaba que esta situación respondía al poco dinamismo del mercado interno de tecnología y a los incipientes vínculos del sector financiero con el sector productivo.

Uno de los elementos necesarios para la operatividad del SNCT son las políticas gubernamentales en esta materia. De las cuales, las políticas de evaluación de la actividad científica son pilares esenciales, Arencibia Jorge y de Moya Anegón (2008) mencionan que la evaluación científica es un instrumento tecnológico que contribuye directamente a la eficacia y eficiencia de los SNCT permeándolos de una mayor coherencia y visión estratégica, que viabiliza su integración a los sistemas de dirección y gestión de la investigación y a los procesos de toma de decisiones, sea cual fuere el nivel de agregación donde se apliquen (Arencibia Jorge y de Moya Anegón, 2008) Así también, Camila Calisto y otros (2021) afirman que la evaluación a los programas que estimulan la producción científica [apoyada por métricas de la información] es clave y prioridad en la gestión de políticas científicas y tecnológicas (Camila Calisto-Breiding et al., 2021).

⁹ Las principales IES son: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), las Universidades Privadas (IESP), las Universidades Públicas de los Estados (UPE), Los Institutos Tecnológicos (IT), el Instituto Politécnico Nacional (IPN); el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV).

¹⁰ A la fecha (2022) hay 26 Centros públicos de investigación, 1 Organismo Internacional Asociado y 1 Fideicomiso.

¹¹ Existe un Consejo Estatal para cada uno de los 32 Estados de la República Mexicana.

El conjunto de mecanismos y prácticas de evaluación determinan sistemáticamente la calidad o el valor de las actividades de investigación (a realizar, en desarrollo, o ya realizadas), de los individuos y de las instituciones u organizaciones que las realizan (Molas-Gallart, 2012). En el caso particular de México, el Conacyt, a través del COSECYT (Comité de diseño, monitoreo, seguimiento, evaluación y rendición de cuentas) es quien diseña, monitorea, da seguimiento y evalúa los distintos programas hechos para promover la ciencia, la tecnología y la innovación en el país.

La lógica de la evaluación en el SNCTM se circunscribe en la medición del mérito individual e Institucional. Para medir la preparación, la productividad y el desempeño de los actores que participan en los distintos programas, el Conacyt [y el COSECYT] echan mano de indicadores y diversas métricas. Por ejemplo, para calificar a los 35,574¹² investigadores que actualmente son miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) utiliza primordialmente indicadores cuantitativos de rendimiento y productividad individual basados en la cantidad de artículos científicos de alto impacto publicados y tesis de posgrado asesoradas. Las técnicas habituales que Conacyt utiliza para medir estos resultados son cuantitativas; sin embargo, esta es solo una parte del proceso ya que también son evaluados cualitativamente en términos de reconocimiento nacional o internacional por otros pares de la comunidad científica.

Bajo la misma lógica que a los investigadores del SNI [preparación, productividad y calificación por pares], el Conacyt evalúa a los 1,270¹³ jóvenes investigadores del programa de investigadoras e investigadores por México [antes programa de Cátedras Conacyt]. Este programa busca la inserción laboral de los investigadores en etapas tempranas mediante la comisión de estos a las IES, los CPIs y a otras instituciones federales y estatales del sector público.

¹² La cifra esta actualizada al primer trimestre 2022 con base en el Informe de Actividades del CONACYT (2022)

¹³ La cifra esta actualizada al primer trimestre 2022 con base en el Informe de Actividades del CONACYT (2022)

Otro programa medular en el desarrollo de la actividad científica de México es el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) creado en 1991 y que hoy es conocido como Sistema Nacional de Posgrados (SNP). Este programa tiene objetivo de incrementar la capacidades científicas, humanísticas, tecnológicas y de innovación. El SNP a principio del 2022 tiene registrados 2,397¹⁴ programas de posgrado vigentes que son evaluados bajo un enfoque flexible cuantitativo-cualitativo orientado principalmente en el cumplimiento de los estándares de pertinencia científica y social de la oferta académica. Asociado al SNP está el programa de Becas para Estudios de Posgrado, que en general, brinda apoyo económico a los estudiantes de posgrado para que estos puedan dedicarse exclusivamente a formarse como investigadores y científicos en sus diversas modalidades. Al primer trimestre del 2022 Conacyt reportó un total de 54,485¹⁵ becas otorgadas; la evaluación estos estudiantes beneficiados del programa no recae en el Conacyt sino en las Instituciones receptoras cuyas políticas de evaluación difieren.

Cabe destacar que los cuatro programas mencionados: SNI, PNPC, Cátedras Conacyt y Becas para estudios de posgrados, son la base y el sustento de la investigación científica y de la educación superior del país, sin embargo, existen otros programas y proyectos con objetivos específicos que el Conacyt diseña e implementa a través de convocatorias determinadas en diferentes tiempos.

3.2 Tendencias y perspectivas de la inversión en Ciencia y Desarrollo experimental.

La reducción de la participación de los Gobiernos en el financiamiento de la actividad científica y la posición del sector privado como inversionista mayoritario es evidente. Las últimas estadísticas oficiales para los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) indican que hasta antes del inicio de la pandemia de COVID-19, el gasto real en I+D se explica principalmente por el crecimiento de la inversión realizada por las empresas [4.6%], esto es, en otros términos, el 71% del total de la inversión en el sector. En contraste, la inversión pública representa 29% de la inversión y a pesar de que en el 2019 tuvo las mayores tasas de crecimiento de los últimos

¹⁴ La cifra esta actualizada al primer trimestre 2022 con base en el Informe de Actividades del CONACYT (2022)

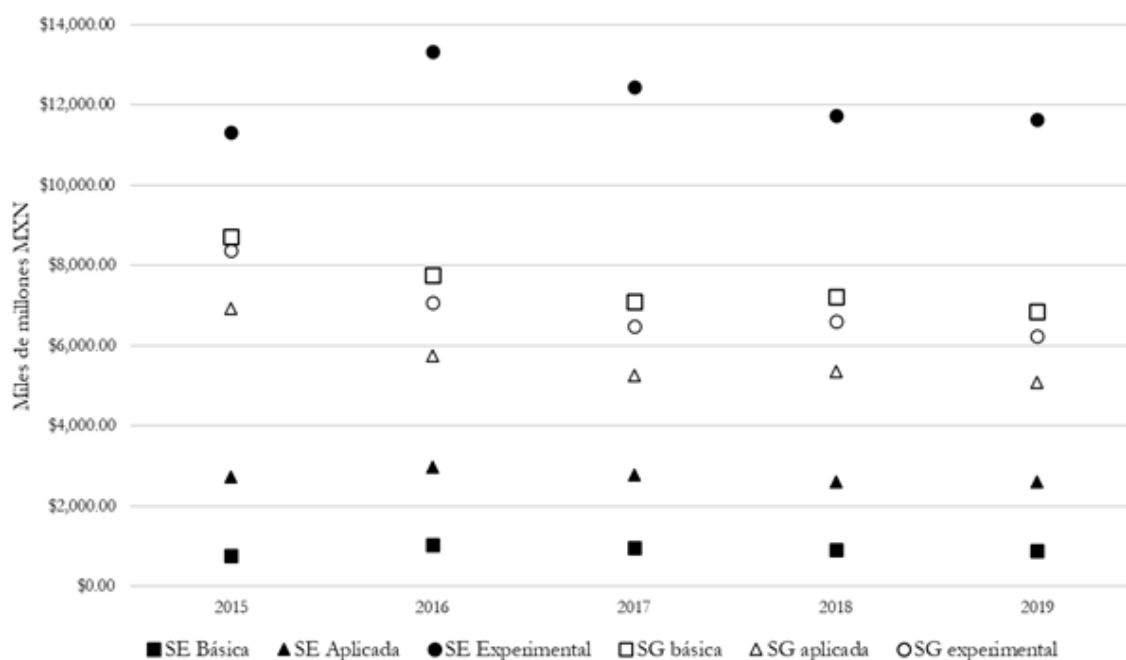
¹⁵ La cifra esta actualizada al primer trimestre 2022 con base en el Informe de Actividades del CONACYT (2022)

diez años [2.3% en gasto de investigación I+D y 3.4% en Educación Superior] (OECD, 2020); no se revierte la tendencia actual: en los países desarrollados el sector privado es el principal motor global del crecimiento de la inversión I+D.

La inversión en ciencia se ha orientado a investigaciones cuyos resultados están más próximos a la comercialización. Lo anterior responde a la lógica empresarial del retorno de la inversión que enuncia: a mayor espacio temporal de llegar al mercado y mayor grado de incertidumbre de la inversión, menor probabilidad de ser financiado. Esto significa que los proyectos de investigación experimental son priorizados frente a los de investigación aplicada, y estos sobre los de investigación fundamental o básica¹⁶. En México, por ejemplo, se destinó el 40% del Gasto en Investigación Científica y Desarrollo Experimental (GIDE) para investigación experimental donde el Sector Empresarial (SE) contribuyó con el 77% de participación. Esto contrasta con los recursos destinados a actividades de investigación básica; en este caso el Sector Gobierno (SG) es el principal financiador con el 37% de la contribución, frente al reducido 6% que proviene del sector público (CONACYT, 2019). La Gráfica 1 ilustra el modelo de inversión actual, el cual ha sido sistemático en los diez años previos al 2019. Dicho brevemente, el sector público desempeña una función esencial en la producción de conocimiento científico fundamental que se materializa principalmente en la publicación científica.

¹⁶ Con base en el Manual de Frascati 2015, la investigación básica consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. La investigación aplicada consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos, pero está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico. El desarrollo experimental consiste en trabajos sistemáticos fundamentados en los conocimientos existentes obtenidos a partir de la investigación o la experiencia práctica, y producción de nuevos conocimientos que se dirigen a la fabricación de nuevos productos o procesos, o a la mejora de los productos o procesos que ya existen. Este manual sigue la convención del SCN en el que con “producto” se hace referencia a un bien o servicio (OCDE (2015),

Gráfica 1: GIDE por sector de ejecución y fuente de los fondos, 2016-2019



Fuente: Estadísticas OCDE

Hay que mencionar que, el SG además de ser el principal inversionista de la ciencia fundamental en México, también ejerce una función de administrador de recursos públicos; entonces, sin importar si la fuente de inversión es de origen público o privado o si es investigación básica o experimental, el Gobierno “continúa desempeñando un papel crucial y determinante en el financiamiento, ya sea a través de incentivos financieros, fiscales o una combinación de ambos” (Da Fonseca y Veloso, 2018). Es decir, el Gobierno ha sido un actor económico determinante en la configuración del actual modelo de inversión y del financiamiento para la producción científica.

Una vez diferenciadas las fuentes y los niveles de financiamiento, otra problemática que se suma a este modelo de inversión de la ciencia es la que concierne a la asignación de los recursos económicos según el área del conocimiento. Al respecto, (Beck y Charitos, 2021) mencionan que “cada campo de investigación es diferente, los costos y beneficios socioeconómicos pueden variar ampliamente de un campo a otro, de manera que [...]

según la naturaleza de la investigación, si es fundamental o aplicada, si los instrumentos necesarios piden una gran inversión financiera o no, y si se requiere o no una tecnología innovadora dará lugar a diferentes beneficios socioeconómicos” (p.54).

Sí el tema de interés es el uso de los recursos públicos y asumimos que “la investigación pública en ingeniería, informática y ciencias médicas tiene el mayor impacto [en términos de tasa de retorno a la inversión] en los proyectos privados de I+D (Economics Frontier, 2014) queda pendiente el aspecto en relación con las áreas que son de naturaleza “básica”, como las matemáticas, las ciencias naturales o las sociales, cuyo resultado más próximo se materializa en publicaciones científicas y, que, en la lógica comercial, están más alejadas al mercado y no hay un claro retorno de la inversión. Al respecto Jesús (Zamora Bonilla, 2014), refiere que “en la mayoría de las disciplinas científicas [ciencias puras], es rarísimo el que se produzcan resultados patentables, lo que no quiere decir que algunos productos de esas disciplinas no se puedan comercializar con provecho, aunque no el “producto científico final” propiamente dicho, es decir, el artículo (“*paper*”) y las ideas y datos nuevos que contiene (p.72). En este asunto pendiente, que, dicho sea de paso, se ha intensificado derivado de la crisis sanitaria mundial del Covid-19 y de los cambios en la política científica en México¹⁷ es que el presente artículo tiene su principal contribución: estimar la relación costo-beneficio de la publicación científica¹⁸ considerando a este último como la materialización del proceso de producción de conocimientos científicos.

Dicho brevemente; como resultado del actual modelo de financiamiento de investigación científica (inversión del sector privado preponderante y del sector público mínima y restringida) se ha visto un cambio sustancial en la asignación de recursos, la clasificación de los proyectos y la asignación de pesos para la priorización de los objetivos de la I+D.

¹⁷ El 14 de diciembre 2020, el Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación conoció y aprobó el Anteproyecto de nueva Ley General de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación (ALGHCTI), elaborado por el Conacyt y entregado a la presidencia de la República, para someterlo a alguna de las dos Cámaras del Congreso de la Unión para su discusión y trámite legislativo. La propuesta de Ley pretende hacer una reforma profunda a la política científica del país.

¹⁸ Se consideran también como productos del conocimiento científico a los informes técnicos, *preprints*, capítulos de libros, documentos de trabajo, artículos en revistas científicas y monografías de investigación.

Sin importar la fuente de inversión, ya sea la ciencia pública o la ciencia privada ni las áreas disciplinares que la ejecutan, hay imperativos económicos que demandan cada vez más se explique el valor de la investigación científica y que se adopte el lenguaje y la lógica de la ciencia económica en la valoración de los resultados.

3.3 El financiamiento de la ciencia y la tecnología en México y la participación del Cinvestav.

El sector público es el de mayor peso en el financiamiento de la investigación en CTI en México. Con base en el Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación publicado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) del 2018; [...] el sector gobierno aportó el 63,93 por ciento del total de la inversión, mientras que el sector empresarial contribuyó con una participación de 24,41% (CONACYT, 2018a) Este dato es representativo de la proporción de la inversión que ha hecho el Gobierno federal sistemáticamente en el tiempo; con base en datos de la OCDE y cálculos propios, para el periodo 2000-2016 se obtuvo que, en promedio, el 60% del total del GIDE provino de financiamiento gubernamental, 31 por ciento del sector empresarial y el resto, 9 por ciento de otras fuentes (OECD, 2018). Esto es grosso modo una relación de inversión público y privada: 60/30 que se ha hecho en el sector CTI de forma continua y sistemática en los últimos casi 20 años. Esta proporción contrasta con la de los países líderes en desarrollo CTI miembros de la OCDE, en la que la relación de financiamiento se invierte; es decir, 30 público-60 privado.

El promedio del Gasto Federal en Ciencia y Tecnología en México, durante el periodo de estudio (2016-2018), fue de MX\$91.226,00 millones de pesos del 2018, cantidad equivalente al 0,4% del Producto Interno Bruto. (CONACYT, 2018a). Este monto lo asigna, en términos porcentuales, para el desarrollo de tres actividades: el 61% para investigación científica y desarrollo experimental, el 32% para la educación y enseñanza científica y técnica y el 3% para la innovación.

3.3.1 El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), destaca como una de las más importantes entidades públicas dedicadas a la investigación científica y desarrollo experimenta del país. El Ranking Web of Universites del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España y el grupo Scimago de Elsevier en su última edición 2021, posicionó a la institución como la segunda mejor a nivel nacional y la numero 17 a nivel Latinoamérica (Webometrics, 2021). Para el año 2021 el Cinvestav atendió a 2,900 alumnos en 66¹⁹ programas de posgrado de maestría y doctorado evaluados y registrados en el PNPC del Conacyt, de los cuales 36 programas se clasifican como competentes a nivel internacional (55% de sus programas de posgrado), con lo cual se consolida como una institución de competencia internacional. Así también, aportó a la comunidad científica y a la sociedad en general, recursos humanos mediante el otorgamiento de 594 grados de maestría y doctorado en ciencias (SHCP, 2021a).

En cuanto a la producción científica y el otorgamiento de patentes; el Cinvestav aportó en el periodo 2016-2018 [periodo de estudio de la tesis] el 11% del promedio total de los 15,040 artículos que México público en revistas científicas (cálculos propios con base en datos de Web Of Sience (WoS), 2021). Así también, es titular de 26 de 438 patentes otorgadas a titulares nacionales en México en el 2019, situación que posiciona al Centro como la segunda Institución con mayor número de patentes en México (CONACYT, 2019)

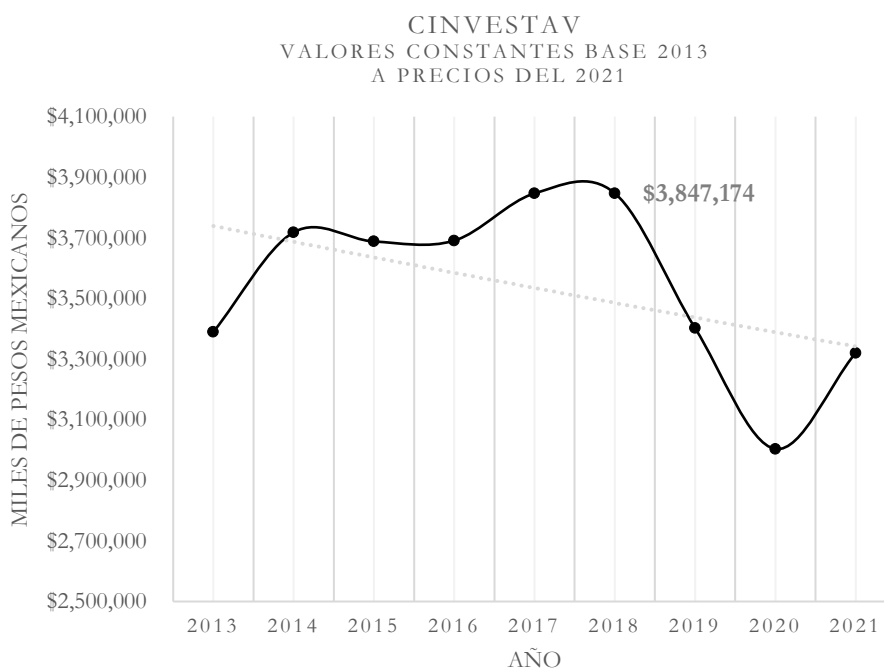
Según informes de la Cuenta Pública de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), responsable de la política del Gobierno Federal en materia financiera, fiscal, de gasto y de ingresos en México; el Cinvestav en los últimos diez años ha recibido un promedio anual aproximado de poco más de MX\$3,500 mdp [aprecios del 2021] del presupuesto público, para contribuir al desarrollo de la sociedad mexicana mediante dos

19 Los 66 programas de posgrado que oferta el Centro se agrupan en cinco grandes áreas del conocimiento, por orden descendente en cantidad de programas: ciencias exactas y naturales, ciencias biológicas y de la salud, tecnología y ciencias de la ingeniería, ciencias sociales y humanidades y multidisciplinarios.

actividades principales: uno, la investigación científica y tecnológica y dos, la formación de recursos humanos de alta calidad. Ambos propósitos están enunciados en el decreto de creación del Centro (Manual General de Organización, 2016).

En la Gráfica 2 se presentan los montos anuales devengados por el Cinvestav durante el periodo 2013-2021; las cantidades mostradas están deflactadas a precios del 2021 con base 2013. Se observa que en todos los años el presupuesto asignado ha estado por arriba de los MX\$3,000 mdp. Durante el 2014-2018 la asignación de recursos fue constante con una tasa de crecimiento promedio anual del 1%. El punto más alto del presupuesto pagado se alcanzó en el 2018 con MX\$3,847 mdp; posteriormente, este decrece año tras año -12% en promedio. El punto más bajo del presupuesto pagado fue en el 2020, primer año de la Pandemia por COVID-19. Para el año 2021 el presupuesto regresa a los niveles previos de la epidemia.

Gráfica 2 Presupuesto Anual Devengado por el Cinvestav 2013-2021



Fuente: Cuentas públicas del Cinvestav 2013-2021

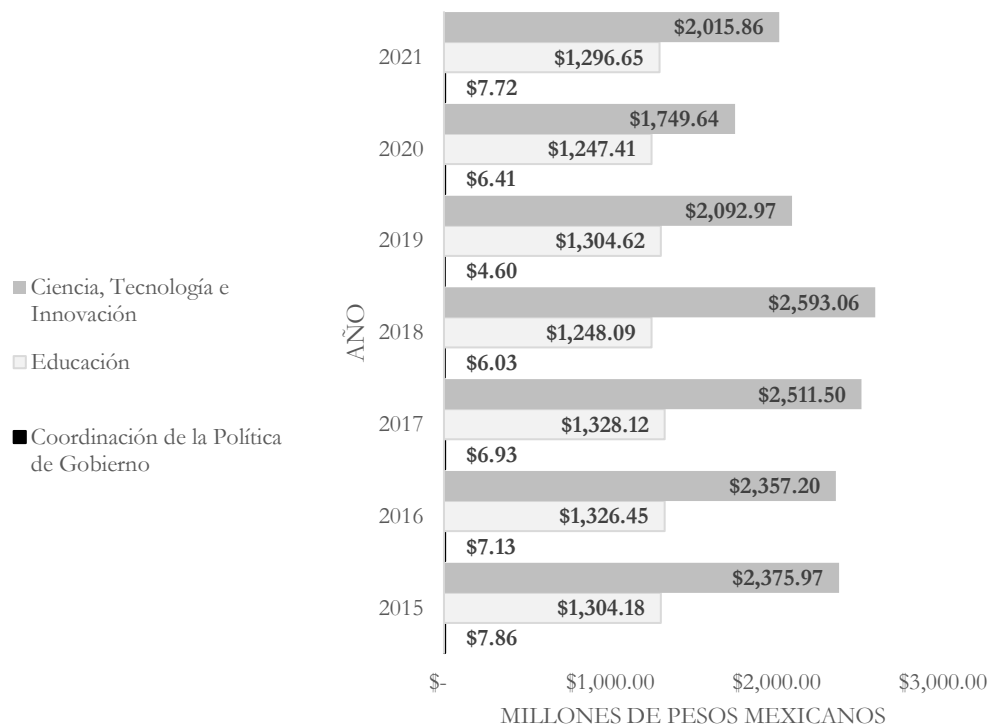
Según los estados analíticos del ejercicio del presupuesto de egresos por clasificación funcional del Cinvestav, la ejecución del presupuesto se clasifica en tres finalidades: (1) gobierno, (2) desarrollo social y (3) desarrollo económico. La primera comprende la función coordinación de la política de gobierno y la gestión pública. La segunda considera la función educación, la cual se enfoca a elevar la calidad de la educación de posgrado y recursos humanos. La tercera función ciencia, tecnología e innovación busca elevar la calidad de la investigación que desarrolla en el país; esta tarea involucra la hechura de artículos científicos, el mantenimiento de operación de proyectos de investigación científica y tecnológica (SHCP, 2013-2021).

Las siguientes dos figuras exponen detalladamente la forma en que el Cinvestav ha distribuido los recursos fiscales asignados, según la funcional. Cabe resaltar que, a partir del año 2019 el Centro diferencia la composición del presupuesto entre recursos fiscales y recursos propios, la cual en promedio es 89% fiscal y 11% propios; sin embargo, para los años previos, no existe la separación entre recursos.

En general, la gráfica No.3 muestra el presupuesto anual devengado por clasificación funcional programática en el periodo del 2015-2021; las cantidades mostradas están deflactadas a precios del 2021 con base 2013. Como se observa en el esquema, la función CTI es la que más ha recibido recursos monetarios: \$2,242 mdp en promedio para el periodo; mientras que la función educación ha recibido en promedio \$1,294 mdp, y la de Coordinación de la Política de Gobierno \$7 mdp. Se aprecia también que la proporción asignada a través del tiempo ha permanecido en los mismos niveles porcentuales; esto es que, el Centro ha destinado sistemáticamente en los últimos años el 63% del presupuesto para la primera función y 37% para la segunda.

Gráfica 3 Presupuesto Anual Devengado por Clasificación Funcional Programática
2015-2021

(Valores constantes a precios de 2021)



Fuente: Elaboración propia con información de Cuenta Pública (SHCP, 2013-2021)

En particular, la tabla 3 indica el porcentaje del presupuesto que ejerce el Centro de investigación según la finalidad y función para el periodo de estudio: 2016-2018. En promedio para los tres años de interés de la tesis, la asignación de recursos ha sido 0.20% para Gobierno, 34.27% para Educación y 65.53% para CTI.

Tabla 3: Porcentaje de asignación y erogación del total del presupuesto del Cinvestav según su finalidad y función en el periodo de estudio

Finalidad	Gobierno	Desarrollo Social	Desarrollo Económico
Función	Coordinación Política de Gobierno	Educación	Ciencia, Tecnología e Innovación
2018	0.20%	32.40%	67.40%
2017	0.20%	34.50%	65.30%
2016	0.20%	35.90%	63.90%
Promedio	0.20%	34.27%	65.53%

Fuente: Elaboración propia con información de Cuenta Pública: análisis del ejercicio del presupuesto de egresos 2016, 2017, 2018.

Nota: El CINVESTAV ejerce su presupuesto en diversas actividades que se enmarcan en tres finalidades: La primera finalidad es la de Gobierno y se refiere a la coordinación de la política de gobierno y la gestión pública. La segunda finalidad es la de desarrollo social y se enfoca en la función de educación de posgrado y formación de recursos. La tercera y última, se refiere al desarrollo económico y comprende las actividades para el desarrollo de la ciencia y tecnología.

Los principales resultados del ejercicio del presupuesto son la producción de conocimiento científico [CC] y la formación de capital humano altamente calificado [H]. Los resultados clave que utiliza para autoevaluar su desempeño son; para la categoría de conocimiento: los artículos científicos con arbitraje estricto, los proyectos de investigación científica y tecnológica, las publicaciones de investigación en desarrollo y las publicaciones de memorias en congresos nacionales e internacionales. Para el segundo resultado, el capital humano: los alumnos atendidos, los programas de posgrado [maestría y doctorado] del PNP, y la cantidad de alumnos graduados. La tabla No.5 muestra el desempeño de los indicadores a lo largo del periodo 2013-2021 clasificados por categorías según la función y finalidad reportada por el Centro en la cuenta pública de esos años.

Tabla 4: Principales resultados del ejercicio del presupuesto de egresos por finalidad y función.

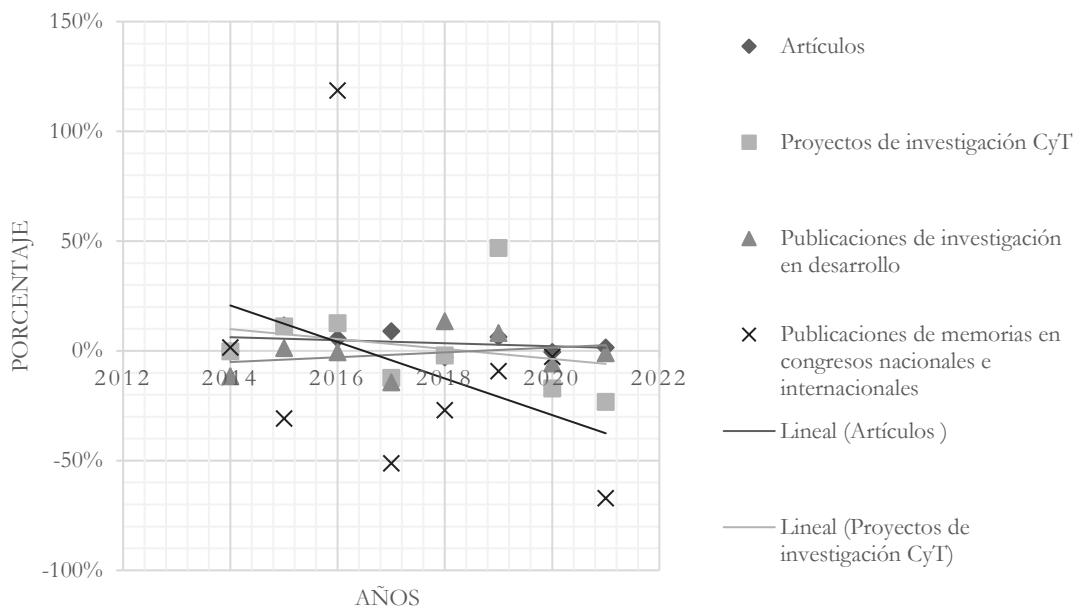
Finalidad (Función)	Desarrollo Económico (Ciencia, Tecnología e Innovación)				Desarrollo Social (Educación)			
	Año	Artículos con arbitraje estricto	Proyectos de investigación científica y tecnológica	Publicaciones de investigación en desarrollo	Publicaciones de memorias en congresos nacionales e internacionales	Alumnos Atendidos	Programas	Graduados
	2013	1,241	500	1,896	839	3,391	61	678
	2014	1,238	499	1,678	852	3,506	61	740
	2015	1,382	555	1,699	590	3,335	63	709
	2016	1,460	625	1,690	1290	3,390	63	751
	2017	1,591	548	1,448*	630	3,292	63	741
	2018	1,544	537	1,645	460	3,266	65	723
	2019	1,643	789	1,780	418	3,124	66	693
	2020	1,636	654	1,679	407	2,979	66	596
	2021	1,661	502	1,661	134	2,900	66	594

Fuente: Análisis del ejercicio del presupuesto de egresos del Cinvestav (SHCP, 2013-2021)

*El documento original dice:448. Dado que los datos de años previos y posteriores están arriba de mil unidades y que los proyectos de investigación se caracterizan por ser de mediano plazo (no menores de un año) considerar que desaparecen más de 1000 proyectos de un año a otro, parece ser un dato incorrecto por lo que se asumió que es un error y se corrigió el dato a 1,448.

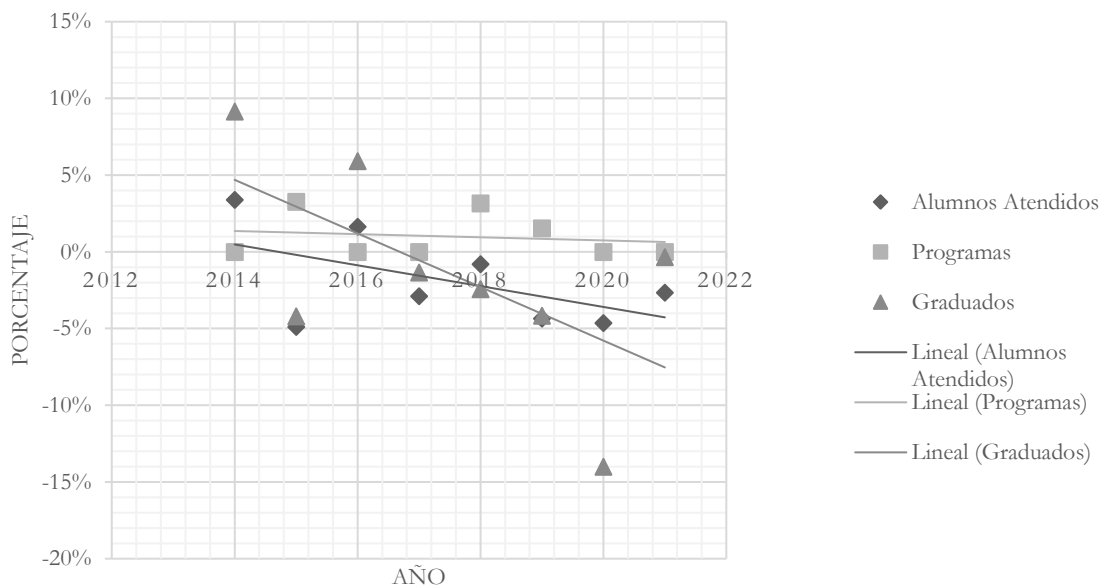
Las tasas de crecimiento de año con año ilustran gráficamente el comportamiento de los productos *[outputs]* derivados del ejercicio del presupuesto. La gráfica No. 4 muestra tasas de crecimiento y tendencias de los resultados del ejercicio del presupuesto 2013-2021 de la categoría de desarrollo económico y la gráfica No.5 de la categoría desarrollo social.

Gráfica 4: Ciencia, Tecnología e Innovación: tasas de crecimiento y tendencias de los resultados del ejercicio del presupuesto 2013-2021



Fuente: Elaboración propia con base en información de la Cuenta Pública (SHCP, 2013-2021)

Gráfica 5: Educación: tasas de crecimiento y tendencias de los resultados del ejercicio del presupuesto 2013-2021



Fuente: Elaboración propia con base en información de la Cuenta Pública (SHCP, 2013-2021)

De los indicadores que miden el desempeño del Cinvestav, en términos de desarrollo económico, la publicación de artículos con arbitraje estricto es el *output* con mayor tasa de

crecimiento promedio anual (4%), seguido de los proyectos de investigación CTI (2%). Las publicaciones de investigación en desarrollo no presentaron crecimiento, si no por el contrario, el promedio anual fue de -1%. Las publicaciones en congresos internacionales y nacionales son el *output* que más fluctuaciones ha tenido, presentando estas una tendencia a la baja en los últimos años (-8%). Esto se puede explicar por la Pandemia por COVID-19 que derivó en la cancelación y postergación de todos los eventos presenciales por el confinamiento generalizado. En conjunto, los cuatro *outputs* que tienen la finalidad de elevar la calidad de la investigación no han crecido, sino que se ha mantenido en el mismo nivel durante este periodo, lo cual se ilustra mediante la línea de tendencia simple de la gráfica No.3

Respecto a los indicadores de desarrollo social; el indicador de programas de posgrado es el único que tuvo una tasa de crecimiento promedio anualizada positiva (1%) mientras que la cantidad de alumnos atendidos y el número de graduados disminuyeron (-2% y -1%, respectivamente); este último *output* tuvo la disminución más notoria durante el año 2020 (-14%) comparado con los otros resultados del bloque, se asume que la tasa de graduación es el *output* más afectado por la crisis de pandemia del 2020; sin embargo; tanto los alumnos atendidos como el número de graduados han presentado tasas de decrecimiento desde el 2016, como se ilustra en la línea de tendencia simple de la gráfica No.4.

Toda Institución académica tiene una función de producción educativa (FPE), la cual consiste en la manera como la Institución utiliza los recursos (*inputs*) que posee para producir un bien educativo como salida (*outputs*) los cuales son establecidos en el plan de producción [y que además están condicionados al estado actual de la tecnología] (Carnoy et al., 2006). Al analizar el desempeño de los 7 *outputs* del Cinvestav, desde el ángulo de la FPE, se observa que la política de planeación y la ejecución del presupuesto no tiene una orientación de maximización de los beneficios. La asignación de recursos (*inputs*) y los *outputs* generados han sido sistemáticamente iguales en los últimos 10 años, con excepción del decremento en la tasa de graduación que se ha presentado desde el 2015.

Capítulo 4

4 Metodología, Cálculo y Resultados.

Este capítulo de la tesis tiene el propósito de calcular la tasa de Rendimiento Social (TRSE) de los dos resultados mínimos esperados que una institución con objeto I+D debe tener: conocimiento científico y capital humano altamente calificado. La estimación de los valores se hizo con base en los métodos de cálculo propuestos por Massimo Florio (2016) aplicado al del proyecto del Gran Colisionador de Hadrones del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN). Para calcular el valor social del conocimiento científico se utilizaron principalmente técnicas de la cienciometría para la caracterización cuantitativa de la actividad científica y técnicas de aproximación monetaria para la estimación del costo social. Por otra parte, los beneficios de la formación del capital humano son valorados mediante el aumento del salario en el período de trabajo activo de los graduados para lo cual se proyectó la curva salarial del sector académico de México.

Una vez calculada la línea base de valores monetarios de ambas variables se estimó el potencial de retorno de la inversión considerando un horizonte temporal de 10 años. Se calcularon los indicadores de rendimiento financiero y económico del Cinvestav: Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), Valor Presente Neto (VPN) y relación Costo-Beneficio Social (CBS). La estimación se hizo mediante dos métodos: el primero, basado en una perspectiva determinista; el segundo, bajo un enfoque probabilístico usando el método estadístico Montecarlo

4.1 Metodología de costo-beneficio social de la inversión en I+D

La evaluación económica las Instituciones I+D, desde una perspectiva económica y financiera, se ha visto obstaculizada por la naturaleza intangible de los beneficios sociales, por la ausencia de valores de mercado asociados con éstos, y por la incertidumbre ligada al logro de los resultados de la investigación. Uno de los trabajos más significativos para la resolución práctica de estos problemas metodológicos es el proyecto dirigido por el investigador Massimo Florio quien adaptó la metodología Costo-Beneficio-Social tradicional a las grandes estructuras de investigación científica como el CERN (Del Bo et

al., 2016; Florio, Forte, Pancotti, et al., 2016; Florio, Forte y Sirtori, 2016; Florio y Sirtori, 2016; Pancotti et al., 2014).

La propuesta metodológica del autor resuelve limitaciones de valuación monetaria al asumir que los beneficios intangibles de las infraestructuras CTI pueden ser estimados, de forma análoga a los bienes públicos sin uso práctico (como la preservación del medio ambiente o la inversión cultural). Entonces, la metodología recurre a fundamentos de teoría económica tradicionalmente utilizados y ampliamente aceptados en proyectos de evaluación de carácter social: 1) El precio sombra o precio social que representa el costo de oportunidad de producir o consumir un bien o servicio, 2) El concepto de disposición a pagar (DAP) para expresar la cantidad máxima que pagaría un consumidor por adquirir un determinado bien y 3) la identificación consistente de los beneficios sociales.

Si bien es cierto, hay una multiplicidad de beneficios sociales que pueden derivar de estructuras de carácter CTI, la propuesta metodológica del análisis CBS del grupo de investigación de Massimo Fiorio, considera al menos seis clases de contribuciones sociales: 1) producción de conocimiento, 2) desarrollo del capital humano, 3) efectos secundarios tecnológicos (*spillovers*), 4) efectos culturales, 5) el valor puro del descubrimiento y 6) los servicios a terceros incluidos los consumidores.

El modelo CBS para las Instituciones o proyectos en I+D se desglosa a continuación:

El Valor Presente Neto de las infraestructuras de investigación en el horizonte temporal τ se define como la diferencia entre beneficios y costos valorados a precios sombra y descontados a la Tasa Social de Descuento r . Esto se puede dividir en dos partes: el VPN de los beneficios y costos de uso y los bienes con no uso, el valor del descubrimiento.

Ecuación 4.1 (1):

$$VPN_{I+D} = VPN_u + B_n = (VP_{BU} - VP_{CU}) + B_n$$

El valor presente de los beneficios de uso (VP_{B_U}) es la suma del valor económico de la producción de conocimiento (CC), las externalidades tecnológicas (T), la acumulación de capital humano (H), los efectos culturales (C), y los beneficios de investigación aplicada a otros usuarios (A). El valor presente de los costos (VP_{C_U}) es la suma del valor económico de capital (K), costo laboral de científicos (Lc) y otro personal administrativo, técnico y operativo (Lo), otros costos operativos (Op) y externalidades negativas si las hubiere (Ex). El valor presente neto de los beneficios desconocidos de no uso (B_n) se refiere a los posibles efectos de cualquier descubrimiento en la Institución. La ecuación se expresa:

Ecuación 4.1 (2):

$$VPN_{I+D} = [CC + T + H + C + A] - [K + L_C + L_O + O_P + Ex] + B_n$$

El valor de la producción de conocimiento científico (CC) se mide por la suma del valor presente de los artículos producidos por los científicos de la Institución I+D ($P_{0\tau}$), el valor de los artículos producidos posteriormente por otros científicos que usan los resultados de los científicos de la Institución I+D dividido por el número de referencias que estos contienen ($\frac{P_{it}}{k_{it}}$, con $i = 1, \dots, n$) y el valor de las citas que recibe cada trabajo, como variable proxy del reconocimiento social que la comunidad científica da al artículo (Q_{it} con $i = 0, \dots, n$):

Ecuación 4.1 (3):

$$CC = \sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot P_{0t} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{\tau} \frac{P_{it}}{k_{it}} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{\tau} s_t \cdot Q_{it}.$$

El valor presente de los derrames tecnológicos (T) viene dado por la Utilidad incremental descontada (π_{jt}) generado por una compañía/empres (j) que se haya beneficiado de la Institución I+D por un efecto de aprendizaje:

Ecuación 4.1 (4):

$$T = \sum_{j=1}^J \sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot \pi_{jt}.$$

La acumulación de capital humano (H) se valora como el aumento de los ingresos (I) obtenidos por los estudiantes (e) de la Institución I+D desde el momento σ que se gradúan, frente a un contrafactual adecuado:

Ecuación 4.1 (5):

$$H = \sum_{e=1}^E \sum_{t=\sigma}^{\tau} s_t \cdot I_{et}.$$

Las actividades de divulgación realizadas por la Institución I+D producen efectos culturales (C) en el público en general (P), que pueden valorarse estimando la disposición de pago de este público (W) por tales actividades:

Ecuación 4.1 (6):

$$C = \sum_{g=1}^G \sum_{t=\sigma}^{\tau} s_t \cdot W_{gt}.$$

El valor presente de los beneficios producidos por la investigación aplicada de la Institución I+D sobre otros usuarios es el valor económico de los servicios prestados por la Institución:

Ecuación 4.1 (7):

$$A = \sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot a_t.$$

El valor presente de los costos de operación se puede expresar de la siguiente manera:

Ecuación 4.1 (8):

$$VP_{C_u} = \sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot (k_t + l_{ct} + l_{ot} + Op_t + \varepsilon_t).$$

Donde k_t son los costos anuales de capital, l_{ct} es mano de obra científica y l_{ot} es la mano de obra administrativa/técnica, Op_t son otros costos operativos y ε es el valor de las externalidades negativas.

Si el costo marginal de la mano de obra de los científicos se toma como un indicador del valor de los productos de los conocimientos hechos por los Investigadores-Científicos L_{ct} en la ecuación 4.1 (8) y P_{0t} en la ecuación 4.1 (3) se cancelan entre sí.

Finalmente, el valor residual B_n captura dos tipos de valores relacionados con los descubrimientos de la investigación: el valor *cuasi-opción* VQP_t y el valor de existencia VEX_t

Ecuación 4.1 (9):

$$B_n = VQP_t + VEX_t$$

En donde VQP_t es intrínsecamente incierta y por lo tanto no medible; simplemente se supone que es un valor no negativo y se omite. El valor de existencia, por otro lado, puede ser aproximado por la disposición de pago por la investigación o a través de la transferencia de beneficios.

En resumen, reescribiendo la ecuación del modelo CB para infraestructuras de investigación científica y desarrollo experimental es la ecuación:

Ecuación 4.1 (10):

$$\begin{aligned}
VPN_{I+D} = & \left[\left(\sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot P_{0t} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{\tau} \frac{P_{it}}{k_{it}} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{\tau} s_t \cdot Q_{it} \right) + \right. \\
& \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot \pi_{jt} \right) + \left(\sum_{e=1}^E \sum_{t=\sigma}^{\tau} s_t \cdot I_{et} \right) + \left(\sum_{g=1}^G \sum_{t=\sigma}^{\tau} s_t \cdot W_{gt} \right) + \\
& \left. \left(\sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot a_t \right) \right] - \left[\sum_{t=0}^{\tau} s_t \cdot (K + L_C + L_O + O_P + Ex) + (VQP_t + VEX_t) \right]
\end{aligned}$$

Como B_n es positivo, la prueba se pasa trivialmente para $VPN_u \geq 0$, mientras que para $VPN_u \geq 0$, entonces $VPN_{I+D} > 0$ si $VEX_t \geq -VPN_u$ y VQP_t se toma conservadoramente como cero.

El análisis CBS del Cinvestav utiliza los métodos de cálculo de este modelo para calcular el costo social de dos variables: la producción de conocimiento (C) y el capital humano especializado en ciencia (H).

4.2 Rentabilidad Social del Conocimiento científico del Cinvestav

El interés por conocer la rentabilidad del proceso de investigación científica de un país resulta de la persistente pregunta de los Gobiernos y la sociedad en general sobre la eficacia y eficiencia del gasto público y de las instituciones que lo ejercen. Dicho cuestionamiento se origina desde dos campos de discusión: el primero deviene de la ciencia económica y los modelos de crecimiento económico. El segundo se circunscribe en el campo disciplinar de las políticas y la administración pública con la visión conceptual del enfoque de la Nueva Gerencia Pública (NGP).

Como punto de partida, el problema básico de la ciencia económica es economizar, que se refiere a la distribución de los recursos escasos entre objetivos que compiten entre sí. A causa de la escasez de recursos, es preciso hacer elecciones, y las elecciones racionales son aquellas que alcanzan ciertos objetivos dentro de las limitaciones que establece la escasez de los recursos (Intriligator, 2002). En sentido económico estricto, circunscrito al paradigma de la optimización, la toma de decisiones de inversión debe asegurarse en la opción óptima de entre las distintas alternativas. Esta idea aplica a todos los sectores económicos y la actividad en CyT que tiene una finalidad económica y social no es la excepción.

4.2.1 La hechura y publicación de literatura científica y tecnológica

Por definición, cualquiera que sea la naturaleza y objetivos de las instituciones de investigación científica, [fundamental, aplicada o innovación], son organizaciones económico-sociales especializadas en producir un bien específico: nuevo conocimiento científico (Florio, 2019). Con base en esta descripción mínima, el conocimiento científico y técnico es el resultado común, mínimo y fundamental del proceso de investigación científica.

Partimos del supuesto de que, entre todos los posibles resultados de una investigación científica rigurosa, los artículos en publicaciones científicas y técnicas son el producto más procurado por todos los actores que integran el ecosistema de la investigación científica. Las publicaciones científicas son depositarias de los conocimientos documentales que la humanidad acumula en cualquier campo del saber y constituyen la vía fundamental para transmitir dichos conocimientos debido a que no es posible el proceso de transmisión directa por aquellos que la producen (Piedra Salomón y Martínez Rodríguez, 2007). Agregando a la idea anterior, los artículos científicos son la moneda de cambio de la ciencia moderna. La cantidad de artículos publicados, los medios en los que lo han sido y el número de veces que se han citado por otros investigadores constituyen hoy en día el método más habitual de evaluación de la calidad de un investigador, un equipo o de una institución (Tudela y Aznar, 2013). Finalmente, la reputación institucional y la carrera académica del investigador dependen también de la influencia de estos artículos dentro de comunidad científica.

Es importante destacar los insumos necesarios para la hechura de un artículo científico, que entre otras cosas es otra literatura científica. Esta cualidad única coloca a los investigadores y científicos como usuarios y productores del conocimiento simultáneamente, en términos económicos, son oferentes y demandantes de este bien. Esta peculiar característica del sector coloca a los científicos como los beneficiarios directos de la inversión en ciencia y tecnología.

4.2.2 Los costos y los beneficios asociados a la creación de conocimiento científico

Los costos de operación de los establecimientos de investigación científica, generalmente instituciones de educación superior o centros de investigación en campos específicos del conocimiento son elevados. Esto se debe, en primer lugar, a que la investigación científica es una actividad particularmente intensiva en dos factores cuyo coste unitario aumenta mucho más que la media de los demás bienes y servicios, a saber, el trabajo altamente calificado y el material de alta tecnología (Zamora Bonilla, 2014). A lo anterior hay que considerar otros costos indirectos como el personal administrativo; la adquisición y mantenimiento de equipos, así como los insumos de laboratorio, gastos operativos y de mantenimiento de la planta física ya existente.

Respecto a los beneficios, algunos son evidentes de inmediato y se pueden cuantificar fácilmente porque tienen un valor de mercado, como es el caso de las adquisiciones tecnológicas y las patentes, sin embargo, existen otros que son más difíciles de identificar, incluso su valor es discutible y no hay un consenso generalizado por los evaluadores y tomadores de decisiones, debido a que poseen características especiales de intangibilidad de los bienes y que no tienen un referente de valuación en el mercado.

Hacer una valorización monetaria que permita de forma objetiva realizar un análisis CBS y examinar la viabilidad de la inversión en conocimiento académico y científico es compleja metodológicamente debido a la parte no tangible y a la multiplicidad de detalles únicos de cada área del conocimiento, sin embargo, mediante la aplicación de técnicas economicistas resulta posible contar con una variable aproximada del valor social.

4.2.3 El modelo de cálculo del valor monetario de un producto de conocimiento

La ecuación 4.2.3 (1) expresa el valor social total descontado de la publicación científica en un tiempo determinado:

$$\text{Ecuación 4.2.3 (1)}$$

$$VPNE_{CC} = \sum_{t=0}^{\tau} (s_t \cdot E(Y_t) \cdot (E(m)))$$

Donde: $E(Y_t)$ representa el costo social esperado de producir resultados de conocimiento en el momento t ; s_t como factor de descuento y $E(m)$ el multiplicador de impacto esperado.

La forma operativa para estimar del valor social del conocimiento se puede englobar de forma breve en cuatro pasos: el primero consiste en calcular la capacidad de producción de la institución, esto es, número medio de productos de conocimiento (artículos) por autor por año. La segunda etapa radica en cuantificar el producto científico en términos monetarios y esto se logra tomando como precio de referencia el salario bruto del autor y el tiempo que dedica a la investigación. La tercera parte consiste en calcular el valor de influencia del artículo dentro de la comunidad científica a través del número medio de citas de la producción científica y, por último, para asignar un valor monetario al factor de impacto previamente calculado, se usa el número de referencias que un artículo cita, y se aplica el concepto económico de costo de oportunidad, que considera el costo del tiempo que los científicos necesitan para descargar y leer el artículo de alguien más para luego citarlo.

4.2.4 Fuentes de datos e información.

- El análisis cuantitativo se realizó con una base de datos conformada por 4,766 documentos científicos obtenidos de la base de datos de la *WoS*. Se hizo una búsqueda básica por nombre de la institución “Cinvestav o Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional” el cual está indizado en la lista de opciones predeterminadas; posteriormente se seleccionó el campo de “organización-consolidada”. Se acotó el periodo de búsqueda a tres años, 2016 al 2018, que corresponde al tiempo de interés del estudio.

- El número de investigadores que trabajan para el Cinvestav y otros datos de los académicos fueron obtenidos de los anuarios estadísticos oficiales del Cinvestav (Cinvestav, 2016, 2017, 2018).
- Los datos de presupuesto y porcentajes del ejercicio del gasto de inversión se obtuvieron de las Cuentas de la Hacienda Pública Federal del 2018, 2017 y 2016 (SHCP, 2016, 2017, 2018).
- Los salarios de los científicos se obtuvieron de la página gubernamental, Nómina Transparente del Fondo de Aportaciones para la Nómina Educativa y Gasto Operativo (SFP, 2021-2022).
- Se considera que Investigador Cinvestav que trabaja en el Centro a tiempo completo y exclusivo, cuya función es realizar actividades de investigación científica y/o tecnológica y formar investigadores (Reglamento, 2022).
- La tasa de descuento social para México es del 10% con base en información de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público del 25-julio-2022. (Determinación de la Tasa Social de Descuento aplicable a programas y proyectos de inversión, 2022)

4.2.5 Resultados

Para calcular el costo social del conocimiento científico se utiliza como insumo datos que únicamente se pueden obtener mediante la aplicación de técnicas bibliométricas. Los principales indicadores que caracterizan la actividad científica del Cinvestav se reportan en la tabla II.

Tabla 5: Principales indicadores cuantitativos de la actividad científica del Cinvestav
2016-2018

Año	Todos los productos de investigación	Artículos Científicos	h- <i>index</i>	Promedio de Citas	Mediano de Citas	Promedio de referencias	Número de investigadores
2018	1,521	1,157	34	8	4	48	654
2017	1,558	1,150	45	12	6	47	640
2016	1,687	1,174	47	13	7	44	649
2016-2018	1,589	1,160	68	11	4	46	648

Fuente: Elaboración propia con información de la *Web of Science* y anuarios estadísticos institucionales.

Este primer cálculo de valoración monetaria es generalizado para todas las áreas de conocimiento, considera que la hechura y publicación de literatura científica y tecnológica es el mismo para todo el conocimiento y no contempla que las comparaciones bibliométricas deben realizarse solo dentro de un campo. Una mejor practica sería realizar el cálculo por campos de investigación, sin embargo, esto que complejizaría en la práctica el proceso de evaluación. Otra posibilidad para mejorar el cálculo es o aplicar un factor de normalización que ajuste los valores.

El costo marginal promedio de producción unitario (no descontado) de una publicación científica para el Cinvestav en el periodo 2016-2018, es de MX\$363.300,75 a precios corrientes del 2021, esto es equivalente a US\$68.600,00 aproximadamente. Con base en este dato y el número promedio total anual de artículos publicados por la institución se obtuvo el valor total de producción científica de la institución, la cual tiene un valor total de MX \$473.160 millones.

El valor monetario que se obtiene con esta metodología es un buen referente del costo marginal de producción del artículo científico, éste último considerado como ítem intensivo en trabajo altamente especializado. Si bien es cierto, la metodología no considera pagos directos de suscripción a revistas y cuotas para publicación, elementos que son imprescindibles para la hechura de literatura científica, ni tampoco contempla los costos indirectos para el mantenimiento y administración de la infraestructura y los laboratorios. La propuesta metodológica captura la parte intangible de la generación de conocimiento

científico: la actividad intelectual y creativa de los científicos e investigadores y que además es la proporción más cuantiosa del costo de producción. En otras palabras, el factor cognitivo de los productores de conocimiento.

Si existe el interés de valorar la producción científica con los costos indirectos que la metodología no contempla, añadir un porcentaje del total de presupuesto asignado a este objetivo proporcionaría un valor ajustado válido para propósitos de un análisis costo/beneficio completo. En contraparte, el cálculo que solo considera los costos directos e indirectos tangibles no es una variable monetaria aproximada de la generación de nuevo conocimiento.

Al considerar la tasa de descuento del 10% y un efecto a 20 años, el Valor Presente Neto Social (VPNS)²⁰ de la producción de artículos científicos es de MX\$70.332,272. Este valor es positivo y mayor que cero ($VPNS > 0$), lo cual significa que la inversión social en este *item* es rentable y, por lo tanto, es conveniente realizarlo.

El dato numérico aquí estimado es una medida homogénea que además de posibilitar la planeación para la optimización de recursos, proporciona métricas para evaluar si este producto cumple con los objetivos sociales planteados de los programas e instituciones públicas en CyT.

Es innegable que la inversión en las instituciones científicas y específicamente aquella que se destina a investigación básica, tiene beneficios. La investigación fundamental amplía las fronteras del conocimiento y permite el progreso científico (Zuijdam et al., 2011). Sin embargo, y dado que los presupuestos son limitados, la elección de las opciones de inversión tiene que racionalizarse de acuerdo con los costos y beneficios asociados a las investigaciones, es una tarea primordial repensar la noción de beneficio de la creación de publicaciones científicas con el objeto de incorporar otros aspectos al análisis.

²⁰ El Valor Presente Neto Social (VPNS) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como Valor Neto Actual (VNA), Valor Actualizado Neto o Valor Presente Neto (VPN).

4.3 La rentabilidad social de la formación del capital humano altamente calificado

El interés que existe sobre la rentabilidad del proceso de investigación científica se replica en la de la formación de capital humano. Estas dos variables son los indicadores mínimo-necesarios para medir el desempeño de cualquier Institución I+D cuyo propósito fundamental es la investigación científica. Particularmente, el Cinvestav tiene la finalidad explícita de “realizar investigación básica aplicada de carácter científico, tecnológico y humanístico, así como de formar investigadores especialistas a nivel posgrado y expertos en diversas disciplinas científicas y tecnológicas” (Cinvestav, 1982).

El apartado anterior se dedicó a la medición de la primera variable, mientras que, esta parte de la tesis se enfoca en el beneficio social de la acumulación del capital humano.

El término capital humano se concibe en la teoría económica que parte de la idea de que el capital es aquello que se mantiene intacto y produce rendimientos (o ganancias) que son permanentes. Existen muchos subtipos de capital, incluidos el capital humano y el capital social, de los cuales se han propuesto teorías especializadas. Los estudios del capital humano se han ocupado principalmente de explicar como la escolaridad y la capacitación embebidas en una persona dan lugar al aumento de sus ingresos privados futuros (Rutherford, 1995). El cuerpo teórico inicialmente se formuló por (Mincer, 1958), (Schultz, 1960) y (Gary S. Becker, 1964) quienes sostienen que los trabajadores individuales tienen un conjunto de habilidades o destrezas que pueden mejorar o acumular a través de la capacitación y la educación. En un trabajo posterior de (Mincer, 1974) se desarrolló la ecuación de salarios en función del número de años de escolaridad y de la experiencia laboral del individuo (ecuación de salarios minceriana)²¹ esta idea influyó en

²¹ La versión más utilizada de las ganancias de capital humano de Mincer (1974) es la función: $\log Y = \log Y_0 + rS + B_1X + B_2X^2$, donde Y son los ingresos, Y_0 es el nivel de ingresos de un individuo sin educación ni experiencia, S son los años de escolaridad, y X son los años de experiencia potencial en el mercado laboral.

diversos estudios de corte empírico que hallan una relación positiva entre las variables de la ecuación.

La literatura sobre el crecimiento económico postula que la educación a través del aumento del stock de capital humano de los individuos mejora la productividad y, por lo tanto, contribuye al crecimiento económico. Específicamente, la teoría sobre crecimiento endógeno, popularizada por el trabajo de (Romer, 1990), asume que la creación de nuevas ideas y diseños son una función directa del capital humano la cual se refleja en la acumulación de conocimiento científico. Asteriou y Agiomirgianakis, (2001) mencionan que la inversión en capital humano, al mejorar la investigación y el desarrollo, genera crecimiento en el capital físico, lo que se traduce en crecimiento económico (p.480). Además, la acumulación persistente de conocimiento por parte de los individuos ya sea con esfuerzos intencionales como explica (Lucas E. Robert, 1988) o con el aprendizaje práctico como explican (Azariadis y Drazen, 1990) mejora la productividad laboral y del capital, contribuyendo así al crecimiento económico. En esta línea de pensamiento se enuncian los trabajos de (Barro, 2001) y (Mankiw et al., 1992) quienes encontraron una contribución positiva y significativa entre las tasas de escolaridad del capital humano y el crecimiento del producto.

Los críticos del enfoque económico clásico argumentan que los cálculos de la tasa de rendimiento de las inversiones en capital humano se han centrado en las recompensas monetarias de los ingresos privados ignorando otros beneficios sociales. Así también, han señalado las dificultades de la medición, al respecto indican que es necesario resaltar que las variables *proxys* utilizadas para medir el capital humano (tasas de escolaridad o el promedio de años de educación adquirida) permiten medir sólo la cantidad más no la calidad de la educación.

En una Institución I+D suele haber cuatro grupos de personas; (1) personal científico, (2) personal técnico, (3) personal administrativo y de apoyo, y (4) estudiantes de doctorado, posdoctorados, jóvenes investigadores, académicos visitantes, entre otros. A medida que este último grupo; los estudiantes (futuros trabajadores), acumulan grados de escolarización, su valor en el mercado debería aumentar ya que aportan más experiencia y

eficacia a sus tareas laborales. Teóricamente, el valor de mercado de un trabajador debería aumentar en proporción a la cantidad de educación que recibe, comúnmente medido con el número total de créditos académicos acumulados (Di Xu y Fletcher, 2017). Bajo este supuesto se construye el modelo de cálculo del beneficio social de la formación de capital humano propuesto por el grupo de investigación dirigido por Massimo Florio (Del Bo et al., 2016; Florio, 2019; Florio, Forte, Pancotti, et al., 2016; Florio, Forte y Sirtori, 2016; Florio y Sirtori, 2016) y que se utiliza en el análisis costo-beneficio social del Cinvestav.

4.3.1 El modelo de cálculo del valor del capital humano altamente calificado

Para este análisis, los beneficios de la formación del capital humano son valorados mediante el aumento de salario en el período de trabajo activo de las personas que han sido formadas en el Centro de Investigación: La ecuación 4.3.1 (1) expresa el valor social total descontado de la formación de capital humano en un tiempo determinado:

Ecuación 4.3.1 (1):

$$VPNE_H = \sum_{i=1}^I \sum_{t=\varphi}^{\tau} s_t \cdot E(E_{it})$$

Donde: $VPNE_H$ es el valor actual esperado de los beneficios de capital humano; $E(E_{it})$, es la suma de los beneficios crecientes esperados; i , índice que agrega a los estudiantes y jóvenes científicos; φ , es el tiempo en el que abandonan la Institución científica y s_t como factor de descuento.

La forma operativa para estimar el valor social del conocimiento se puede englobar de forma breve en seis pasos: Primero, pronosticar el número de jóvenes investigadores entrantes por categoría (por ejemplo, estudiantes de maestría y de doctorado). Segundo, asumir los posibles sectores profesionales en los que se espera que los estudiantes que salen del Centro de investigación encuentren trabajo, tales como otros centros de investigación, la academia y diferentes sectores de la industria. Tercero, asumir la distribución de probabilidad de diferentes categorías de estudiantes que encuentran trabajo

en el sector profesional previamente identificado. Cuarto, estimar el promedio del salario bruto anual para cada uno de los sectores profesionales identificados en los diferentes niveles de desarrollo profesional (ingreso, mitad de carrera, experimentado, final de carrera). Quinto, utilizar una función apropiada (por ejemplo, la logarítmica) para estimar la curva salarial continua para cada sector profesional. Sexto y último, estimar el salario '*premium*' cuando aplica.

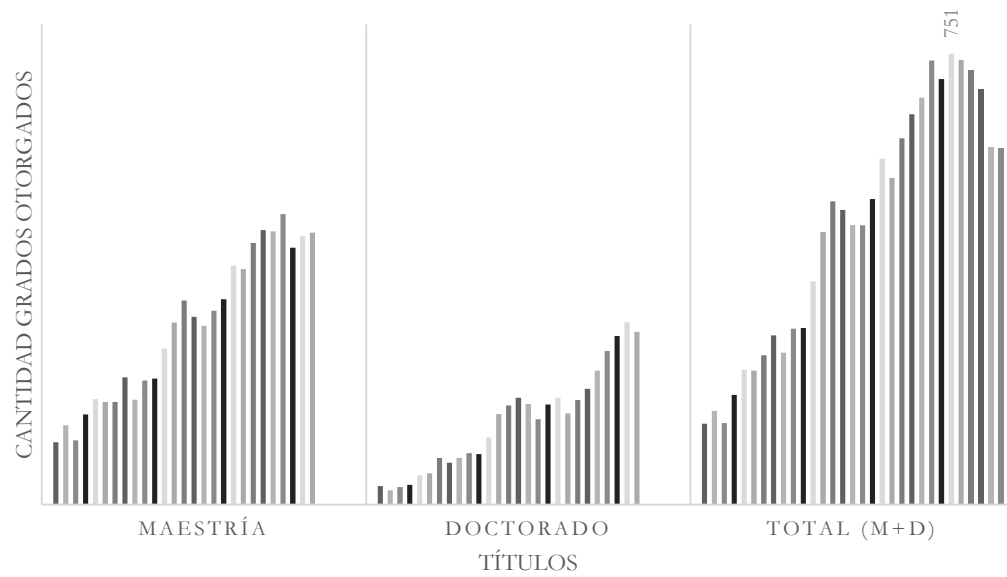
4.3.2 Fuentes de datos e información

- El número de personas egresadas según el tipo de grado recibido (maestría y doctorado) se obtuvo de la cuenta pública que integra la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021b), así como de información proporcionada por el Cinvestav. La información se muestra gráficamente en tres gráficas 6,7 y 8; las cuales están separadas por tipo de grado otorgado (maestría y doctorado) y en tres bloques de años: 60, 30 y 15.

Durante todo el periodo en el cual el Cinvestav ha estado en funciones se han otorgado 15,865 títulos; en general, se destaca que hay una tendencia positiva en el crecimiento de grados otorgados, que alcanzó su punto máximo de egresados en el 2016 con 751 personas; sin embargo, los cinco años posteriores (2017-2021) se ha visto un decrecimiento continuo, destacando el 2020 (año de la pandemia por Covid-19) con la tasa de decrecimiento más baja -14% con 596 egresados. En los gráficos también se observa la distribución de grados otorgados; aproximadamente, $\pm 30\%$ del total de grados otorgados son títulos de Doctor en ciencias, el punto más alto de estos se alcanzó el 2016 con 304 personas.

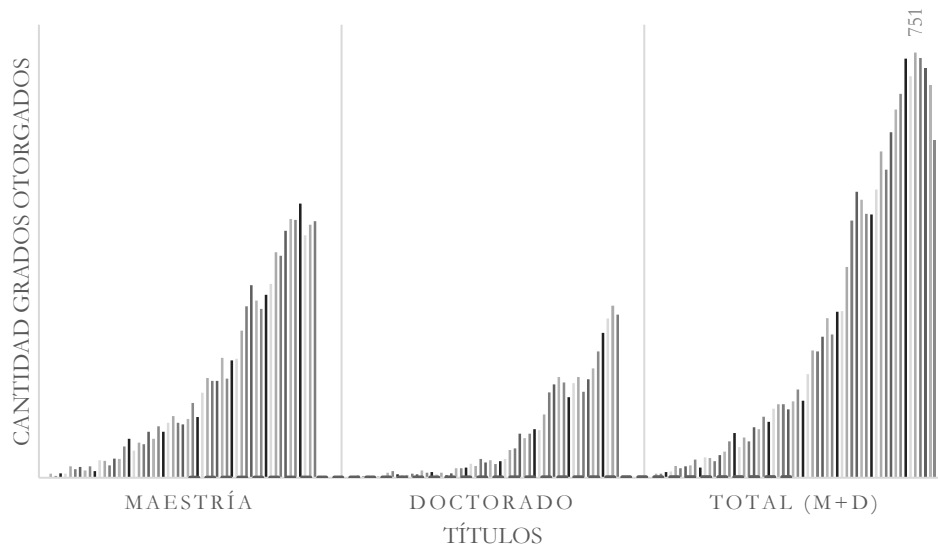
Gráfica 6: Cantidad de Grados Otorgados por el Cinvestav 1961-2021 (60 años)

Fuente:



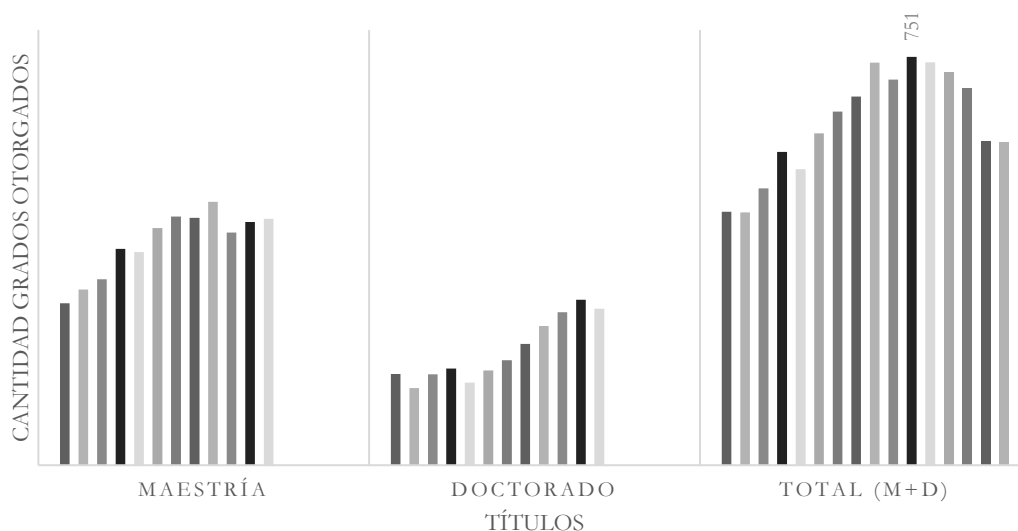
elaboración propia con base en información del Cinvestav

Gráfica 7 Cantidad de Grados Otorgados por el Cinvestav 1991-2021 (30 años)



Fuente: elaboración propia con base en información del Cinvestav

Gráfica 8 Cantidad de Grados Otorgados por el Cinvestav 2006-2021 (15 años)



Fuente: elaboración propia con base en información del Cinvestav

- La información para la estimación del salario bruto anual científicos en México se obtuvo de la página gubernamental, Nómina Transparente del Fondo de Aportaciones para la Nómina Educativa y Gasto Operativo de la primera quincena de Octubre del 2022. (SFP, 2021-2022).

4.3.3 Curva salarial del sector académico en México

Para estimar la curva salarial del sector académico de México se analizaron los niveles de sueldo bruto de 9,334 profesores-investigadores adscritos a instituciones científicas y tecnológicas públicas mexicanas dedicadas a la investigación y la docencia de nivel superior en variadas disciplinas del conocimiento; de los cuales: 609 son investigadores del Cinvestav, 3,849 de los Centros de Investigación (CPI) del Conacyt y 4,876 del Instituto Politécnico Nacional. En promedio, se encontró que la Institución con el mayor sueldo bruto mensual por investigador adscrito es el Cinvestav con \$43,407.69 mxn, seguido de los CPI con \$35,385.62 mxn y el IPN con \$30,261.65 mxn.

Las siguientes tablas No. 6 No. y No. 8, engloban los promedios de sueldo bruto de los profesores investigadores empleados en cada una de las tres instituciones académicas analizadas.

Tabla 6: Niveles de Sueldos de Profesores Titulares del IPN

Promedio sueldo bruto mensual (redondeado)
Precios Corrientes del 2022

Puesto	Categorías			Promedio
	A	B	C	
Profesor-Investigador	\$ 20,963.26	\$ 24,830.83	\$ 32,823.95	\$ 30,261.65

Fuente: Cálculos propios con base en SFP 2022

Tabla 7: Niveles de Sueldos de Investigadores Cinvestav

Promedio sueldo bruto mensual (redondeado)
Precios Corrientes del 2022

Puesto	A	B	C	D	E	F	Promedio
Investigador nivel 2	\$ 31,738.00	\$ 33,213.95	\$ 37,708.14				\$ 34,220.03
Investigador nivel 3	\$ 41,709.88	\$ 43,540.45	\$ 45,193.37	\$ 47,079.42	\$ 49,338.03	\$ 49,727.10	\$ 46,098.04
Investigador Emérito						\$ 49,905.00	\$ 49,905.00
Total,							\$43,407.69

Fuente: Cálculos propios con base en SFP 2022

Tabla 8: Niveles de Sueldos de los Centros de Investigación Conacyt

Promedio sueldo bruto mensual (redondeado)
Precios Corrientes del 2022

Puesto	Categorías				Promedio
	A	B	C	Cátedras	
Asistente, auxiliares, técnicos de investigación	\$ 12,499.70	\$ 13,297.00	\$ 14,911.76		\$ 14,129.99
Investigador, técnico investigador titular	\$ 25,326.00	\$ 26,982.00	\$ 27,933.00		\$ 27,484.54
Cátedras				\$ 30,676.00	\$ 30,676.00
Ingeniero, Tecnólogo asociado	\$ 29,235.78	\$ 30,351.00	\$ 32,985.37		\$ 31,432.51
Investigador Asociado	\$ 29,344.91	\$ 30,948.25	\$ 35,204.40		\$ 33,265.75
Ingeniero, Tecnólogo titular	\$ 36,732.56	\$ 30,346.45	\$ 38,449.60		\$ 35,298.05
Tecnólogo titular	\$ 36,604.00		\$ 39,882.00		\$ 37,013.75
Investigador Titular	\$ 38,347.61	\$ 40,195.52	\$ 41,820.97		\$ 40,690.89
Total,					\$ 35,385.62

Fuente: Cálculos propios con base en SFP 2022

Para el caso de estudio del Cinvestav se consideran únicamente a graduados de doctorado del Cinvestav; no se cuentan a los post-doctorantes, ni investigadores de cátedras Conacyt, ya que no hay información estadística de este grupo de personas. El análisis tampoco toma en cuenta a los graduados de maestría porque no existen [o no están a disposición pública] las estadísticas de seguimiento de los egresados que indiquen los distintos escenarios laborales en los cuales se emplean. Para enfrentar esta limitante de información se asumió que solo un tercio de los maestros y el total de doctores siguen una carrera científica en la academia. Al no contemplarse otros escenarios laborales la estimación a la cual se llega deberá considerarse subestimada y por tanto un escenario conservador.

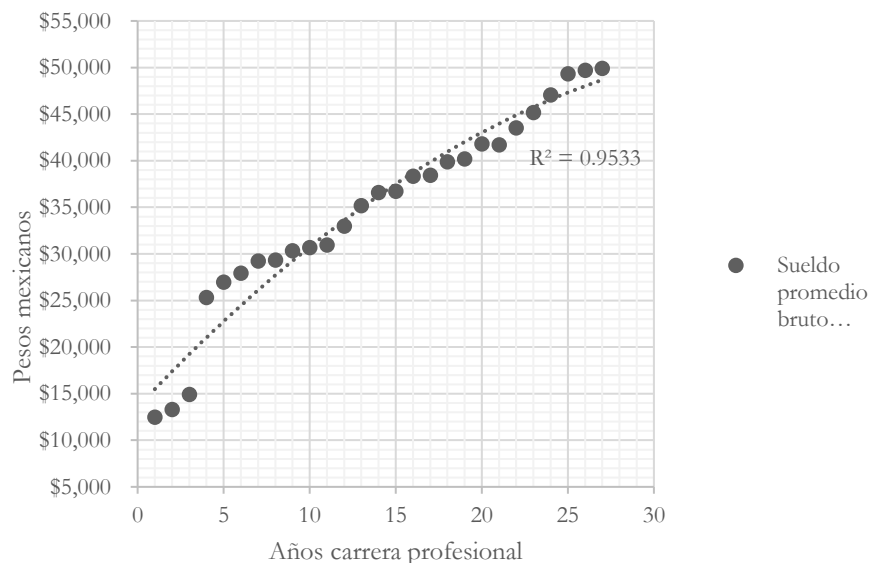
Otros supuestos necesarios para cuantificar el beneficio social de la formación de capital humano son, que los estudiantes graduados de posgrado tienen entre 30 y 35 años y que el horizonte de la carrera máxima es de 30 años; esta temporalidad se delimitada por los años de retiro por cesantía en edad avanzada y vejez para obtener una pensión (IMSS, 2022; ISSSTE, 2022). Finalmente, se tiene que la edad máxima de productividad es a los 58 años para el caso de las investigadoras y 57 años para los investigadores (Rodríguez Miramontes et al., 2017).

Con base en la información y los supuestos previamente establecidos se estimó la curva salarial asociada a la carrera profesional en la academia y en los centros de investigación en México, la cual se presenta en el gráfico No. 9. El sueldo de partida o de ingreso de un Investigador en etapas tempranas se espera que sea de \$30,000 mxn; cantidad que corresponde al nivel de salario establecido en el programa Cátedras Conacyt y el cual está dirigido a jóvenes investigadores con doctorado, especialidad equivalente o posdoctorado (de preferencia), en edades de hasta 40 años, en el caso de los hombres y 43 en las mujeres. El sueldo final de un investigador se midió con base en la remuneración bruta mensual recibida por los científicos con la distinción de Investigador Nacional Emérito que es aproximadamente de \$50,000 mxn. Con base en estos márgenes se espera que una persona con carrera académica en México incremente su nivel de salario en $\pm 65\%$ - 70% del inicio al final de la trayectoria académica. Cabe recalcar que los sueldos considerados para la Curva no toman en cuenta otros posibles ingresos como son becas del sistema nacional de investigadores o becas de desempeño de las propias instituciones, lo anterior debido a

que estas son, en términos de (Gil Antón, 2013; Gil-Antón y Contreras Gómez, 2019) Transferencias Monetarias Condicionadas (TMC), [o bien, “pago por mérito”] las cuales consisten en otorgar recursos adicionales a quienes, de manera individual, tengan o adquieran ciertas condiciones formativas y produzcan lo que se espera de un académico con perfil deseable. No se toman en cuenta las TMC debido a que son ingresos adicionales no contractuales que varían de caso en caso y un investigador puede o no contar con este recurso monetario.

La tasa de ganancia salarial de la educación superior y posgrado en México para el 2018 fue de 10.29% y para el 2006 del 8.90% (Austria Carlos y Venegas-Martínez, 2011; Austria-Carlos et al., 2018). Está estimación involucra todos los escenarios posibles de empleo laboral y los grados de licenciatura, maestría y doctorado; con los datos aquí analizados y bajo los supuestos establecidos, el promedio de crecimiento del ingreso bruto anual considerado la trayectoria total de la profesión académica es de 7.4%.

Gráfica 9: Curva Salarial de la Profesión Académica en México (precios corrientes, 2022)



Fuente: Estimación propia

4.2.4 Resultados

El valor socioeconómico del beneficio social del capital humano, expresado como el incremento esperado del salario ganado por tales individuos durante toda su trayectoria profesional, para una persona que posee el grado académico de Doctor en Ciencias y que se emplea en la Academia en México es de MX\$18,557,482.00 a precios corrientes del 2021, esto es equivalente a US\$950,000 dólares estadounidenses aproximadamente. Con base en este dato y el número promedio anual de grados de Doctor otorgados (277) por el Cinvestav durante 2016-2018 se obtuvo el valor social esperado de la formación del capital humano de la institución, el cual tiene un valor total de MX\$5,140 millones.

Al considerar la tasa de descuento del 10% y un efecto a 20 años, el Valor Presente Neto Social (VPNS)²² de la acumulación de capital humano es de MX\$ 764,091,049.00. Este valor es positivo y mayor que cero ($VPNS > 0$), lo cual significa que la inversión social en este *item* es rentable y, por lo tanto, es conveniente realizarlo.

El valor monetario que se obtiene con la metodología propuesta por Massimo Florio es un buen referente del salario incremental futuro de una persona con grado de Doctor que entra al mercado laboral del sector académico. Si bien es cierto, éste no considera pagos indirectos a la relación contractual del Investigador con su Centro de Investigación ni los incrementos salariales por la inflación; la propuesta metodológica captura el beneficio social de la acumulación de capital humano.

Un segundo objetivo en la interpretación es jerarquizar entre las dos alternativas independientes del Cinvestav para priorizar a partir del proyecto que tenga un mayor VPNS. Se deduce que mientras mayor sea el VPNS mayor será la probabilidad de eficiencia presupuestaria y mayor capacidad tendrá el proyecto de enfrentar externalidades negativas que puedan aparecer durante la ejecución. Al respecto se tiene que, el VPNS (con una tasa de descuento del 10% y un efecto a 20 años para ambos) la variable Conocimiento

²² El valor Presente Neto Social (VPNS) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como Valor Neto Actual (VNA), Valor Actualizado Neto o Valor Presente Neto (VPN).

Científico es de MX\$70,332 millones de pesos, mientras que para la Formación de Capital Humano es de MX\$764,091 millones de pesos aproximadamente.

Del anterior párrafo se concluye que, considerando el criterio de decisión VPNE, la formación de capital humano es 10 veces mayor [10.86 exactamente] que el valor de la producción de conocimiento científico, por tanto, la inversión es factible y debería estimarse más que la producción de conocimiento científico (elaboración de artículos científicos).

4.3 Evaluación costo-beneficio social *Ex-Post* del Cinvestav

El análisis CBS en un escenario *Ex-Post* evalúa la implementación o ejecución de la inversión en un tiempo definido en el que generalmente existe una valoración de los costos y beneficios previa, [evaluación *Ex-Ante*], sin embargo, esto no es una limitante. De acuerdo con la (CEPAL y ILPES, 1997), por evaluación *Ex-Post* se entiende al proceso encaminado a determinar sistemática y objetivamente la pertinencia, eficiencia, eficacia e impacto de todas las actividades desarrolladas a la luz de los objetivos planteados en un proyecto. Es un proceso organizativo para mejorar las actividades que se encuentran aún en marcha y ayudar a la unidad de administración del proyecto a la planificación, programación y decisiones futuras (p.17). El propósito es cerrar el ciclo de proyectos; hacer un seguimiento posterior de las variables que puedan mostrar si efectivamente el programa o proyecto está alcanzando o alcanzó lo esperado en la evaluación *Ex-Ante* (p.10). Esta evaluación se concibe como un elemento para retroalimentar metodologías y corregir desviaciones de un proyecto [programa] en la etapa de operación.

Los resultados que a continuación se presentan (TIRE, VPN, ratio CBS) proceden del primer análisis CBS *ex-post* hecho para el Cinvestav. El Centro tiene 41 años funcionando como organismo público descentralizado, de los cuales, en los últimos 10 ha asignado sistemáticamente el 63% del presupuesto para investigación científica y 37% para docencia²³. Los tres indicadores financieros del CBS permiten valorar la eficiencia, eficacia e impacto que tiene y ha tenido el ejercicio de la política presupuestaria del Cinvestav. Los

²³ Cálculos propios con base en análisis de las Cuenta Publica 2013-2021

resultados tienen una base técnica y metodológica robusta que permite tomar decisiones institucionales estratégicas.

4.3.1 Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), Valor Presente Neto Esperado (VPNE) y razón Costo-Beneficio Social (CBS) del Cinvestav

Una vez calculada la línea base de valores monetarios para las variables de conocimiento científico y de capital humano es posible evaluar el potencial de retorno de la inversión en un horizonte temporal previamente definido. Se calcularon los indicadores de rendimiento financiero y económico del Cinvestav: Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), Valor Presente Neto (VPN) y relación Costo-Beneficio Social (CBS). La estimación se hizo mediante dos métodos: el determinista y el probabilístico usando el método estadístico Montecarlo. En el primero; una buena decisión se juzga de acuerdo con los resultados; mientras que, en los modelos del segundo tipo, el tomador de decisiones no solo está preocupado por los resultados sino también con la cantidad de riesgo de cada decisión.

Los montos de inversión ejercidos por Cinvestav se obtuvieron del “Tomo VII Sector Paraestatal” de la Cuenta Pública Federal del ejercicio fiscal de los años 2013-2021. Este documento reúne la información contable, presupuestaria y programática, de cada una de las entidades del sector paraestatal bajo control presupuestario directo e indirecto, así como también, incluye los anexos de bienes muebles e inmuebles que componen el patrimonio, así como los esquemas bursátiles y de coberturas financieras de las Entidades públicas. Los estados financieros entregados por el Cinvestav al legislativo reportan a detalle el objeto de los gastos (o costos) en los que ha ejercido el presupuesto anualmente.

En general, los costos son todos aquellos egresos en efectivo que son pagados directamente por los órganos de gestión administrativa de la Institución científica para construir, operar, mantener y actualizar a la misma. En particular, estos se desglosan según el objeto del gasto en dos categorías: Costos de Capital y Costos Operativos.

- Los Costos de Capital (K) incluyen los egresos por adquisición de bienes duraderos; como son los costos de construcción, los de adquisición de equipo

experimental y los de activo fijo y otros intangibles (Florio, 2019). En correspondencia a esta definición, se utilizó la cuenta de los estados financieros “Gastos de Inversión” ya que toma todos los egresos que el Cinvestav ha ejercido en bienes inmuebles, mobiliario y equipo de laboratorio, inversión en intangibles y otros gastos destinados a obra pública en bienes propios. El monto promedio asignado para esta posición de balance es de \$142,649,324.36 pesos mexicanos.

- Cabe destacar que el concepto anterior difiere del Costo del Capital (Ke), que en términos de evaluación socioeconómica de los programas y proyectos de inversión pública se refiere a la Tasa Social de Descuento (TSD).
- En sentido amplio, el Ke , es el costo de oportunidad de un inversionista para financiar sus proyectos de inversión, se presenta en términos de tasa porcentual y generalmente se estima con base en información proporcionada por los mercados financieros. En el caso de que el gobierno sea el principal financiador del proyecto o programa, se refiere al costo de oportunidad de capital para la sociedad (Florio, Forte, Pancotti, et al., 2016). Sobre esta en particular, el Banco Mundial realizó una estimación de la TSD actual aplicable, utilizando el método de los precios (o costos) ponderados de la demanda de inversiones, inclusive de impuestos, y la oferta de ahorros, neta de impuestos, así como un análisis del contexto económico, y derivado de ellos se hizo la recomendación de mantener la TDS actual del 10% debido a la variabilidad de las condiciones económicas de los últimos años y posibles cambios (Determinación de la Tasa Social de Descuento aplicable a programas y proyectos de inversión, 2022). Con base en la sugerencia internacional la TSD aplicable para México es del 10% y en consecuencia este porcentaje es utilizado para estimación del VPN de la inversión del Cinvestav.
- Los Costos Operativos (Op) son todos aquellos egresos en los que incurre una Entidad para poder realizar día con día su principal actividad productiva. Para las Instituciones I+D dichos gastos incluyen los costos de mano de obra del personal científico, técnico y administrativo; así como los gastos materiales, experimentales, la energía y otros servicios públicos de comunicación y mantenimiento de la

infraestructura. Con base en esta acotación, la posición de los estados financieros que se llama “Gasto corriente” agrupa los gastos operativos del Cinvestav en cuatro cuentas: servicios personales, gastos de operación, subsidios y otros gastos.

- Los costos de mano de obra del personal científico (P_c) y del personal técnico y operativo (P_o) están reportados como remuneraciones al personal de carácter permanente, transitorio, adicionales y especiales, sin hacer una distinción entre el tipo de trabajo que se realizan. Para la separación entre trabajo científico y operativo se utilizaron los registros de la nómina pagada del Cinvestav que está pública en la plataforma de consulta de la nómina de los servidores públicos (SFP, 2021-2022). La nómina pagada durante segunda quincena de septiembre 2022 fue por un total de \$59,090,228.00 de pesos mexicanos para pagar sueldos a un total de 2,200 empleados, de los cuales 620 [28%] son investigadores y académicos y 1,600 [72%] técnicos y administrativos, asimismo, el 42% del total del recurso económico es para pagar al personal científico y 53% para el operativo y técnico. En tal sentido, los montos de la mano de obra que fueron utilizados tanto para el personal científico (\$645,078,704.92 mxn), como el del operativo (\$727,429,177.89 mxn) están en razón a esta proporción.
- El valor de los Costos Operativos (O_p) del modelo es de \$2,279,679,076.92 mxn, dicha cifra se retoma de la cuenta de “Gasto Corriente” que se conforma de los gastos en materiales y suministros (29%) y servicios generales (71%). Específicamente, los principales conceptos que acaparan el gasto corriente son: otros servicios profesionales, compra de productos químicos, farmacéuticos y de laboratorio y de materiales de administración, emisión de documentos y artículos oficiales.
- La inversión inicial (I) es la cantidad de dinero mínimo-necesario para poder ejecutar un proyecto o para incrementar los activos fijos. Este dato se obtuvo de la cuenta llamada “Total de Activos No Circulantes” del estado de situación financiera del 2021 que incluye todas las inversiones financieras de largo plazo en bienes inmuebles, muebles, en infraestructura y construcciones en proceso. Cabe

destacar que Cinvestav ha depreciado o amortizado gran parte de los terrenos y bienes inmuebles, sin embargo, la proporción que no ha sido amortizada, así como los programas y proyectos de inversión y de mantenimiento que se hacen continuamente deben ser considerados, por tanto, la inversión inicial para esta estimación es de \$4,724,479,811.00.

- Las externalidades negativas son los efectos indirectos de las actividades de consumo o producción, es decir, los efectos sobre agentes distintos al originador de tal actividad que no funcionan a través del sistema de precios (Laffont y Laroque, 1972). Al respecto, en la producción de artículos científicos y formación de capital humano no se identificaron externalidades negativas por lo cual no se contabilizaron en el modelo.

4.4 Método paramétrico

Los análisis costo-beneficio establecen un horizonte de tiempo razonable y finito que permita comprender el papel que desempeña el tiempo en la producción y en los costos que esta conlleva. Se diferencian dos periodos: el corto y largo plazo. El corto plazo, es aquel lapso en el cual las empresas pueden ajustar la producción alterando los factores variables; como las materias primas y el trabajo, pero no los factores fijos como el capital. El largo plazo es un tiempo suficientemente extenso como para que se puedan ajustar todos los factores, incluidos el capital (Florio, 2014). El análisis CBS del Cinvestav es un estudio de largo plazo, se consideró una valoración inicial del 2021 (tiempo cero) y 10 años de seguimiento. La elección de este periodo de análisis se basó en el hecho de que la asignación de presupuesto ha permanecido prácticamente igual en los últimos años, por lo que la perspectiva del estudio es dar claridad en escenarios de ajuste a los factores variables.

Cabe destacar que los beneficios de algunos proyectos, dada la característica propia de que el conocimiento es acumulativo, pueden seguir fluyendo durante muchos años, incluso si estos proyectos están completos desde el punto de vista administrativo.

Las cantidades que fueron utilizadas para cálculo del costo-beneficio, así como la correspondencia y homologación según las variables específicas del modelo se presentan en la tabla No. 9. Cabe mencionar que todas las cantidades monetarias fueron deflactadas con base 2013 y se presentan en precios constantes del 2021. Finalmente, estos costos son para producir 1,560 artículos publicados bajo arbitraje estricto y 739 graduados; de los cuales 277 son doctores y 462 maestros. Las cifras corresponden al promedio simple de los indicadores de desempeño durante el periodo de estudio [2016-2018].

Tabla 9: Egresos del Cinvestav 2016-2018

Posiciones de Balance Cuenta Pública	Variable Modelo CBS	Abv.	Monto Promedio 2016-2018
Gasto de Inversión	Costo de Capital	<i>K</i>	\$142,649,324.36
Gasto corriente	Personal Científico	<i>Lc</i>	\$645,078,704.92
	Personal Operativo	<i>Lo</i>	\$727,429,177.89
	Costos Operativos	<i>Op</i>	\$2,279,679,076.92
Inversión Inicial	Inversión Inicial	<i>I</i>	4,724,479,811
No aplica	Externalidades Negativas	<i>Ex</i>	\$0.00
Presupuesto pagado			\$3,794,836,284.09

Nota: cuentas asignadas a las variables del modelo

Fuente: Adaptación propia con base en el estado analítico del ejercicio del presupuesto de egresos por clasificación económica.

El Anexo I concentra los montos del ejercicio del presupuesto de egresos de los años de interés, de forma desglosada según la clasificación económica y por objeto del gasto del Cinvestav.

4.4.1 Las reglas de decisión del modelo CBS paramétrico.

El desempeño económico de la inversión se estimó utilizando los siguientes indicadores:

- El Valor Actual Neto Económico o Valor Presente Neto Económico (VPNE), expresado en términos monetarios, que se define como la diferencia entre el valor actualizado de los beneficios sociales totales y los costos sociales.

- La Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), que es el valor específico de la tasa de descuento social que produce un ENPV igual a cero; y,
- La relación costo-beneficio (C/B), es decir, la relación entre los costos y los beneficios descontados.

En particular, la inversión con desempeño positivo, o bien, el proyecto que muestra un retorno positivo para la sociedad está asociado con los siguientes resultados:

- El ENPV es superior a cero: cuanto mayor sea el ENPV, mayores serán los beneficios sociales logrados frente a los costos y las externalidades negativas.
- La TIRE es superior a la tasa de descuento social adoptada.
- El B/C tiene un valor superior a uno.

4.4.2 Resultados del método paramétrico:

La Tabla 10 reúne los principales indicadores financieros resultantes del análisis CBS del Cinvestav calculado por el método paramétrico.

Tabla 10: Resultados del análisis Costo-Beneficio Social

Modelo Paramétrico

Supuestos clave del Modelo

Tasa Social de Descuento del Sector Público; México 2022	10%
Período de evaluación (años)	11

Resumen de los Resultados del Análisis:

Costos de capital (mxn)	\$1,569,142,568.00
Costos de la vida del proyecto (mxn)	\$41,743,199,125.00
Valor Presente de los beneficios (mxn)	\$40,106,619,329.00
Valor Presente de los Costos (mxn)	\$27,112,462,487.00
Relación costo beneficio	1.48
Valor Presente Neto Económico (mxn)	\$12,994,156,842.00
Inversión inicial (mxn)	-\$4,724,479,811.00
TIRE	28.6%

La TIRE social calculada bajo el esquema determinista fue de 28.6%, que contrastada con la tasa del costo de capital del 10% [porcentaje mínimo exigible para considerar a un proyecto viable] se supera en 18.6 puntos porcentuales. Bajo este parámetro, la ejecución presupuestal ha sido viable dadas las particularidades de la inversión ejercida por el Cinvestav.

Considerando el indicador del VPNE la inversión tiene un desempeño positivo, el cual se estimó en \$12,994 millones de pesos mexicanos. Esto quiere decir que, descontando la TSD del 10%, la inversión genera esta cantidad monetaria adicional a lo exigible. Es importante enfatizar que aún sí el VPNE hubiera sido cero, la inversión se desempeña positivamente puesto que el proyecto da como mínimo lo que se exige; sin embargo, cuanto mayor sea el VPNE mayores son los beneficios sociales.

La relación costo-beneficio (C/B), es decir, la relación entre los costos y los beneficios descontados a través del tiempo fue de 1.48, valor superior a la Unidad que demuestra un retorno positivo para la sociedad.

4.5 Método probabilístico

Para dar cuenta de la incertidumbre que caracteriza una evaluación prospectiva como es esta, se utilizó el método Montecarlo en el cual los costos y beneficios se vuelven “*inputs*” del modelo probabilístico y se evalúa el rendimiento de la inversión “*outputs*” en una distribución estimada bajo parámetros definidos.

En general, la evaluación de riesgos se realizó en tres pasos: el primer paso consistió en un análisis de sensibilidad el cual consiste en asignar a cada variable crítica del análisis variaciones alrededor de la mejor estimación (calculada) que permita observar el impacto de cada variable sobre la TIRE o el VPN. El segundo paso es la asignación de una función de distribución de probabilidades específica a cada variable, la cual dependerá en gran

medida del tipo específico de variable. El último paso consistió en la simulación; mediante el método Montecarlo se estima la integral que corresponde a la función de probabilidad del desempeño de los indicadores de interés (VPN y TIRE).

Dada la incertidumbre que rodea a las previsiones de inversión hasta 2032, así como algunas estimaciones de los efectos pasados; se estimó una distribución de probabilidad para el VPN y la TIRE del Cinvestav ejecutando una simulación de Montecarlo [10,000 sorteos de la función de densidad de probabilidad (FDP) condicionados a 49 inputs en 8 variables estocásticas]. Cada sorteo genera una estimación del VPN y de la TIRE condicionado al conjunto de posibles valores de las variables estocásticas del modelo.

La ejecución del modelo se hizo con ModelRisk de Vose software que es un complemento de análisis de riesgo de calidad profesional para Microsoft Excel.

Las variables del modelo se definieron como a continuación se expone:

- Cantidad de artículos producidos (input 1): la línea base del valor de esta variable fue de 1,589 artículos científicos. La cifra corresponde al promedio de producción científica Institucional que considera únicamente a los artículos indexados en la WoS durante el periodo 2016-2018. Se asignó una distribución de probabilidad acotada basada en datos históricos del 2013-2021 de tipo “Johnson Bounded Fit”, la cual tiene un rango definido por los parámetros mínimo y máximo y una flexibilidad en la forma.
- Tasa de crecimiento de artículos (input 2): se asignó una distribución de probabilidad normal paramétrica con base en datos históricos del 2013-2021 la cual considera una media de crecimiento anual del 4% y una la desviación estándar del 5%.
- Cantidad de doctores graduados (input 3): la línea base del valor de esta variable fue de 277 doctores en ciencias graduados. La cifra corresponde al promedio anual de doctores graduados del Cinvestav durante el periodo 2016-2018. Se asignó una

distribución de probabilidad acotada tipo “Johnson Bounded Fit”, la cual tiene un rango definido por los parámetros mínimo y máximo y una flexibilidad en la forma.

- Tasa de crecimiento de graduados (input 4): se asignó una distribución de probabilidad normal paramétrica con base en datos históricos del 2013-2021 la cual considera una media de crecimiento anual del 7% y una la desviación estándar del 11%.
- Precio de producción de los artículos científicos (input 5): la línea base del valor de esta variable fue de \$363,300.75 pesos mexicanos, dicha cifra esta deflactada con base 2013 y presentada en precios constantes 2021. El precio corresponde al valor monetario de un producto de conocimiento: publicación científica; calculado en el capítulo 4 de esta tesis. Se asignó una distribución de probabilidad triangular con el valor del modelo determinístico como moda y variaciones alrededor de esta estimación en una escala continua que va desde -10 % para el valor mínimo al 10% para el valor máximo. Esto último es una práctica que permite detectar la efectos no lineales y asimétricos de las variables en el proyecto (Florio, 2014).
- Precio de la formación del capital humano altamente calificado (input 6): La línea base del valor de esta variable fue de \$18,557,481.91 pesos mexicanos, dicha cifra esta deflactada con base 2013 y presentada en precios constantes 2021. El precio corresponde al valor de los beneficios de la acumulación de capital humano calculado en el capítulo 4 de esta tesis. De la misma forma que el input anterior, se asignó una distribución de probabilidad triangular con el valor del modelo determinístico como moda y variaciones alrededor de esta estimación en una escala continua que va desde -10 % para el valor mínimo al 10% para el valor máximo.
- Tasa Social de Descuento (input 7): La línea base del valor de esta variable fue de \$10% que corresponde a la Tasa aplicable a programas y proyectos de inversión pública en México 2022. se asignó una distribución de probabilidad triangular con el valor del modelo determinístico como moda y variaciones alrededor de esta estimación en una escala continua que va desde -5 % para el valor mínimo al 15% para el valor máximo. Esta variación se atribuyó de forma deliberada.

- Tasa de inflación (input 8): Todas las variables monetarias se ven afectadas por una tasa de inflación aleatoria que responde a una distribución de probabilidad normal basada en datos históricos del 2013-2021.
- Los outputs del modelo son la Tasa Interna de Retorno (output 1) y el Valor Actual Neto (VPN) (output 2). La función de distribución acumulada del VPN Y la TIRE regresa la probabilidad de que estos sean menor que o igual que cualquier valor del rango de variaciones de los indicadores de desempeño considerados.

4.5.1 Reglas de decisión del modelo probabilístico:

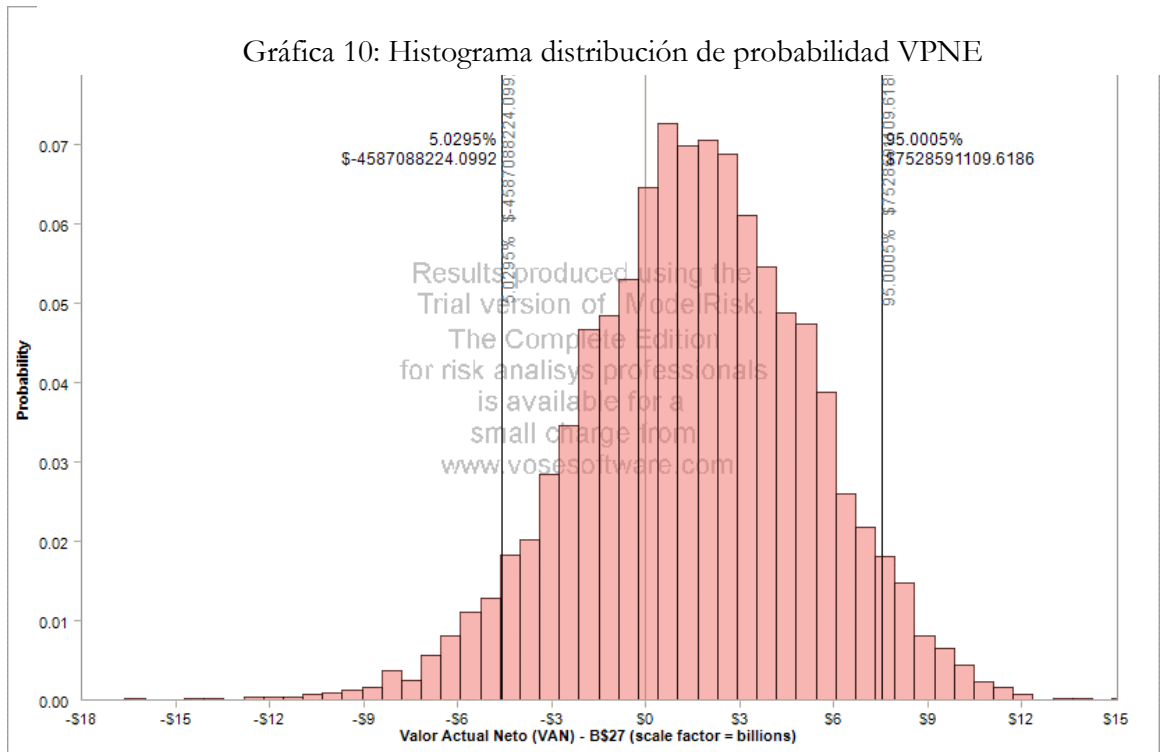
Si $\Pr \{NPV \leq 0\} \approx 0$, el proyecto [o la ejecución presupuestaria] puede juzgarse como casi seguro o deseable en términos de su impacto socioeconómico. Respecto a la TIR, si $\Pr \{TIR \leq TSD\} \approx 0$, el proyecto puede ser juzgado como socialmente deseable. El rango de variaciones consiste en la ventana de valores, de mínimo a máximo, dentro del cual varían el VPN y la TIR.

4.5.2 Resultados del método probabilístico:

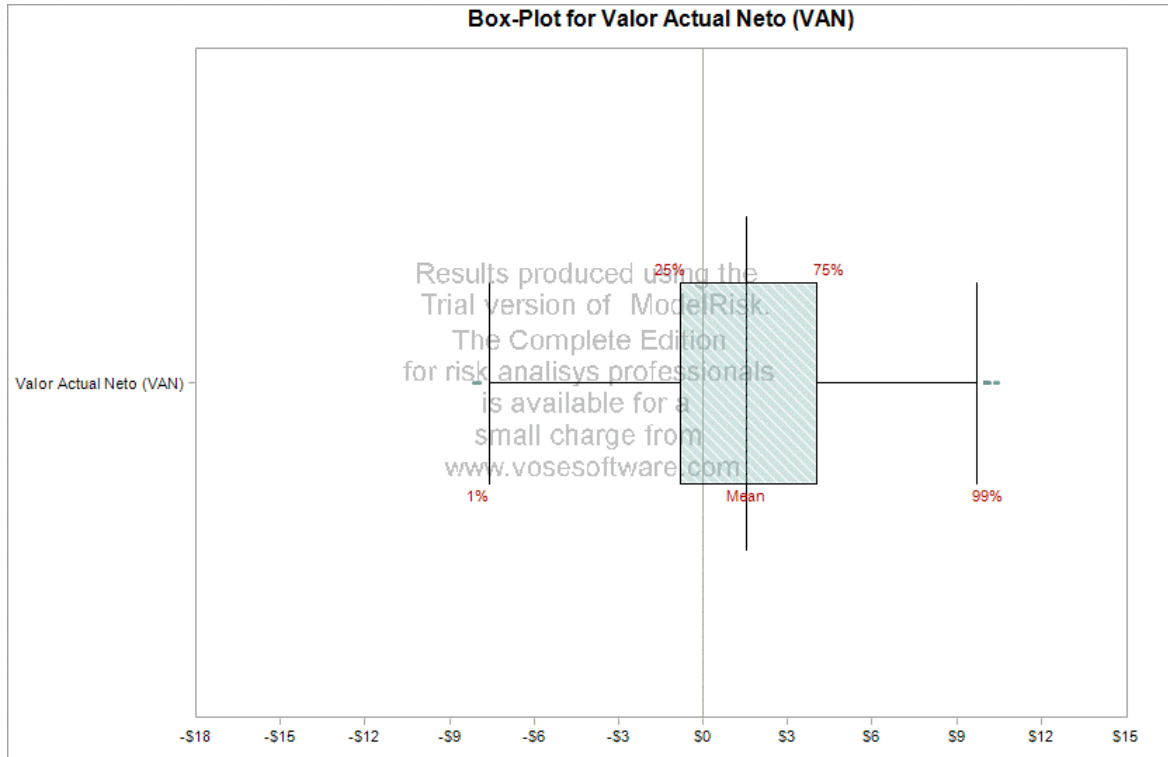
La función de probabilidad para el VPNE se muestra en la Gráfica 10. Encontramos que el VPNE del Cinvestav es de MX \$1,558,478,005.87²⁴ millones de pesos, con la probabilidad condicional de un VPN negativo inferior al 35%. Lo anterior con un error Monte Carlo de 3σ inferior al 2%. En otras palabras, hay un 65% de probabilidad de que el VPNE sea superior a cero, y, por tanto, la ejecución presupuestaria que hace el Cinvestav es deseable. Cabe recalcar que la probabilidad del VPNE es significativamente menor al calculado con el método determinístico que fue de \$12,994,156,842.00

²⁴ Los valores medios proporcionan una síntesis inmediatamente legible de la probabilidad del valor social descontado del indicador de un proyecto.

Gráfica 10: Histograma distribución de probabilidad VPNE

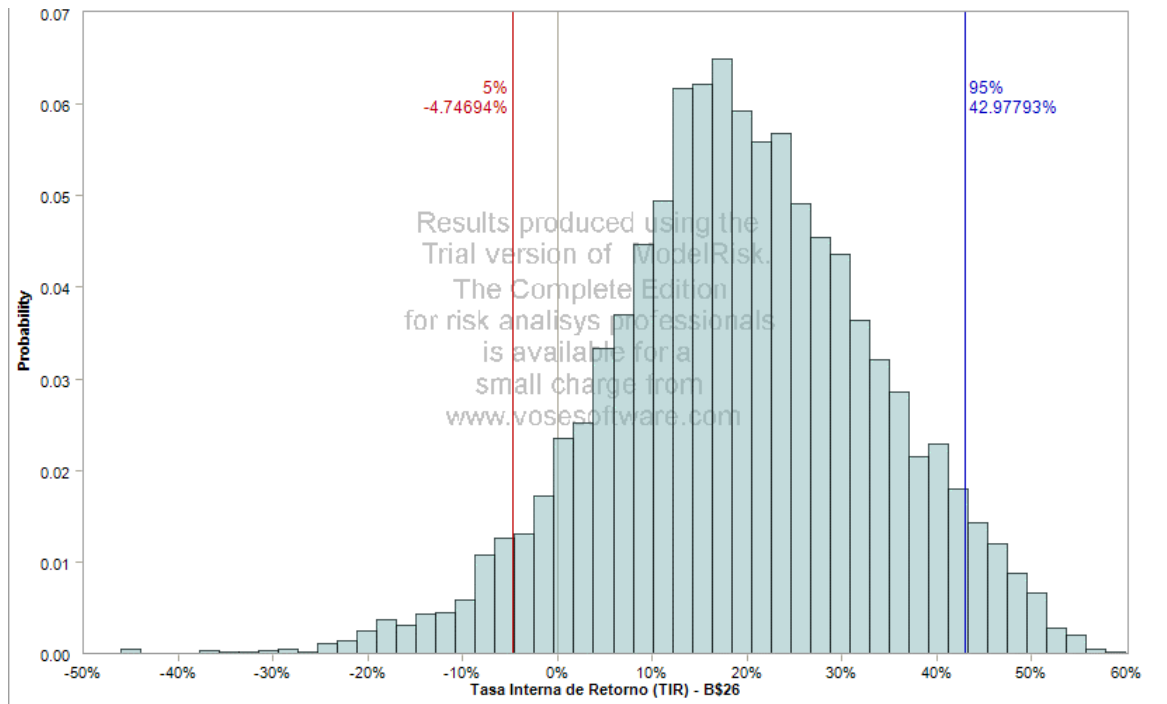


Gráfica 11: Box-Plot VPNE

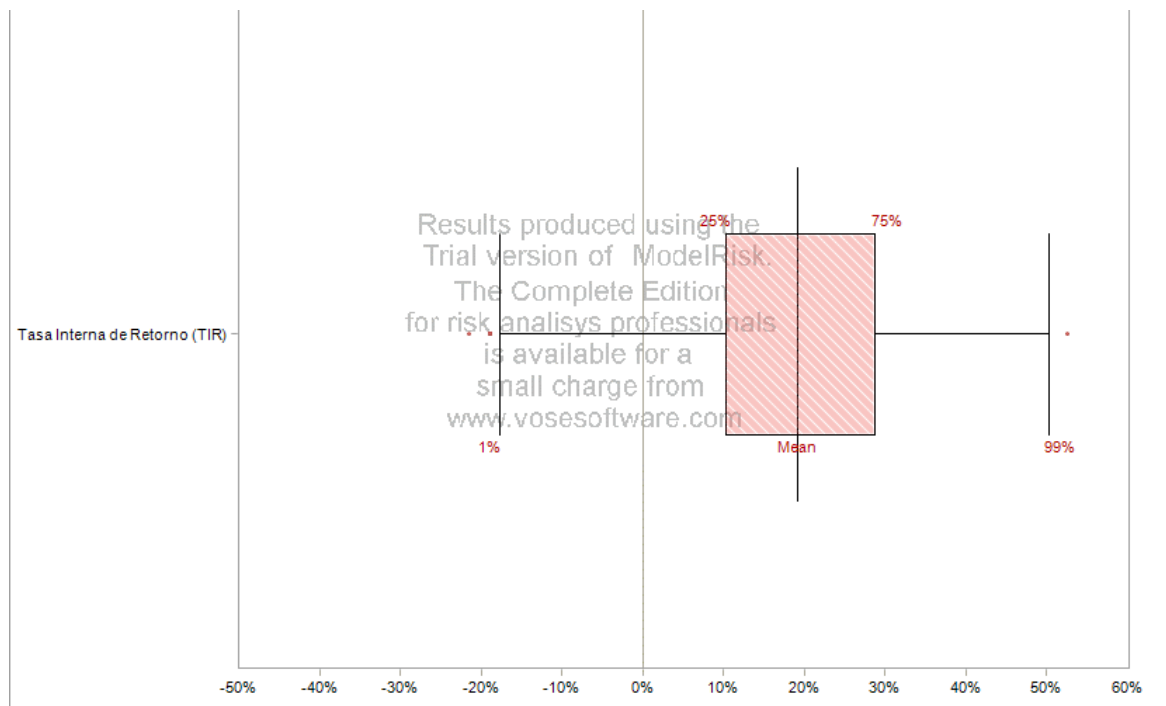


Así también, la FDP para la TIRE se muestra en la gráfica 12. La TIRE esperada del Cinvestav es alrededor del 19%; con la probabilidad condicional de tener una TIRE negativa del 10%, con un error Monte Carlo de 3σ inferior al 2%. Si consideramos que la $\Pr \{TIRE \leq TSD\} \approx 0$ es deseable y dado que la TSD para México es 10%; la inversión es deseable. La TIRE calculada estos 9 puntos porcentuales por arriba de la TSD que se pide para el financiamiento de proyectos públicos.

Gráfica 12: Histograma distribución de Probabilidad TIRE



Gráfica 13: Box-Plot TIRE



Los índices financieros aquí calculados consideran un horizonte temporal de 10 años. Al ser este un pronóstico de largo plazo se considera que hay cierta incertidumbre residual de nivel 1 y con un razonable grado de confianza; lo anterior porque el modo en el que se ha desarrollado la programación presupuestaria es consistente en el tiempo; en los últimos 10 años ha recibido la misma cantidad de presupuesto y lo ha asignado por partidas iguales sistemáticamente. La estimación de los valores de los índices financieros se considera entonces, el escenario pesimista, ya que por falta de información no se han cuantificado otros beneficios que pudieran estar presentes o que son impredecibles al momento de la evaluación. Estos pueden ser los egresados de la maestría (no considerados); el valor social de las patentes, de la divulgación científica, de aplicaciones de ingeniería específicas; la cuales permanecerán como un bono extra para las generaciones futuras que son donadas por los contribuyentes actuales.

La Tabla No.11 presenta los principales resultados estimados de cada uno de los modelos. Se observa que, los cálculos estimados a los que se llega con el modelo determinístico no

son tan notables como lo que proporciona el modelo determinista. Cuando al modelo se le agregan condiciones de variabilidad bajo diversos escenarios los resultados disminuyen considerablemente, sin embargo, en cualquiera de los dos modelos el VPNE y la TIRE esperados son indicadores que confirman la eficiencia de la ejecución presupuestaria del Cinvestav.

Tabla 11: Resultados Análisis Costo Beneficio Social
Modelo Paramétrico Vs Probabilístico

Supuestos clave del Modelo		
Tasa Social de Descuento del Sector Público; México 2022		10%
Período de evaluación (años)		11
Resumen de los Resultados del Análisis:		
Indicadores	Paramétrico	Montecarlo
VPNE (mxn)	\$12,994,156,842.00	\$1,558,478,005.87
TIRE	28.6%	19.2%
Fuente: Elaboración propia		

Capítulo 5

5 Conclusiones

A través de una estrategia de investigación inductiva de estudio de caso se implementó una evaluación costo-beneficio social *Ex-Post* de una institución académica y de investigación científica, cuya característica principal es que los bienes y servicios que produce pueden no tener un precio de mercado; a los cuales es posible asignarle un precio sombra que permita hacer un análisis de costos y beneficios y cálculos de programación lineal.

A fin de lograr el objetivo de este estudio [desarrollar y aplicar un modelo de análisis costo-beneficio social que sea capaz de evaluar, en términos económicos, el impacto económico de las instituciones de investigación científica en México] se estableció un marco de análisis circunscrito a la teoría económica neoclásica y al enfoque de la nueva gestión pública que, en conjunto, confluyen en la idea de que las evaluaciones numéricas son más útiles en un ámbito de políticas públicas cada vez más dominado por métricas. Alineado a lo anterior, el marco metodológico del Análisis Costo-Beneficio Social resultó adecuado para responder la pregunta: ¿Qué tan rentable es para un centro de investigación pública en México invertir en la hechura de artículos científicos y en la formación de capital humano altamente calificado? cuyas respuestas implican métricas monetarias.

Los análisis CBS expresan las variables analizadas en términos de valores esperados; estos se estimaron mediante dos perspectivas: una determinista y otra de riesgo probabilístico utilizando el Método Montecarlo; para lo cual fue necesario asumir funciones de distribución para los costos de capital, los costos operativos, así como precios sombra de los beneficios principales del Centro de investigación.

Se estimaron los índices de eficiencia y rentabilidad de la ejecución presupuestaria: Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), Valor Presente Neto Esperado (VPNE) y Razón Costo-Beneficio Social (RCBS) que en conjunto son positivos y con los cuales se concluye que el gasto público, destinado a la formación de Científicos especializados y a la generación de conocimiento científico, tiene un impacto económico positivo en México y

por tanto los recursos públicos destinados en este rubro debe considerarse como una inversión deseable y no como un gasto sin retorno.

La magnitud de cada uno de los efectos varía significativamente dependiendo de la cantidad de presupuesto, el tamaño de la Institución, los campos y el tipo de investigación que se llevan a cabo (ya sea investigación fundamental o aplicada), así como de otros factores externos. Así también, el proceso de asignación presupuestaria es un componente crítico para mantener la rentabilidad y la eficiencia del gasto.

5.1 Sobre la valoración de la producción de conocimiento científico

El capítulo cuatro de esta tesis, dedicado a la valoración monetaria del conocimiento científico, además de presentar una métrica útil para la toma de decisiones nos invita a repensar la noción de “beneficio” de la publicación científica, ya que si bien, el costo social de generar conocimiento y publicarlo, puede ser cuantificado con el valor estadístico de la producción científica y el costo de producción marginal expresado en términos del valor del tiempo del científico; este no contempla otros beneficios asociados al proceso de generación del conocimiento. Por lo que es una herramienta práctica, pero no el único parámetro que debe ser considerado para la toma de decisiones sobre inversión en este rubro.

El modelo general de Fiorio (2014,2016,2018) para el cálculo del valor monetario de un producto de conocimiento, es operativamente sencillo una vez que se sistematiza y se tienen los datos que alimentan al modelo. Además, se puede replicar para cualquier infraestructura de investigación sin importar el tamaño, ni la etapa del ciclo del proyecto en el que se encuentra.

Del análisis se tienen dos aportaciones principales: primero, la valoración monetaria de la publicación de los resultados de la investigación en revistas científicas, libros y otros tipos de material impreso. Segundo, al probar el modelo de cálculo se confirma que la creación y difusión del conocimiento se puede valorar mediante técnicas cuantitativas.

Para el caso del Cinvestav, el método de estimación del costo social de la producción científica es adecuado y conveniente; así también, el resultado obtenido es un buen estimador del costo económico del *item*. Esta afirmación está dada por las características y modos de producción propias del Centro de Investigación, por consiguiente, la conveniencia del método y su validez, tal cual la propuesta e implementación de esta tesis dependerá de las características particulares de cada entidad científica (propósito, oferta educativa, personal académico, líneas de investigación que cultivan en los departamentos académicos y las políticas institucionales que orientan las prácticas en la publicación científica).

En este sentido, comprender cómo los investigadores valoran los diferentes tipos de publicación en la institución es determinante para la valoración económica de los mismos, además de que es necesario más investigación para afinar la metodología, en particular para las áreas sociales, humanísticas y multidisciplinarias.

Es importante recalcar que este es el primer ejercicio sobre la rentabilidad económica y el costo social de las publicaciones científicas para una institución pública en México. En esta investigación se observó que asumiendo los costos de las publicaciones y los beneficios que de ellas obtienen los investigadores y la institución; para el contexto mexicano y visto únicamente desde la perspectiva economicista, las publicaciones científicas son un producto con una buena relación costo/beneficio de la actividad y de la vida del sector de ciencia y tecnología.

La primera limitación del análisis deviene de la falta de comprensión de las prácticas en la comunidad científica y no de la guía metodológica del modelo CBS y la técnica de cuantificación. El número de publicaciones y sus citas son ciertamente un criterio esencial en evaluar los beneficios científicos, pero hay que tener en cuenta que existen prácticas en la publicación científica que son complejas de analizar, como son la práctica de auto-citación o que hay publicaciones que tienen un gran número de autores en colaboración que no tienen el mismo grado de participación y otras formas de comunicación de conocimiento. Este problema debe ser considerado al determinar la incertidumbre global del valor neto de la producción científica

5.2 Sobre el beneficio social de la formación de Capital Humano especializado

El beneficio que emerge de formar capital humano es el más relevante para las infraestructuras de investigación básica o aplicada porque que los estudiantes se instruyen mayormente a través de realizar actividades de investigación científica en áreas de alta especialización. En este caso, el Cinvestav no es la excepción ya que su vocación es de investigación básica y aplicada de carácter científico, tecnológico y humanístico; además de que, el valor del beneficio social calculado de la formación de capital humano es 10 veces mayor [10.86 exactamente] que el valor del beneficio social de la producción de conocimiento científico.

El valor monetario que se obtiene con la metodología propuesta por Fiorio (2014,2016,2018) es un buen referente del beneficio que obtiene una persona con grado de Doctor que entra al mercado laboral del sector académico. Si bien es cierto, el valor estimado no considera pagos indirectos a la relación contractual del Investigador con su Centro de Investigación ni los incrementos salariales por la inflación; la propuesta metodológica captura el beneficio social de la acumulación de capital humano.

El beneficio social de la acumulación de capital humano considera que todos los egresados consiguen un empleo bien remunerado en el mercado laboral y no hay desempleo; este supuesto condiciona al valor calculado a un escenario ideal. Al respecto, considerar las condiciones laborales de cada uno de los distintos sectores laborales (academia, industria, gobierno, sociedad civil) permitirá obtener estimaciones más certeras que se irían ajustando cada vez más a la realidad.

Una limitación importante que afecta la exactitud del valor monetario de la formación de capital humano es la falta de información estadística y de encuestas de seguimiento de los egresados que den cuenta del sector en el cual los egresados se están desempeñando, así como de los niveles salariales.

La medición del beneficio social que se presenta en esta tesis es reduccionista en el sentido de que solo contempla el valor monetario del capital humano, medido a través de los ingresos privados de los egresados y no contempla otros beneficios sociales asociados al

incremento y composición del acervo de recursos humanos en ciencia y tecnología, esto se refiere a los beneficios que surgen de las redes sociales (tanto formales como informales) que se construyen entre las partes interesadas, a los valores compartidos, a la catalización de procesos de aprendizaje y al intercambio de conocimientos sobre esta base social.

5.3 Sobre Costo-Beneficio Social del Cinvestav

El enfoque del análisis CBS del Cinvestav es consistente con los principios clásicos de la Economía del bienestar aplicada y el modelo propuesto por Massimo Florio (2019) para evaluar a las grandes infraestructuras científicas. Por el lado de los costos, la delimitación de los proyectos y el prorrateo no es muy diferente al de otros contextos. Los costos de inversión y costos operativos (excluyendo el personal científico) son relativamente fáciles obtener y calcular debido a que estos se encuentran desglosados en los Estados Financieros que son de acceso abierto porque el Cinvestav es un organismo público sujeto a la rendición de cuentas a nivel Federal. Por la parte de los beneficios; la evaluación se concentró en dos dimensiones: los estudiantes graduados del Centro de investigación que incrementan el capital humano y social de México y la producción de conocimiento científico, entendido como un bien público. Estas dos variables están explícitamente enunciadas en el decreto de creación del Cinvestav como los objetivos y finalidades fundamentales del Centro, así mismo la valoración monetaria de los mismos se realizó con referencia a precios sombra.

Es factible replicar y hacer evaluaciones costo-beneficio de forma periódica a cualquier Institución pública y mexicana que tenga orientación científica y tecnológica midiendo al menos las dos variables mínimas y necesarias (conocimiento científico y capital humano) a través del enfoque metodológico aquí propuesto. La factibilidad de la implementación se da porque las Entidades Públicas están bajo control presupuestario y la información financiera y la estructura de las cuentas públicas está armonizada bajo los principios contables aprobados por el Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC).

5.4 Implicaciones para el Cinvestav

Los índices financieros estimados bajo dos perspectivas (método paramétrico y método probabilístico) confirman la eficiencia de la ejecución presupuestaria del Cinvestav en el largo plazo. Con base en la construcción de la distribución de probabilidad de costos y beneficios para el Cinvestav, la cual va del 2022 al 2032, se encontró que hay un 65% de probabilidad de que los beneficios excedan los costos; con un VPN de MX\$ 1,560 millones aproximadamente; lo anterior, sin incluir el valor económico del descubrimiento científico. Siguiendo las reglas de decisión del análisis costo-beneficio social, los recursos destinados al Cinvestav no deben ser considerados como un egreso sin retorno sino una inversión deseable y socialmente eficiente.

A pesar de que las publicaciones científicas son un producto con una buena relación costo/beneficio de la actividad científica del Cinvestav; la formación de capital humano es la actividad que tiene mayor influencia en el cálculo del VPNE. Para que este índice tuviese una probabilidad del 65% de ser positivo y pasar la prueba de eficiencia económica es necesario que la Institución al menos otorgue 180 grados de Doctorado anualmente (el modelo contempla un escenario en el cual el capital humano que se ocupa en actividades especializadas en CyT son Doctores y no hay Maestros). Esta cantidad de personas graduadas puede compensarse con graduados de maestría o post-doctorantes, sin embargo, al momento de este estudio no hay información disponible que permita establecer estos escenarios. Al respecto, se sugiere que el Cinvestav realice periódicamente encuestas de seguimiento a los egresados para recopilar datos sobre la situación laboral y con la información obtenida trazar escenarios más precisos.

En los últimos 10 años el Cinvestav ha orientado en promedio el 65% del presupuesto para investigación científica y 35% para docencia. Los “frutos” que justifican al primero son: los artículos con arbitraje estricto, proyectos institucionales, publicaciones de investigación en desarrollo y memorias en congresos nacionales e internacionales; mientras que, los resultados del segundo son: los alumnos atendidos y los egresados. Sin consideramos que el VPNE calculado para la variable de formación de capital humano es 10 veces mayor [10.86 exactamente] que la del conocimiento científico; entonces, el Cinvestav debería valorar más a los alumnos y graduados que a la producción de

publicaciones y reconsiderar la orientación de los presupuestos para optimizar los recursos públicos con los que cuenta.

Los beneficios sociales que resultan del Cinvestav tienen efectos secundarios que no son cuantificados y que no se captan en la valoración monetaria de las variables. Estos efectos serían; para la variable del conocimiento científico las externalidades positivas del descubrimiento científico *per se*; y para el capital humano la construcción de un capital social especializado.

El dato numérico aquí estimado es una medida homogénea que además de posibilitar la planeación para la optimización de recursos, proporciona métricas para evaluar si este producto cumple con los objetivos sociales planteados de los programas e instituciones públicas en CyT.

5.5 Sobre la Hipótesis

La hipótesis que se planteó al iniciar esta investigación fue: “Es posible evaluar cuantitativamente [valor monetario] el impacto económico de las instituciones de I+D a través de un modelo Costo-Beneficio-Social”. Los resultados que se obtuvieron mediante la evaluación *ex-post* del caso de estudio del Cinvestav confirman que; utilizando mecanismos de la teoría económica como la utilización de los precios sombra, el principio de maximización del beneficio y las técnicas estándar del costo-beneficio; se puede valorar monetariamente el impacto económico de una Institución con vocación científica financiada con recursos públicos en México.

5.6 Implicaciones de políticas y prácticas

El gasto estratégico y la planificación presupuestaria institucional es un elemento fundamental en la política científica y tecnológica del país. Se produciría un efecto beneficioso sobre el sistema de ciencia y tecnología si los Centros públicos de investigación científica implementan mecanismos de decisión operativa, técnica, administrativa y de gestión presupuestaria que garanticen la objetividad de las inversiones públicas.

La implementación rutinaria de mecanismos de evaluación de carácter económico y financiero, aún en Instituciones con resultados intangibles, resultan de utilidad para una asignación eficiente de recursos, así como para ponderar si el gasto implementado en las diversas actividades cumple con los objetivos sociales planteados en los programas e Instituciones públicas.

Las métricas de carácter económico, social y científico deben ser consideradas como parte de un constructo métrico integral que sustente los procesos evaluativos de la ciencia, ajustándose a los lineamientos de una política científica regional e internacional de carácter holístico y transparente.

5.7 Limitaciones e investigaciones posteriores

Para robustecer el análisis se sugiere agregar un mayor número de beneficios (variables) al análisis, las cuales no están cuantificadas en esta tesis pero que podrían estar presentándose en el Cinvestav; como son: los efectos secundarios indirectos basados en el acceso libre a nuevos conocimientos y el aprendizaje práctico, los efectos culturales debido a las actividades de divulgación, las patentes comercializadas, entre otros.

Este análisis no contempla efectos futuros desconocidos asociados al descubrimiento científico y su valor de no uso. Se sugiere que la valoración de este último podría intentarse por medio de una valoración contingente destinada a evaluar la disposición de pago (a través de impuestos) de las partes interesadas en financiar directa o indirectamente algún proyecto de investigación. Sin embargo, consideramos que no es prudente incluirlo en el análisis CBS, ya que podría sobreestimar el modelo.

Se reconoce que calcular el beneficio social desde una perspectiva de la teoría del Capital Social es necesaria, pues esta asume elementos de carácter cualitativo que son importantes en la construcción de una sociedad del conocimiento.

Los resultados del modelo CBS no paramétrico para Instituciones I+D están fuertemente influenciados por dos parámetros importantes que no están discutidos en la presente tesis:

el horizonte de tiempo (t) y la tasa de descuento (r) y el tipo de función de distribución. Un ajuste más fino de estas variables y la aplicación del modelo en una muestra más amplia de proyectos y diferentes dominios se deja para las futuras investigaciones.

Referencias

- Arencibia Jorge y de Moya Anegón (2008). La evaluación de la investigación científica: una aproximación teórica desde la cienciometría. *Acimed*, 17(4).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1024-94352008000400004
- Austria Carlos, M. A. y Venegas-Martínez, F. (2011). Rendimientos privados de la educación superior en México en 2006. Un modelo de corrección del sesgo por autoselección. *El Trimestre Económico*, 78(310), 441–468.
- Austria-Carlos, M. A., Venegas-Martínez, F. y Pérez Lechuga, G. (2018). Diferencias por género en la tasa de ganancia salarial de la educación superior y posgrado en México. *Papeles De Población*, 24(96), 157–186.
- Azariadis, C. y Drazen, A. (1990). Threshold externalities in economic development. *The Quarterly Journal of Economics*, 105(2), 501–526.
- Barro, R. J [Robert J.] (2001). Human capital and growth. *American Economic Review*, 91(2), 12–17.
- Battistoni, G., Genco, M., Marsilio, M., Pancotti, C., Rossi, S. y Vignetti, S. (2016). Cost–benefit analysis of applied research infrastructure. Evidence from health care. *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 79–91. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.001>
- Beck, H. P. y Charitos, P. (2021). *The Economics of Big Science: Essays by Leading Scientists and Policymakers*. Springer Nature.
- Brown, T. (2004). *Peer Review and the Acceptance of New Scientific Ideas: Discussion Paper from a Working Party on Equipping the Public with an Understanding of Peer Review: November 2002-May 2004*. Sense About Science.
- Bunge, M. (1984). Ciencia básica, ciencia aplicada, técnica y producción : diferencias y relaciones. *Ciencia Y Sociedad*, 9(2), 167–182. <https://doi.org/10.22206/cys.1984.v9i2.pp167-82>
- Cabello, A. (2016, 19 de abril). Externalidad. *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/externalidad.html>
- Camila Calisto-Breiding, Paulina Peña-Pallauta y Paulina Arellano-Rojas (2021). Transformando la evaluación científica en las políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de América Latina y el Caribe. Un estudio desde la altimetría. *Información, cultura y sociedad: revista del Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas*(45), 75–94.
<https://www.redalyc.org/journal/2630/263069015002/html/>

- Carnoy, M [Martín], Miller, L. C., Luschei, T., Carnoy, M [Martin], Castells, M. y Luschei, T. F. (2006). *Economía de la educación*. Editorial UOC.
- CEPAL y ILPES. (1997). *Guía Metodológica para la Evaluación Ex-Post de Proyectos*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/30785/S9710077_es.pdf
- Cinvestav. (1982). *Decreto de Creación* (núm. CCCLXXIV No.17). México. Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos.
<https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sitedocs/enlace/01846-DecretoCreacionCINVESTAV.pdf>
- Cinvestav. (2016). *Cinvestav Anuario* (Anuarios). México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
https://conexion.cinvestav.mx/Portals/0/sitedocs/Anuario_2016.pdf
- Manual General de Organización del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (2016). https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sitedocs/enlace/01260-Manual_de_Organizacion_Cinvestav_Junio_2016.pdf
- Cinvestav. (2017). *Cinvestav Anuario* (Anuarios). México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
https://conexion.cinvestav.mx/Portals/0/sitedocs/Anuario_2017.pdf
- Cinvestav. (2018). *Cinvestav Anuario* (Anuarios). México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
https://conexion.cinvestav.mx/Portals/0/sitedocs/Anuario_2018.pdf
- Cinvestav. (2022). *Conócenos: Misión y Visión*. <https://www.cinvestav.mx/Con%C3%B3cenos>
- Reglamento General de Estudios de Postgrado 1 (2022).
<https://ie.cinvestav.mx/images/IE/Reglamentos/reglamento-general-de-estudios-de-posgrado-cinvestav-septiembre1999.pdf>
- CONACYT. (2016). *Informe general del estado de la ciencia, tecnología e innovación*. México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
<https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-tecnologia-e-innovacion/informe-general-2016/3835-informe-general-2016/file>
- CONACYT. (2018a). *Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación*. México. CONACYT. <https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes->

- conacyt/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-tecnologia-e-innovacion/informe-general-2018/4929-informe-general-2018/file
- CONACYT. (2018b). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018*. México.
<https://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/631-3-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-2014-2018/file>
- CONACYT. (2019). *Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación 2019*. México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
<https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-tecnologia-e-innovacion/informe-general-2019/4948-informe-general-2019/file>
- CONACYT. (2022). *Informe de Actividades del Conacyt, Primer Trimestre 2022*. México. CONACYT.
<https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-de-actividades/4971-inf-actividades-2022-primer-trimestre/file>
- Da Fonseca, R. S. y Veloso, A. P. (2018). The practice and future of financing science, technology, and innovation. *Foresight and STI Governance*, 12(2 (eng)), 6–22.
- Del Bo, C. F., Florio, M. y Forte, S. (2016). The social impact of research infrastructures at the frontier of science and technology: The case of particle accelerators. *Technological Forecasting and Social Change*, 100(112), 1–3.
- Delgado Carolina y Millan Díaz Carlos Danilo (2006). "Las externalidades del conocimiento". *Gerencia Tecnológica Informática*, 5(12), 17–27.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7595754>
- Di Xu y Fletcher, J. (2017). Understanding the relative value of alternative pathways in postsecondary education: Evidence from the state of Virginia. En *Bridges, Pathways and Transitions* (pp. 227–257). Elsevier.
- Eatwell, J., Milgate, M. y Newman, P. (Eds.). (1990). *Macmillan reference books. Capital theory: The New Palgrave*. Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-20861-6>
- Enríquez Pérez, I. (2016). Las teorías del crecimiento económico: notas críticas para incursionar en un debate inconcluso. *Revista Latinoamericana De Desarrollo Económico*, 73–125.
http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-47062016000100004&nrm=iso

- Escobar Jiménez, C. (2016). Ethos y Formalismo de la Ciencia Económica: El caso de la Teoría de la Elección Racional. *Revista De Filosofía*, 72, 5–24. <https://doi.org/10.4067/S0718-43602016000100001>
- Fabrycky, W. J., Thuesen, G. J. y Mejía, A. R. (1981). *Decisiones económicas: análisis y proyectos*. Prentice-Hall Internacional.
- Fay Marianne, Andres Luis Alberto, Fox Charles James Edward, Narloch Ulf Gerrit, Straub Stephane y Slawson Michael. (2022, 21 de septiembre). *Repensar la infraestructura en América Latina y el Caribe : mejorar el gasto para lograr más (Vol. 2) : resumen ejecutivo*. Banco Mundial. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/931791492671358961/resumen-ejecutivo%20%20%5bconsultado%206%20abril.%202018%5d>
- Feather, J. y Sturges, R. P. (2003). *International Encyclopedia of Information and Library* (2nd ed.). Routledge.
- Flores-Fernandez, C. y Aguilera-Eguia, R. (2018). Indicadores bibliométricos y su importancia en la investigación clínica. ¿Por qué conocerlos? *Revista De La Sociedad Española Del Dolor*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.20986/resed.2018.3659/2018>
- Florio, M. (2014). *Applied welfare economics: Cost-benefit analysis of projects and policies*. Routledge Taylor & Francis Group.
- Florio, M. (2019). *Investing in science: Social cost-benefit analysis of research infrastructures*. The MIT Press.
- Florio, M., Forte, S., Pancotti, C., Sirtori, E. y Vignetti, S. (2016). *Exploring cost-benefit analysis of research, development and innovation infrastructures: an evaluation framework*. Milano, Italia. Universita di Milano. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.03654>
- Florio, M., Forte, S. y Sirtori, E. (2016). Forecasting the socio-economic impact of the Large Hadron Collider: A cost–benefit analysis to 2025 and beyond. *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 38–53. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.007>
- Florio, M. y Sirtori, E. (2016). Social benefits and costs of large scale research infrastructures. *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 65–78.
- Frechtling, J. A. (2015). Logic Models. En J. D. Wright (Ed.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)* (pp. 299–305). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.10549-5>
- frontier economics for BIS. (2014). *Rates of return to investment in science and innovation*. London. Frontier Economics Ltd, London.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333006/bis-14-990-rates-of-return-to-investment-in-science-and-innovation-revised-final-report.pdf

- Gary S. Becker. (1964, 1 de enero). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education, First Edition* (National Bureau of Economic Research núm. beck-5). <https://www.nber.org/books-and-chapters/human-capital-theoretical-and-empirical-analysis-special-reference-education-first-edition>
- Gil Antón, M. (2013). La monetarización de la profesión académica en México: Un cuarto de siglo de transferencias monetarias condicionadas. *Espacios En Blanco. Serie Indagaciones*, 23(1), 0.
- Gil-Antón, M. y Contreras Gómez, L. E. (2019). Impacto de las transferencias monetarias condicionadas en la profesión académica en México: distintos tiempos, diferentes condiciones. *Revista Electrónica De Investigación Educativa*, 21.
- Griliches, Z. (1958). Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations. *Journal of Political Economy*, 66(5), 419–431.
- IMSS. (2022). *¿Quién puede solicitar una pensión de Vejez? Edad de Jubilación*. Instituto Mexicano del Seguro Social. <https://www.imss.gob.mx/pensiones/preguntas-frecuentes/quien-puede-solicitar-pension-de-vejez>
- Intriligator, M. D. (2002). *Optimización matemática y teoría económica*. New Jersey.
- ISSSTE. (2022). *Triptico obtener pension: Retiro por Cesantía en Edad Avanzada y Vejez (RCV)*. Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. <https://www.pensionissste.gob.mx/assets/pdf/que-hacemos/publicaciones/tripticos/Triptico-obtener-pension.pdf>
- JASPERS. (2013). *Project Preparation and CBA of RDI Infrastructure Projects*.
- Javier Aracil (2019). El latente debate sobre la ingeniería y la ciencia. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, 14(41), 287–311. <https://www.redalyc.org/journal/924/92460273017/html/>
- Jordan, G. B. (2010). A theory-based logic model for innovation policy and evaluation. *Research Evaluation*, 19(4), 263–273.
- Kuhn, T. S. (2019). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Ladrón de Guevara Cervera, Michele, Hincapié, J., Jackman, J., Herrera, O. y Caballero Uribe, C. V. (2008). Revisión por pares: ¿Qué es y para qué sirve? *Revista Salud Uninorte*, 24, 258–272.

- Laffont, J.-J. y Laroque, G. (1972). Effets externes et théorie de l'équilibre général. *Cahiers Du Séminaire D'Économétrie*, 25–48.
- Lewin, L. y Vedung, E. (1980). *Politics as Rational Action: Essays in Public Choice and Policy Analysis. Theory and Decision Library, An International Series in the Philosophy and Methodology of the Social and Behavioral Sciences: Vol. 23*. Springer Netherlands.
- Ley de Ciencia y Tecnología, Diario Oficial de la Federación (2022).
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lct.htm>
- Link, A. N. y Vonortas, N. S. (2013a). *Handbook on the theory and practice of program evaluation*. Edward Elgar.
- Link, A. N. y Vonortas, N. S. (2013b). *Handbook on the theory and practice of program evaluation*. Edward Elgar.
- López Cerezo José Antonio. (1998). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos*. Organización de Estados Iberoamericanos.
<https://rieoei.org/RIE/issue/view/92>
- Lucas E. Robert (1988). On the Mechanism of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*(22), 3–42. <https://www.parisschoolofeconomics.eu/docs/darcillon-thibault/lucasmechanicseconomicgrowth.pdf>
- Mankins, J. C. (1995). Technology readiness levels. *White Paper, April, 6*(1995), 1995.
- Mankiw, N. G., Romer, D. y Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407–437.
- Martin, X. S. i. (1999). *Apuntes de crecimiento económico* (2ª ed.). Antoni Bosch.
- Martin, X. S. i. y Barro, R. J [Robert Joseph]. (2018). *Crecimiento económico*. Pearson Education, Inc.
- Martínez García, J. S. (2004). Distintas aproximaciones a la elección racional. *Revista Internacional De Sociología*, 62(37), 139–173. <https://doi.org/10.3989/ris.2004.i37.239>
- Mincer, J. (1958). Investment in human capital and personal income distribution. *Journal of Political Economy*, 66(4), 281–302.
- Mincer, J. (1974). Schooling, Experience, and Earnings. *Human Behavior & Social Institutions* No. 2.
- Molas-Gallart, J. (2012). Research Governance and the Role of Evaluation. *American Journal of Evaluation*, 33(4), 583–598. <https://doi.org/10.1177/1098214012450938>
- Molina Azorín José F, López Gamero María D, Moliner, Jorge Pereira, Pertusa Ortega Eva M. y Tarí Guilló Juan J (2012). Métodos híbridos de investigación y dirección de empresas:

- ventajas e implicaciones. *Cuadernos De Economía Y Dirección De La Empresa*(15), 55–62.
<https://www.elsevier.es/es-revista-cuadernos-economia-direccion-empresa-cede-324-pdf-S1138575812000035>
- Morretta, V., Vurchio, D. y Carrazza, S. (2022). The socio-economic value of scientific publications: The case of Earth Observation satellites. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121730. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121730>
- OCDE. (2018). *Manual de Frascati 2015*. <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264310681-es>
<https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>
- OECD. *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016 Country Profile*.
- OECD. (2018). *Statistics, Research and development (R&D)*. París. OECD. https://www-oecd-ilibrary-org.access.biblioteca.cinvestav.mx/industry-and-services/research-and-development-r-d/indicator-group/english_09614029-en
- OECD. (2020). *OECD Main Science and Technology Indicators. R&D Highlights in the February 2020 Publication*. París. OCDE. <https://www.oecd.org/sti/msti2020.pdf>
- Pancotti, C., Pellegrin, J. y Vignetti, S. (2014). *Appraisal of Research Infrastructures: Approaches, methods and practical implications* (núm. 15, 20122.). Milano, Italia. CSIL Centre for Industrial Studies, Corso Monforte.
- Paye, J.-C. (1996). Policies for a knowledge-based economy. *OECD Observer*(200), 4–6.
- Pérez, R. (2001). Ciencia básica y ciencia aplicada. *Salud Pública de México*, 43(4).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10643415>
- Piedra Salomón, Y. y Martínez Rodríguez, A. (2007). Producción científica Ciencias de la Información, vol. 38, núm. 3, diciembre, 2007, pp. 33-38 Instituto de Información Científica y Tecnológica La Habana, Cuba. *Ciencias De La Información*, 38(3), 33–38.
- Powell, J. (2015). *A librarian's guide to graphs, data and the semantic web* (1st edition). Elsevier.
- Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018., Diario Oficial de la Federación (2022). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5354626
- Quecedo, R. y Castaño, C. (2022). Redalyc. Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista De Psicodidáctica*(14), 5–39.
<https://www.redalyc.org/pdf/175/17501402.pdf>
- Ricketts, M. J. (2003). *The economics of business enterprise: An introduction to economic organisation and the theory of the firm* (International student edition). Edward Elgar. <https://doi.org/Martin>

- Rodríguez Miramontes, J., González Brambila, C. N. y Maqueda Rodríguez, G. (2017). El Sistema Nacional de Investigadores en México: 20 años de producción científica en las instituciones de educación superior (1991-2011). *Investigación Bibliotecológica*, 31(SPE), 187–219.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- Ronny Alexander Farinango Salazar, Valeria Elizabeth Banderas Benítez, Karen Michel Serrano Orellana y Karina Katuska Sotomayor Cabrera (2020). Perspectiva crítica de los modelos de crecimiento: exógeno y endógeno AK. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(2), 52–58. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/265/298>
- Rutherford, D. (1995). *Routledge dictionary of economics*. Routledge.
- Schneegans, S. y Lewis, J. y T. Straza. (2022, 17 de agosto). *La carrera contra el reloj para un desarrollo más inteligente: Resumen Ejecutivo*. París. UNESCO.
<https://www.unesco.org/reports/science/2021/es/race4smarter-development>
- Schultz, T. W. (1960). Capital formation by education. *Journal of Political Economy*, 68(6), 571–583.
- SFP. (2021-2022). *Nómina Transparente de la Administración Pública Federal*. Secretaría de la Función Pública. <https://nominatransparente.rhnet.gob.mx/>
- SHCP. (2013-2021). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Analítico Del Ejercicio Del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional (Armonizado)* (Cuenta Pública núm. Tomo VII). México. Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
<https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CP/TomoVII-2021>
- SHCP. (2013). *Cuenta Pública Cinvestav: Reglamento General de Estudios de Posgrado del Cinvestav*. (Tomo VII). México. Cinvestav.
https://www.apartados.hacienda.gob.mx/contabilidad/documentos/informe_cuenta/2013/doc/t7/L4J/L4J.02.02.03.vd.pdf
- SHCP. (2014). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Analítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. SHCP.
<https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2014/tomo/VII/L4J/L4J.03.EAEPFCPECI.pdf>
- SHCP. (2015). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Analítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. SHCP.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2015/tomo/VII/Print.L4J.03.F_FUNC.pdf

SHCP. (2016). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Análítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. SHCP.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2016/tomo/VII/Print.L4J.03.F_FUNC.pdf

SHCP. (2017). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Análítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. SHCP.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2017/tomo/VII/Print.L4J.03.F_FUNC.pdf

SHCP. (2018). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Análítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. Cinvestav.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2018/tomo/VII/Print.L4J.03.F_FUNC.pdf

SHCP. (2019). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Análítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. SHCP.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2019/tomo/VII/Print.L4J.03.F_FUNC.pdf

SHCP. (2020). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Análítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México. SHCP.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2020/tomo/VII/Print.L4J.03.F_FUNC.pdf

SHCP. (2021a). *Cuenta Pública Cinvestav 2021: Estado Análítico Del Ejercicio Del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional (Armonizado)*. México. Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

<https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CP/TomoVII-2021>

SHCP. (2021b). *Cuenta Pública Cinvestav: Estado Análítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional* (Tomo VII). México.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2021/tomo/VII/Print.11L4J.03.F_FUNC.pdf

Determinación de la Tasa Social de Descuento aplicable a programas y proyectos de inversión (25-julio-2022).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/748091/OFICIO_234_25_JULIO_2022_act_TSD_.pdf

- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*. Brookings Institution Press.
- Tashakkori, A. y Teddlie, C. (2010). *Sage handbook of mixed methods in social & behavioral research* (2nd ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781506335193>
- Tudela, J. y Aznar, J. (2013). ¿Publicar o morir? El fraude en la investigación y las publicaciones científicas. *Persona Y Bioética*, 17(1), 12–27.
- Vannevar Bush. (1945). *Science the Endless Frontier*.
<https://www.nsf.gov/about/history/vbush1945.htm>
- Webometrics. (2021). *Ranking WEB de Universidades*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España; Scimago.
<https://www.webometrics.info/es/search/Rankings/cinvestav%20type%3Apais>
- Wikipedia (Ed.). (2022). *Crecimiento económico*.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Crecimiento_económico&oldid=144309695
- Wileidys Artigas, María Cristina Useche y Beatriz Queipo (2017). Sistemas nacionales de ciencia y tecnología de Venezuela y Ecuador. *Telos*, 19(1), 168–187.
<https://www.redalyc.org/journal/993/99356728020/html/>
- www.springer.com. (2022, 5 de agosto). *El proceso de revisión por pares*.
<https://www.springer.com/la/authors-editors/tutoriales-de-autores-y-revisores/submitting-to-a-journal-and-peer-review/peer-review-process/12022854>
- Yang, C. C. (Ed.). (2013). *Intelligent systems series. Intelligent systems for security informatics* (1st ed.). Elsevier/Academic Press; Zhejiang University Press.
- Zamora Bonilla, J. P. (2014). *Ciencia pública-ciencia privada: Reflexiones sobre la producción del saber científico* (Primera edición electrónica). *Sección de obras de ciencia, tecnología, sociedad*. Fondo de Cultura Económica.
- Zuijdam, F., Boekholt, P., Deuten, J., Meijer, I. y Vermeulen, N. (2011). *The role and added value of large-scale research facilities*. The Netherlands. Technopolis group.

Anexos

Publicación: Uso del análisis cuantitativo para monetizar el costo social de la producción científica: una estimación para el Cinvestav en México con base en la Web of Science.



Métricas de la producción académica
evaluación de la investigación desde América Latina y el Caribe

GABRIEL VÉLEZ CUARTAS, THAIANE MOREIRA DE OLIVEIRA, FRANCISCO COLLAZO, ALEJANDRO URIBE TIRADO, LAURA ROVELLI & JUDITH NAIDORF (COMPS.)

CLACSO
LATMÉTRICAS

Métricas de la producción académica
evaluación de la investigación desde América Latina y el Caribe

Gabriel Vélez Cuartas. Thaianne Moreira de Oliveira. Francisco Collazo. Alejandro Uribe Tirado. Laura Rovelli. Judith Naidorf. [Compiladores]

Lorena Ruiz Serna. Lucía Bernal Cerquera. Ana Heredia. Eloisa Viggiani. Ana María Cetto. José Octavio Alonso-Gamboa. Alexandre Masson Maroldi. Luis Fernando Maia Lima. María Cristina Piumbato Innocentini Hayashi. Carlos Roberto Massao Hayashi. Jazmin Alvarado González. David Briceño Arango. Alejandro Duque Escobar. Dory Luz González-Hernández. Víctor Algañaraz. Gonzalo Miguel Castillo. Edith Paniagua Hernández. Eduard de la Cruz-Burelo. Karen Vanessa Martínez Acevedo. Luis Roberto Polo Bautista. Andrea Valencia Martínez. Eduardo Robles Belmont. Miguel Ángel Pérez Angón. [Autores de Capítulo]

ISBN 978-987-813-339-3 

CLACSO. Latmétricas.
Buenos Aires.
Noviembre de 2022

*Disponible sólo en versión digital

Existe una creciente presión sobre las revistas científicas, por parte del paradigma internacional de calidad usando indicadores de impacto de citas, con fuerte influencia de empresas comerciales que producen las bases de datos bibliográficas, y de las oficinas de fomento a la investigación, que actúan como organismos evaluadores y determinan criterios de clasificación de revistas, con fines de distribución de recursos para la investigación y educación superior. Estos criterios impuestos tienen consecuencias perversas para las revistas de la región, muchas de las cuales tienen un rol importante en la comunicación científica regional, ya que abordan temáticas de interés local, llenan brechas y tienden puentes de conocimiento, al tiempo que contribuyen a la capacitación de investigadores en principio de carrera. El problema adquiere una dimensión regional porque los cambios implementados en un país tienen el potencial de afectar las revistas de los demás. Es necesario seguir discutiendo este tema, y es hora de proponer una alternativa concreta y acciones conjuntas para la evaluación de la producción científica a nivel regional.

Reporte de Simulación Model Risk

ModelRisk Simulation Report

Date: Wednesday, November 02, 2022 01:05:37

By: Edith Paniagua Hernández

Summary

Name of model	Modelo Montecarlo 20 oct.xlsx
Date last modified	11/02/2022
Author	Edith Paniagua Hernández
# of simulations	1
# of sheets in the report	13
Number of Inputs	49
Number of Outputs	3
Simulations Start Time	02/11/2022 00:54:22
Simulations End Time	02/11/2022 00:54:34
Simulations Duration	00:00:12
Simulation Name	Simulation #1
Number of samples	10000
Seed	181846920

Range Name	Tasa Interna de Retorno (TIR)	
Variable Name	Tasa Interna de Retorno (TIR)	
Cell reference	[Modelo Montecarlo 20 oct.xlsx]Modelo Deterministico!B\$26	
Variable Type	Output	
Simulation #	Sim: 1	
Location		
Mean		19.2%
Minimum		-46%
Maximum		58%
# of Errors	1009	
# of Filtered	0	
Spread		
St. dev.		0.142363217
Variance		0.020267286
Risk ratio		1.930780871
CofV		0.742551141
Shape		
Skewness		-0.177344682
Kurtosis		3.221566328
Percentiles		
1%		-18%
3%		-8%
5%		-5%
8%		-1%
10%		1%
15%		5%
20%		8%
25%		10%
30%		12%
35%		14%
40%		16%
45%		17%
50%		19%
55%		21%
60%		23%
65%		24%
70%		26%
75%		29%
80%		31%
85%		34%
90%		38%
92%		40%
95%		43%
97%		46%
99%		50%

Range Name	Valor Actual Neto (VAN)	
Variable Name	[Modelo Montecarlo 20 oct.xlsx]Modelo Deterministico'!B\$27	
Cell reference		
Variable Type	Output	
Simulation #	Sim: 1	
Location		
Mean	\$	1,558,478,005.87
Minimum		-16601983832
Maximum		14875296182
# of Errors	0	
# of Filtered	0	
Spread		
St. dev.		3669240260
Variance		1.34633E+19
Risk ratio		5.71581185
CofV		2.354374105
Shape		
Skewness		-0.168407742
Kurtosis		3.228524975
Percentiles		
1%	-	7,598,022,396.49
3%	-	5,601,399,513.09
5%	-	4,608,547,411.44
8%	-	3,584,423,549.53
10%	-	3,063,713,361.67
15%	-	2,138,699,691.47
20%	-	1,469,846,209.43
25%	-	803,065,054.94
30%	-	226,526,083.06
35%		274,096,582.07
40%		736,312,809.14
45%		1,151,485,082.79
50%		1,612,173,193.69
55%		2,056,220,046.26
60%		2,487,009,144.33
65%		2,970,603,147.23
70%		3,480,437,653.87
75%		4,040,769,627.32
80%		4,657,330,978.74
85%		5,344,375,287.38
90%		6,151,165,283.70
92%		6,656,433,169.43
95%		7,528,491,373.20
97%		8,312,100,681.73
99%		9,710,248,016.83

Ejercicio del presupuesto de egresos 2016-2018 según la clasificación económica y por objeto del gasto del Cinvestav.

	2018	2017	2016
	\$ 127.02	\$ 121.03	\$ 113.42
Cinvestav			
CLASIFICACIÓN ECONÓMICA			
Presupuesto pagado	\$ 3,847,174,043	\$ 3,846,553,668	\$ 3,690,781,142
TOTAL	\$ 3,847,174,043	\$ 3,846,553,668	\$ 3,690,781,142
	\$ -	\$ -	\$ -
Gasto Corriente	\$ 3,763,759,404	\$ 3,665,685,300	\$ 3,527,116,175
Servicios Personales	\$ 2,251,235,393	\$ 2,354,179,928	\$ 2,334,606,725
1000 Servicios personales	\$ 2,251,235,393	\$ 2,354,179,928	\$ 2,334,606,725
1100 Remuneraciones al personal de carácter permanente	\$ 727,361,076	\$ 735,985,883	\$ 763,985,311
1200 Remuneraciones al personal de carácter transitorio	\$ 3,027,286	\$ 4,225,230	\$ 4,508,857
1300 Remuneraciones adicionales y especiales	\$ 446,964,134	\$ 425,801,205	\$ 441,561,740
1400 Seguridad social	\$ 184,042,802	\$ 186,829,109	\$ 193,231,016
1500 Otras prestaciones sociales y económicas	\$ 551,047,275	\$ 648,746,546	\$ 558,707,454
1700 Pago de estímulos a servidores públicos	\$ 338,792,820	\$ 352,591,955	\$ 372,612,347
Gasto De Operación	\$ 1,337,059,557	\$ 1,168,654,951	\$ 1,059,818,449
2000 Materiales y suministros	\$ 313,975,503	\$ 337,085,757	\$ 373,522,524
2100 Materiales de administración, emisión de documentos y artículos o	\$ 125,418,366	\$ 118,158,401	\$ 117,621,941
2200 Alimentos y utensilios	\$ 8,754,769	\$ 9,859,821	\$ 14,045,232
2300 Materias primas y materiales de producción y comercialización	\$ 30,864	\$ 83,042	\$ 4,809
2400 Materiales y artículos de construcción y de reparación	\$ 14,264,897	\$ 18,612,478	\$ 25,649,888
2500 Productos químicos, farmacéuticos y de laboratorio	\$ 144,213,417	\$ 171,049,444	\$ 175,514,907
2600 Combustibles, lubricantes y aditivos	\$ 5,390,839	\$ 4,815,020	\$ 10,752,691
2700 Vestuario, blancos, prendas de protección y artículos deportivos	\$ 7,243,714	\$ 6,151,255	\$ 6,483,441
2900 Herramientas, refacciones y accesorios menores	\$ 8,658,636	\$ 8,356,295	\$ 23,449,617
3000 Servicios generales	\$ 1,023,084,054	\$ 831,569,195	\$ 686,295,924
3100 Servicios básicos	\$ 81,678,865	\$ 82,312,468	\$ 63,612,879
3200 Servicios de arrendamiento	\$ 47,766,607	\$ 36,454,412	\$ 47,490,071
3300 Servicios profesionales, científicos, técnicos y otros servicios	\$ 664,580,348	\$ 518,982,712	\$ 330,989,873
3400 Servicios financieros, bancarios y comerciales	\$ 12,977,339	\$ 8,077,639	\$ 9,256,302
3500 Servicios de instalación, reparación, mantenimiento y conservación	\$ 89,849,200	\$ 71,879,232	\$ 109,590,946
3700 Servicios de traslado y viáticos	\$ 51,994,620	\$ 50,851,779	\$ 64,571,846
3800 Servicios oficiales	\$ 6,481,548	\$ 7,148,110	\$ 21,740,304
3900 Otros servicios generales	\$ 67,755,527	\$ 55,862,843	\$ 39,043,703
Subsidios	\$ 57,302,609	\$ 82,101,489	\$ 90,035,077
4000 Transferencias, asignaciones, subsidios y otras ayudas	\$ 57,302,609	\$ 82,101,489	\$ 90,035,077
4300 Subsidios y subvenciones	\$ 57,302,609	\$ 82,101,489	\$ 90,035,077
Otros De Corriente	\$ 118,161,846	\$ 60,748,931	\$ 42,655,924
3000 Servicios generales	\$ 59,115,267	\$ 55,385,719	\$ 33,659,028
3900 Otros servicios generales	\$ 59,115,267	\$ 55,385,719	\$ 33,659,028
4000 Transferencias, asignaciones, subsidios y otras ayudas	\$ 59,046,579	\$ 5,363,212	\$ 8,996,896
4400 Ayudas sociales	\$ 3,995,653	\$ 5,363,212	\$ 8,996,896
4600 Transferencias a fideicomisos, mandatos y otros análogos	\$ 55,050,926	\$ -	\$ -
Pensiones Y Jubilaciones	\$ -	\$ -	\$ -
Gasto De Inversión	\$ 83,414,638	\$ 180,868,368	\$ 163,664,967
Inversión Física	\$ 83,414,638	\$ 180,868,368	\$ 163,664,967
5000 Bienes muebles, inmuebles e intangibles	\$ 69,872,748	\$ 141,568,094	\$ 161,834,392
5100 Mobiliario y equipo de administración	\$ 7,039,378	\$ 15,305,075	\$ 24,583,710
5200 Mobiliario y equipo educacional y recreativo	\$ 835,500	\$ 760,865	\$ 809,265
5300 Equipo e instrumental medico y de laboratorio	\$ 59,861,625	\$ 115,943,783	\$ 126,399,172
5400 Vehículos y equipo de transporte	\$ -	\$ -	\$ 1,194,202
5600 Maquinaria, otros equipos y herramientas	\$ 2,136,245	\$ 9,558,372	\$ 8,848,043
6000 Inversión pública	\$ 13,541,890	\$ 39,300,274	\$ 1,830,575
6200 Obra pública en bienes propios	\$ 13,541,890	\$ 39,300,274	\$ 1,830,575
Otros De Inversión	\$ -	\$ -	\$ -
3000 Servicios generales	\$ -	\$ -	\$ -
3900 Otros servicios generales	\$ -	\$ -	\$ -