

**USO DEL ANÁLISIS CIENCIOMÉTRICO PARA MONETIZAR EL
COSTO SOCIAL DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA: UNA
ESTIMACIÓN PARA EL CINVESTAV EN MÉXICO CON BASE
EN LA WEB OF SCIENCE**

Edith Paniagua-Hernández
Eduard De la Cruz-Burelo

Introducción

El presente análisis da respuesta, desde una perspectiva económica y financiera, a la pregunta: ¿qué tan rentable es para un centro de investigación pública en México invertir en la hechura de artículos científicos? Consideramos, en lo particular, que aportar cifras monetarias al análisis de la actividad científica y tecnológica [CyT] fomenta la creación e implementación de políticas de racionalidad presupuestaria institucional, esto es, hacer más eficiente el gasto y mejorar la calidad de la inversión pública en el sector. Así también, en lo general, la cuantificación monetaria de la producción científica contribuye a dar mayor claridad al vigente debate sobre cómo la inversión pública en ciencia contribuye al desarrollo socioeconómico del país.

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 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, Perspectivas de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2016). Este innegable hecho motiva el presente trabajo de investigación y el cual se suma a los esfuerzos de tan compleja tarea: la evaluación económica del conocimiento.

El propósito de este texto es estimar el valor económico, expresado en unidades monetarias, de una publicación científica en México y su retorno de inversión. Para lograr este objetivo, partimos de la premisa en la que la producción de conocimiento científico es un

proceso productivo que se puede analizar con la ayuda de herramientas conceptuales extraídas de la ciencia económica. El análisis se circunscribe en el paradigma analítico de la economía neoclásica que basa las evaluaciones de los programas de Investigación y Desarrollo del sector público en el criterio de eficiencia. En cuanto a la técnica y el método de estimación, estos se retoman del análisis Costo-Beneficio Social [CBS] aplicado a la evaluación de infraestructuras con misión científica en Europa, específicamente en el CERN. Conviene subrayar que tanto el resultado como el método de cálculo aquí presentados son una herramienta cuantitativa útil para apoyar la toma de decisiones basada en evidencia y con ello aminorar los conflictos entre múltiples partes interesadas en los procesos de decisión de inversión pública. No pretende mostrarse como la única herramienta de análisis ni restar importancia al análisis de carácter social que el proceso de producción científica tiene fuertemente implícito.

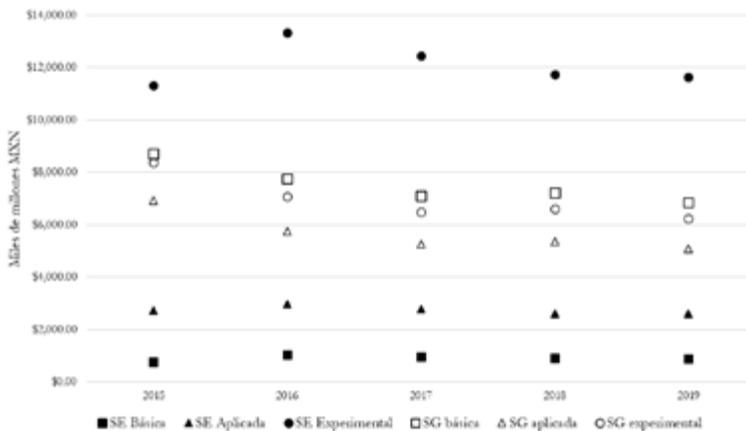
El texto se divide en cuatro secciones principales: primero se hace un breve recorrido teórico y empírico sobre el actual estatus de la inversión en I+D y la hechura y publicación de literatura científica. Después de exponer el modelo de cálculo del valor monetario de un producto de conocimiento, así como los datos e insumos necesarios para su aplicación, se analizan los resultados e implicaciones del valor económico obtenido para evaluar la publicación científica en el Cinvestav. La sección final presenta las conclusiones.

Tendencias y perspectivas de la inversión en ciencia.

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 [OECD, por sus siglas en inglés] 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 diez años -2,3% en gasto de investigación I+D y 3,4% en Educación Superior (OECD, 2020)-; no se revierte la tendencia actual: el sector empresarial 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 básica. 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 privado (Conacyt, 2019). La Gráfica I 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.

Gráfica I. GIDE por sector de ejecución y fuente de los fondos, 2015-2019



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 es 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 Panagiotis (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)

Si 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 (2013) 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 a raíz de la crisis sanitaria mundial del covid y de los cambios en la política científica en México¹ es que el presente artículo tiene su principal contribución: estimar la relación costo-beneficio de la publicación científica,² considerando a esta última 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. 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 que 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.

La idea de la rentabilidad del proceso de investigación científica

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].

[1] 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.

[2] 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.

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.

En la teoría de la Economía del Bienestar, rama de las ciencias económicas y políticas que trata de cuestiones relativas a la eficiencia económica y al bienestar social, se asume que los costos y los beneficios deben de ser expresados en unidades monetarias. Beck y Panagiotis (2021) enfatizan que

[...] esto es solo una convención de medición y no significa que todos los costos (como pueden ser la contaminación o la congestión del tráfico) y todos los beneficios (como la información de un sitio web) realmente generen transacciones en efectivo. Solo significa que la medición puede hacerse mediante una métrica apropiada. (p. 127)

La bondad de la cuantificación en términos monetarios se resume en la utilidad para la planeación económica y financiera necesaria para acelerar y optimizar la generación de estos beneficios socioeconómicos; dado que, “cuanto antes la sociedad pueda recibir [o percibir] los beneficios generados por los institutos de investigación, mayor será el impacto en la financiación de la investigación y en el crecimiento económico” (p. 53).

Otro argumento que justifica no solo la inversión en este rubro, sino también la necesidad de mantener el ritmo de crecimiento presupuestario es que las actividades científicas son pilares fundamentales para el progreso económico y social de los países y su población. En este orden de ideas, las teorías modernas del crecimiento y del desarrollo económico de los países argumentan que la diferencia entre los países pobres y los países ricos se puede explicar en el gasto en ciencia, tecnología e innovación. Edquist y Henrekson, (2017)

encuentran que “los países con una estructura industrial similar a la de Suecia podrían beneficiarse [del 36% al 58% del crecimiento del valor agregado] con el desarrollo y el fortalecimiento de instituciones que fomenten las inversiones en investigación” (p. 19).

Por lo que se refiere a la Nueva Gerencia Pública, enfoque orientado en el funcionamiento de las instituciones gubernamentales de servicio público, y que “[...] pone énfasis en la necesidad de una reforma gerencial del Estado [es decir, promueve un cambio de la administración burocrática a la gestión empresarial] para aumentar su profesionalización, eficiencia, efectividad y transparencia en la gestión de los recursos públicos” (Díaz Flores et al., 2011, p. 147). Conforme a este modelo de administración pública; la gestión financiera es una tarea esencial porque contribuye directamente a medir los resultados del gasto público. Además, el proceso presupuestario tiene una doble función, debe ser una herramienta para la asignación eficiente de recursos y un instrumento de control del ejercicio de estos, sin embargo, el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos [CEPEP] señala que en México “[...] el Sector Central orienta sus esfuerzos a esta última [control] dejando de lado la primera [asignación] que debe ser la base para la planeación financiera” (CEPEP, 2014). Conviene subrayar que la etapa de planeación financiera supone la viabilidad económica de la inversión y por tanto es en este punto del proceso que tanto las técnicas como los indicadores financieros toman importancia.

El proceso presupuestario asume racionalidad y para ello busca un nivel de desarrollo técnico suficiente que permita conseguir que el gasto equilibre las razones económicas y no económicas para la toma de decisiones y la asignación de recursos públicos. El enfoque de la NGP extrae prácticas del sector privado y las utiliza en la gestión del sector público, en consonancia con esto, las métricas fundamentales para evaluar la rentabilidad de una empresa y la conveniencia de sus inversiones (Valor Presente Neto [VPN], Tasa Interna de Retorno [TIR], Índice de Rentabilidad [IR]) son llevadas al ámbito de la administración pública para evaluar la asignación eficiente de los recursos públicos. Es necesario hacer una aclaración pertinente: a diferencia del sector empresarial que implementa estas herramientas para la maximización de las ganancias –su objetivo es utilitarista–; cuando se trata de instituciones sociales financiadas con recursos públicos la optimización de la inversión

involucra otras dimensiones –su objetivo es social–. Este objetivo, aterrizado a nuestro tema de interés, no es solo la producción de más publicaciones científicas con menos recursos, sino también es el capital humano involucrado en la generación del conocimiento, la diseminación de este en la sociedad y la incorporación del conocimiento en las técnicas para el mejoramiento de los procesos de producción, entre otros.

Métodos y técnicas para la evaluación de la investigación científica

En general, los procesos de evaluación de proyectos de la ciencia³ 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 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, etcétera.

La elección del paradigma sustenta el método y este 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

[3] Se entiende aquí por ciencia a aquella esfera de la actividad de la sociedad, cuyo objeto esencial es la adquisición de conocimientos acerca del mundo circundante. La ciencia está formada por cuatro componentes fundamentales: (1) El factor humano, representado por los científicos y por todo el personal que colabora con los fines de la actividad científica. (2) El factor social, compuesto por el conjunto de relaciones que, en el marco del trabajo, mantienen los científicos; manifestaciones de estas relaciones las constituyen las sociedades, los grupos y equipos de trabajo, los colegios invisibles, etcétera. (3) El factor cognitivo, que aun cuando incluye los procesos necesarios para generar los conocimientos teóricos, metodológicos, prácticos u otros se manifiesta por medios informales (conferencias, intercambios de *preprints*, etcétera) o formales (revistas científicas, manuales, etcétera) de la comunicación científica, que son los que esencialmente simbolizan a este componente. (4) El factor material, que comprende tanto los instrumentos, los equipos u otros elementos que constituyen herramientas que los científicos utilizan directamente en el proceso cognoscitivo como las instalaciones (laboratorios, edificios, etcétera) en el marco de las cuales se desarrolla este tipo de actividad (Cañedo Andalia, Rubén, 2001).

datos. Respecto a las técnicas, estas pueden ser: encuesta, estimación estadística o econométrica, análisis de patentes, bibliometría, ciencia-metría, 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 ateóricos. 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 [AC/B] 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 C/B 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 et al., 2016), en este sentido, el enfoque de análisis se conoce como Costo-Beneficio Social [AC/BS] 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 y se considera como una buena práctica para la planificación estratégica del presupuesto público.

Evaluaciones empíricas en el marco del AC/BS

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 2014, basada en un enfoque costo-beneficio, 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.

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; Battistoni, G. et al. (2016) estudian el 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 este 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.

El estudio más reciente está circunscrito al área de la astronomía y astrofísica, en el cual Morretta, Vurchio y Carrazza (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.

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, p. 17). 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 y Martínez, 2007, p. 34)

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, p. 20)

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 posiciona a los científicos como los beneficiarios directos de la inversión en ciencia y tecnología.

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” (Bonilla, 2014, p. 26). Sumado 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 AC/BS 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.

En México, la financiación de las actividades CyT se hace mediante el uso los recursos públicos; esta preponderante condición hace que el ejercicio del gasto en este rubro siga los principios de eficiencia, eficacia, transparencia y rendición de cuentas. La valoración monetaria de los productos que resultan de una investigación

científica es una primera etapa para la planificación presupuestaria institucional y para ejercer el gasto estratégicamente en actividades que tengan mayor rentabilidad social.

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 CyT 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% del total de la inversión, mientras que el sector empresarial contribuyó con una participación de 24,41%” (Conacyt, 2018, p. 45). 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 OECD y cálculos propios, para el periodo 2000-2016 se obtuvo que, en promedio, el 60% del total del GIDE provino de financiamiento gubernamental, 31% del sector empresarial y, el resto, 9%, 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 CyT de forma continua y sistemática en los últimos casi 20 años. Esta proporción contrasta con la de los países líderes en desarrollo CyT miembros de la OECD, en la que la relación de financiamiento se invierte; es decir, 30 público y 60 privado.

El promedio del Gasto Federal en Ciencia y Tecnología en México, durante el periodo de estudio (2016-2018), fue de MXN 91 226,00 millones, cantidad equivalente al 0,4% del Producto Interno Bruto (Conacyt, 2018). 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.

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 experimental del país. El *Ranking Web of Universities* 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 número 17 a nivel Latinoamérica (webometrics, 2021). En cuanto a la producción

científica, la institución aportó en el periodo 2016-2018 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 Science [WoS], 2021).

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 años ha recibido un promedio anual aproximado de poco más de 3.000 millones de pesos mexicanos de presupuesto público (SHCP, 2018; SHCP, 2017 y SHCP, 2016) para contribuir al desarrollo de la sociedad mexicana mediante dos actividades principales; uno, la investigación científica y tecnológica y dos, la formación de recursos humanos de alta calidad, ambos propósitos enunciados en el decreto de creación del Centro (*Manual General de Organización del CINVESTAV*, s. f.).

En general, el Cinvestav ha destinado sistemáticamente en los últimos años el 65% del presupuesto para la primera función y 35% para la segunda. La Tabla I indica el porcentaje del presupuesto que ejerce el centro de investigación según la finalidad y función para el periodo de estudio.

Tabla I. Porcentaje de asignación y erogación del total del presupuesto del Cinvestav según su finalidad y función.

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.

Materiales y Métodos

La evaluación científica y la metodología de costo-beneficio social

La evaluación científica de las instituciones CyT, 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 estos y por la incertidumbre asociada al logro de los resultados de la investigación. Uno de los trabajos más significativos en 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 (Pancotti, Pellegrin y Vignetti, 2014; Florio et al., 2016; Florio y Sirtori, 2016; Florio, Forte y Sirtori, 2016; Del Bo, Florio y Forte, 2016).

La propuesta metodológica del autor resuelve limitaciones de valuación monetaria al asumir que los beneficios intangibles de las infraestructuras CyT 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 CyT, la propuesta metodológica de AC/BS del grupo de investigación de Florio 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.

Este artículo utiliza la metodología propuesta en el AC/BS para calcular el costo social de una variable; la producción de conocimiento.

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

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

$$VSPC = \sum_{t=0}^T (s_t \cdot E(Y_t) \cdot (E(m)))$$

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.

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 indexado 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; Cinvestav, 2017; Cinvestav, 2018a).
- 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; SHCP, 2017; SHCP, 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).
- Se considera que Investigador Cinvestav que trabaja en el Centro a tiempo completo y exclusivo, cuya función es realizar actividades de investigación científica o tecnológica y formar investigadores (Cinvestav, 2018b).
- La tasa de descuento social para México es del 10% con base en información de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público SHCP del 13 de enero de 2014. (SHCP, 2014).

Resultados y discusión

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 obtenidos que caracterizan la actividad científica del Cinvestav se reportan en la tabla II.

Tabla II. Principales indicadores cuantitativos de la actividad científica del Cinvestav 2016-2018.

Año	Todos los productos de investigación	Artículos Científicos	<i>h-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 práctica 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 MXN 363.300,75 a precios corrientes del 2021, esto es equivalente a USD 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 MXN 473.160 millones.

El valor monetario que se obtiene con esta metodología es un buen referente del costo marginal de producción del artículo científico, este último considerado como ítem intensivo en trabajo altamente especializado. Si bien esto 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.

Sí 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]⁴ de la producción de artículos

[4] El valor Presente Neto Social [VPNS] es un criterio de inversión que consiste en

científicos es de MXN 70.332,272. Este valor es positivo y mayor que cero ($VPNS > 0$), lo cual significa que la inversión social en este ítem es rentable y, por lo tanto, es conveniente realizarlo. Un segundo objetivo [que no interesa en este estudio] sería jerarquizar entre distintas alternativas independientes de inversión en la institución para priorizar a partir del proyecto que tenga un mayor VPNS.

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” (Technopolis Group, 2013). 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.

Consideraciones para su aplicación y limitaciones del cálculo

La evaluación empírica de la producción científica del Cinvestav que se presenta en este estudio es consistente con los resultados encontrados en las investigaciones que implementan este método de cálculo (JASPERS, 2013; Florio, Forte y Sirtori, 2016; Morretta, Vurchio, y Carrazza, 2022; Battistoni, Giuseppe et al., 2016). Esto porque las características propias del Cinvestav permiten que el método de estimación sea adecuado y por tanto la métrica resultante un indicador responsable y útil para la toma de decisiones.

En primera instancia, el Cinvestav oferta sesenta y cinco programas de posgrado (treinta y tres doctorados y treinta y dos maestrías) en la República Mexicana, de los cuales solo cinco se orientan a las ciencias sociales y uno es de carácter multidisciplinario. En sincronía

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].

con la oferta académica, el 93 % de los investigadores (productores de conocimiento) están adscritos a las áreas de ciencias exactas, naturales, biológicas, de la salud, tecnología y ciencias de la ingeniería (CONACyT, 2018). Esto es que, solo el 9% de la oferta académica y el 7% de los investigadores están adscritos a disciplinas científicas distintas a las que fueron probadas en las evaluaciones ya comentadas. En segunda instancia, uno de los criterios de evaluación del trabajo científico más valorados para la promoción y otorgamiento de estímulos al personal académico del Cinvestav son los artículos originales de investigación publicados en extenso en revistas de prestigio internacional con arbitraje estricto; considerando como revistas prestigiosas todas las que se encuentran indizadas en el *Journal Citation Reports* [JCR] que puede consultarse en base de datos Web of Science. Como resultado de esta política institucional para la productividad académica del Centro; los investigadores prefieren en primer lugar publicar sus productos de investigación científica en revistas indexadas en la WoS, por tanto, la base de datos es una fuente de información suficiente para evaluar a la intensidad de la productividad científica y una medida apropiada del comportamiento de la producción científica del Cinvestav.

En otras palabras, el método de estimación y la fuente de información resultan ad hoc para el caso del Cinvestav, esto porque poco más del 90% de los programas de posgrados ofertados y los investigadores adscritos están en las áreas de ciencias exactas, naturales, biológicas, de la salud, tecnología y ciencias de la ingeniería y que, además, por política institucional se recompensa la publicación de artículos científicos en los índices contenidos en la WoS.

Sin embargo, se reconoce que se necesita más investigación para afinar el método de estimación cuando se trata de instituciones científicas cuyas áreas científicas están circunscritas a las sociales, de la conducta, las humanidades y la investigación interdisciplinaria; ya que estas disciplinas se desarrollan en circunstancias materiales, con insumos, formas de organización, prácticas de colaboración, tradiciones de publicación y patrones de comunicación claramente diferenciados que se requieren considerar y discutir al momento de la aplicación del método.

Así también, aceptamos la opinión, como lo sugiere la guía metodológica de la Red JASPERS (2014) de que la métrica que se obtiene es imperfecta dado que contempla únicamente artículos publicados

y no otras formas de comunicación de los resultados y los hallazgos de los científicos existentes y que deben de ser consideradas agregadas al análisis. En este sentido, los *preprints*, las contribuciones a congresos, así como los capítulos de libros o cualquier otro producto del conocimiento producido por los científicos de una institución científica debe medirse y considerarse en el cálculo. En este punto, es importante distinguir entre la producción de conocimiento científico y su difusión. La actividad de difusión de conocimiento se refiere a la divulgación del conocimiento dirigida a públicos no necesariamente especializados y se reconoce como otro producto del proceso de investigación que deriva de forma paralelo o posterior de la creación de conocimiento. Este resultado es cuantificado en otra categoría que se define como impacto cultural donde la medición de tal actividad de difusión en principio se puede hacer, en términos de número de productos impresos, su impacto en términos de lectores, descargas, etcétera.

Conclusiones

A través de una estrategia de investigación inductiva de estudio de caso se implementó el método de estimación del costo social de la publicación de artículos científicos como herramienta innovadora para evaluar la producción científica de una institución académica.

A fin de lograr el objetivo de este estudio, establecimos 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? cuya respuesta implica una métrica monetaria.

Nuestro análisis tiene 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 con 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 ítem. Esta afirmación está dada por las características propias del Cinvestav, sin embargo, la conveniencia del método y su validez, tal cual la propuesta e implementación de este artículo, 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 comprensión de las prácticas en la comunidad científica y no de la guía metodológica del AC/BS 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 autocitación 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.

Consideramos que el modelo general de 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 proyecto en el que se encuentra.

Este artículo de investigación, 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.

Bibliografía

- Beck, Hans Peter, and Panagiotis Charitos. (2021). *The Economics of Big Science: Essays by Leading Scientists and Policymakers*. Springer Nature, 2021.
- Battistoni, Giuseppe, et al. (2016). Cost–benefit analysis of applied research infrastructure. Evidence from health care. *Technological Forecasting and Social Change*, 112@, 79-91.
- Cañedo Andalia, Rubén. (2001). Ciencia y tecnología en la sociedad: Perspectiva histórico conceptual. *ACIMED*, 9 (1), 72-76. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352001000100005&lng=es&tlng=es
- CEPEP. (2014). *Propuesta para eficientar el proceso presupuestal de las delegaciones políticas del Distrito Federal*. <https://www.cepep.gob.mx/en/CEPEP/Proyectos>
- Cinvestav. (2018a, 2017, 2016). *Anuarios Cinvestav*. <https://conexion.cinvestav.mx/academia/Anuarios>
- Cinvestav. (2018b). *Reglamento General de Estudios de Posgrado del Cinvestav*. https://www.tamps.cinvestav.mx/eyesonly/Reglamento_archivos/Reglamentogeneraldeestudiosdeposgrado2018.pdf
- Conacyt. (2018). *Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación 2018*. Ciudad de México, <https://www.sii-cyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-tecnologia-e-innovacion/informe-general-2018>
- Conacyt. (2019). *Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación 2019*. Ciudad de México, <https://www.sii-cyt.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>

- Da Fonseca, Ricardo y Veloso Alex. (2018). The Practice and Future of Financing Science, Technology, and Innovation. *Foresight and STI Governance, National Research University Higher School of Economics*, 12 (2) 6-22.
- Del Bo, Chiara; Florio, Massimo y Forte, Stefano. (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.
- Díaz Flores, Manuel; et al. (2011). EL Proceso Presupuestario en México, Universidade Regional de Blumenau. *Revista Universo Contábil*, 7 (1), 144-158.
- Economics, Frontier. (2014). *Rates of return to investment in science and innovation*. A report prepared for the UK Department for Business, Innovation and Skills [BIS], London.
- Edquist, Harald y Henrekson, Magnus. (2017). Swedish lessons: How important are ICT and R&D to economic growth? *Structural Change and Economic Dynamics*, 42,1-12.
- Florio, Massimo. (2019). *Investing in science: Social cost-benefit analysis of research infrastructures*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Florio, Massimo et al. (2016). *Exploring cost-benefit analysis of research, development and innovation infrastructures: An evaluation framework*. [Working paper 01/2016]. CSIL Centre for Industrial Studies, Corso Monforte, 15, 20122. Milano: arXiv preprint arXiv:1603.03654.
- Florio, Massimo; Forte, Stefano y Sirtori, Emanuela. (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.
- Florio, Massimo y Sirtori, Emanuela. (2016). Social benefits and costs of large scale research infrastructures. *Technological Forecasting and Social Change*, Elsevier, 112@, 65-78.
- Intriligator, Michael D. (2002 [1973]). *Optimización matemática y teoría económica*, New Jersey: Editorial Prentice-Hall Internacional.
- JASPERS. (2013). *Project Preparation and CBA of RDI Infrastructure Project*, Staff Working Papers, JASPERS Knowledge. Economy and Energy Division.
- Link, Albert N. y Nicholas S. Vonortas (eds.). (2013). *Handbook on the theory and practice of program evaluation*. Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- *Manual General de Organización del CINVESTAV*. (s. f). Recuperado el 21 de abril de 2021 de <https://administracion.cinvestav.mx/Portals/0/SiteDocs/UnidadTransp/2431-MANUALDEORGANIZACIONCINVESTAVJUNIO2016.pdf>
- Morretta, Valentina, Davide Vurchio, y Stefano Carrazza. (2022). The socio-economic value of scientific publications: The case of Earth Observation satellites. *Technological Forecasting and Social Change*, 180@.

- OECD. (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. Publicado por acuerdo con la OECD, París, Francia. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>
- OECD. (2016). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*, OECD Publishing, París. http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en
- OECD. (2018). *Statistics, Research and development (R&D)* en 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*, Directorate for Science, Technology and Innovation. OECD Publishing, París, www.oecd.org/sti/msti2020.pdf.
- Pancotti, Chiara; Pellegrin, Julie y Vignetti, Silvia. (2014). *Appraisal of Research Infrastructures: Approaches, methods and practical implications*. Departmental Working Papers 2014-13. Università degli Studi di Milano: Department of Economics, Management and Quantitative Methods.
- Piedra-Salomón, Yelina y Ailín Martínez-Rodríguez. (2007). Producción científica. *Ciencias de la Información*, 38, 33-38.
- SFP. (2021). *Nómina Transparente de la Administración Pública Federal*. <https://nominatransparente.rhnet.gob.mx/>
- SHCP. (2014). *Tasa social de descuento [TSD]*. gob.mx. <http://www.gob.mx/shcp/documentos/tasa-social-de-descuento-tds>
- SHCP. (2018). *Cuenta Pública 2018, Análisis del Ejercicio del Presupuesto de Egresos, CINVESTAV*. Gobierno. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2018/tomo/VII/Print.L4J.03.AEPE_A.pdf
- SHCP. (2017). *Cuenta Pública 2017, Análisis del Ejercicio del Presupuesto de Egresos, CINVESTAV*. Gobierno. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2017/tomo/VII/Print.L4J.03.AEPE_A.pdf
- SHCP. (2016). *Cuenta Pública 2017, Análisis del Ejercicio del Presupuesto de Egresos, CINVESTAV*. Gobierno. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/work/models/CP/2016/tomo/VII/L4J.03.AEPE_A.pdf
- Simmonds, Paul et al. (2013). *Big science and innovation*. Reino Unido: Technopolis Report 5.
- Tudela-Cuenca, Julio y Justo-Aznar Lucea. (2013). ¿Publicar o morir? El fraude en la investigación y las publicaciones científicas. *Persona y Bioética*, 17 (1), 12-27.
- Swerdlow, Robert; Teichmann, Dorothee y Young Tim. (2017). *Economic Analysis of Research Infrastructure Projects in 2014-2020*, JASPERS Smart Development Division. Staff Working Papers, European Investment Bank.

- Webometrics. (2021). *Ranking WEB de Universidades*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España y el grupo Scimago. <https://www.webometrics.info/es/search/Rankings/cinvestav%20type%3Apais>
- Zamora Bonilla, Jesús. (2008). ¿Es la ciencia un mercado de ideas? *ArtefaC-ToS*, 1 (1), 71-80.
- Zamora Bonilla, Jesús. (2014). *Ciencia pública-ciencia privada: Reflexiones sobre la producción del saber científico*. México: Fondo de Cultura Económica.