

Descubrir para anticipar

Elementos y aplicaciones de
la prospectiva tecnológica

Eduardo David Chalapud Narváez
David Steven Agudelo Gutierrez
Tobías Alfonso Parodi Camaño

Autores



CENTRO DE ESTUDIOS PROSPECTIVO
DE CUYO

Descubrir para anticipar

Elementos y aplicaciones de la prospectiva tecnológica

**Eduardo David Chalapud Narváez
David Steven Agudelo Gutierrez
Tobías Alfonso Parodi Camaño**

Autores

**Este documento es el resultado del financiamiento otorgado por el
Centros de Estudios Prospectivos de CUYO AC.**

Chalapud Narváez, Eduardo David

Descubrir para anticipar : elementos y aplicaciones de la prospectiva
tecnológica / Eduardo David Chalapud Narváez ; David Steven Agudelo
Gutierrez ; Tobías Alfonso Parodi

Camaño. - 1a ed. - Mendoza : Asociación Civil Centro de Estudios
Prospectivos de Cuyo, 2026.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-631-90402-8-9

1. Tecnología. 2. Planificación. 3. Desarrollo Sustentable. I. Agudelo
Gutierrez, David Steven II. Parodi Camaño, Tobías Alfonso III. Título
CDD 600

Diagramación y Diseño: Lic. Ignacio Sánchez



**CENTRO DE ESTUDIOS PROSPECTIVO
DE CUYO**

Biodata

EDUARDO DAVID CHALAPUD NARVAEZ

Doctorante en Administración Gerencial, Magister en Administración y Competitividad, Especialista en prospectiva estratégica, Especialista en Economía Internacional, Politólogo, Economista. Docente investigador Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN; Integrante del grupo de investigación GIDECER. Investigador adscripto del Centro de Estudios Prospectivos de la Universidad de Cuyo, Mendoza Argentina; Miembro asociado de la Red Iberoamericana de prospectiva (RIBER). Sus líneas de trabajo e investigación incluyen Prospectiva estratégica, tecnológica y territorial, estudios de futuro, Innovación y Teoría económica. **Correo:** eduardo_chalapud@cun.edu.co. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0723-2149>

DAVID STEVEN AGUDELO GUTIERREZ

Doctorante en Administración y Desarrollo, Maestro en Estudios Empresariales y Profesional en Relaciones Económicas Internacionales de la Universidad Autónoma de Colombia. Integrante de la red de investigaciones RADAR. Integrante de los grupos de investigación en ciencias administrativas y contables y el grupo GIRAS CUN. Docente investigador de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN, Sus líneas de trabajo e investigación incluyen economía solidaria, negocios internacionales, análisis organizacional, emprendimiento social y prospectiva. **Correo:** david_agudelo@cun.edu.co. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6747-6252>.

TOBIAS ALFONSO PARODI CAMAÑO

Ingeniero industrial, especialista en Gestión de Proyectos, magíster en Dirección y Administración de Empresas y doctor en Innovación con mención honorífica. Cuenta con más de diez años de experiencia en docencia universitaria, investigación, innovación y gestión de proyectos. Es docente investigador de tiempo completo de la Universidad de Córdoba e investigador de la Dirección Nacional de Investigación de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior – CUN. Sus líneas de trabajo incluyen innovación empresarial, liderazgo, inteligencia artificial aplicada a la educación, emprendimiento y transformación digital. **Correo:** tobias_parodi@cun.edu.co. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4548-1058>

Índice

Prólogo	4
Introducción	6
Historia y desarrollo del enfoque de Prospectiva Tecnológica	9
Technology Foresight	10
Technology Forecasting	11
Technology Futures Analysis	13
Dinámica de sistemas (DM)	14
Importancia de la Prospectiva Tecnológica en la innovación	16
Métodos y Herramientas de los enfoques específicos	18
Technology Foresight	18
Technology forecasting	23
Technology Futures Analysis (TFA)	25
Métodos de la Dinámica de sistemas	29
Aplicaciones de la Prospectiva Tecnológica en Sectores Clave	31
Temas emergentes, producción científica y autores más citados de la Prospectiva Tecnológica	34
Definición del problema	34
Criterios de elegibilidad	34
Fuentes de Información	35
Búsqueda de información	35
Selección de estudios	35
Revistas con mayor número de publicaciones	35
Número de citaciones por autor	37
Investigadores y Publicaciones Claves de Prospectiva Tecnológica	43
Panorama de la Prospectiva Tecnológica en América Latina	44
Conclusiones	46
Referencias	48
Anexo	63

Prólogo

Vivimos una época en la que el cambio tecnológico ha dejado de ser un fenómeno gradual para convertirse en una fuerza transformadora que redefine la economía, la producción, el conocimiento y las formas de organización social. En este contexto, la capacidad prospectiva de comprender y orientar las trayectorias tecnológicas constituye una competencia estratégica para gobiernos, empresas, universidades y organizaciones comprometidas con el desarrollo. Desde esta perspectiva, la prospectiva tecnológica deja de ser un estudio académico para consolidarse como un instrumento fundamental para la toma de decisiones en escenarios de creciente complejidad e incertidumbre.

Con esta convicción, el **Centro de Estudios Prospectivos de Cuyo (CEP CUYO)** presenta la obra *“Descubrir para anticipar. Elementos y aplicaciones de la prospectiva tecnológica”*, una publicación que realiza una contribución significativa a la difusión y fortalecimiento de este campo de conocimiento en Iberoamérica. El libro ofrece una revisión sistemática de los principales enfoques de la prospectiva tecnológica, sus fundamentos conceptuales, su evolución histórica, sus métodos y herramientas, así como sus aplicaciones en ámbitos estratégicos de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Uno de los principales aportes de esta obra radica en su capacidad para integrar distintas tradiciones metodológicas —como Technology Foresight, Technology Forecasting, Technology Futures Analysis y la dinámica de sistemas— mostrando sus complementariedades y ámbitos de aplicación. Asimismo, incorpora una mirada actual sobre herramientas emergentes vinculadas a la inteligencia artificial, el análisis bibliométrico, la vigilancia tecnológica y la detección de señales débiles, evidenciando la permanente evolución de los Estudios de Futuros frente a los desafíos de la transformación digital.

Desde el **CEP CUYO** entendemos que fortalecer las capacidades prospectivas constituye una condición indispensable para promover procesos de innovación, diseñar políticas públicas de largo plazo y construir estrategias capaces de responder a las tendencias e incertidumbres del siglo XXI. La prospectiva tecnológica

no busca predecir el futuro, sino ampliar la comprensión de las alternativas posibles, identificar oportunidades emergentes y apoyar decisiones presentes con una visión estratégica de largo alcance.

Esta publicación refleja, además, uno de los propósitos centrales del Centro: promover la generación y difusión de conocimiento aplicado en prospectiva, contribuir a la formación de nuevas capacidades en América Latina y fortalecer el diálogo entre la academia, el sector público, el sector productivo y la sociedad. La producción de obras como esta forma parte de un esfuerzo institucional orientado a consolidar una comunidad de práctica comprometida con el pensamiento de futuro.

Finalmente, felicitamos a Eduardo David Chalapud Narváez, David Steven Agudelo Gutiérrez y Tobías Alfonso Parodi Camaño por el rigor académico, el compromiso y la dedicación reflejados en este trabajo. Estamos convencidos de que este libro se convertirá en una referencia de consulta tanto para investigadores y estudiantes como para responsables de políticas públicas, gestores de innovación y profesionales interesados en comprender el papel de la prospectiva tecnológica en los procesos de desarrollo. ■

Luis Ragno
Presidente

Javier Vitale
Director

Centro de Estudios Prospectivos de
Cuyo (CEP CUYO)
Mendoza, Argentina



Introducción

El ser humano, siempre ha tenido una inclinación por explorar los horizontes a largo plazo (Medina, 2023). Surgen así disciplinas que encuentran atractivo por lo desconocido y que influyen sobre la cientificidad del ingenio haciendo ilustrativos los pensamientos que han impulsado nuevas tecnologías (Marí, 2018). El desarrollo actual del concepto de Prospectiva Tecnológica se sitúa en el comienzo de la guerra fría y en el belicismo de Estados Unidos, permitiendo se emitan las primeras consideraciones de involucrar predicciones en ciencia y tecnología, a través del adelanto de nuevos métodos estadísticos, análisis de sistemas e investigación operativa (Miles, 2011).

En las décadas comprendidas entre 1950 y 1960, se desarrollan investigaciones con las cuales agencias gubernamentales y universidades consolidan los estudios de futuro con métodos que posteriormente son muy utilizados como la técnica Delphi y los grupos de enfoque (Hines, 2020; Medina et al., 2014).

El período de la Guerra Fría representa una época de intensa actividad intelectual en la formulación de escenarios de carácter tecnológico en el ámbito de la política internacional y sus implicaciones para el gobierno de Estados Unidos. Durante este tiempo, la industria militar experimenta un crecimiento significativo, respaldado por diversas organizaciones, entre las cuales, RAND Corporation, se destaca como pionera en el desarrollo de muchas herramientas de los modernos estudios de futuro y en la utilización de métodos de investigación, para la construcción de escenarios plausibles en la planificación castrense con la incorporación de expertos (Miles, 2011). Esta contribución, se convierte en un elemento crucial tanto en la planificación de la seguridad nacional como en estrategias comerciales (RAND Corporation, 1996).

Posteriormente, en la década de 1970, nacen los métodos de previsión más amplios donde se incorporan factores de carácter tecnológico, económico y sociopolítico. Aparece un nuevo enfoque que se convierte en un método de estudio de futuros más potente y popular como es la planificación por escenarios (Gordon et al., 2020). Los trabajos que se realizan en estos años fijan su atención no únicamente en la Prospectiva Tecnológica sino en cuestiones de planificación organizativa y toma de

decisiones vinculados a un entorno social más complejo (Medina et al., 2014).

Con el aumento de la incertidumbre y la complejidad de los entornos políticos, económicos, sociales y tecnológicos en las décadas de 1980 y 1990, los estudios de futuro se vinculan a las empresas en su práctica organizativa para adentrarse en procesos innovadores, solución de problemas globales y de políticas públicas (Rohrbeck & Kum, 2018). Se enriquecen los métodos de planificación a través de investigaciones y publicaciones encargadas de ocuparse de las características del mundo VICA (Volátil, incierto, complejo y ambiguo) para mejorar la previsión en nuevos acontecimientos y escenarios (Schwarz, 2024)

Posteriormente, y como un grupo independiente nace The Millenium Project, una organización que tiene su génesis en 1992 con el apoyo de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), en la que participan diversos futuristas y académicos de diferentes países. Su fundación y consolidación se inicia en 1996 con el apoyo de la Universidad de las Naciones Unidas, el instituto Smithsonian, Futures Group International y el Consejo Americano de la Organización de Naciones Unidas (ONU) (The Millenium Project, 2023).

La organización ha fomentado activamente la implementación de la inteligencia científica mediante la creación de una red de 75 nodos a nivel mundial (Medina, 2020; The Millennium Project, 2023). Este enfoque resulta de suma importancia en el contexto de la Prospectiva Tecnológica. Además, el proyecto se concibe con el propósito fundamental de recolectar y canalizar información de alcance global en relación con el desarrollo de futuros y su profunda influencia en los ámbitos tecnológicos, políticos y sociales. Su objetivo primordial es que, mediante la red de información de alcance global, facilite la generación de pronósticos de tecnología, identificación de temas cruciales, exploración de lecciones históricas y delineación de agendas para investigaciones futuras (Gordon & Glenn, 1994).

Entre los años 2000 y 2010, Los diferentes estudios de prospectiva generan una gran cantidad de información que estimula el conocimiento de procesos para el desarrollo sostenible, el medio ambiente, innovación, desarrollo tecnológico, políticas públicas, planificación tecnológica en el campo empresarial, megatendencias y la gestión de conocimiento en el campo de la planificación estratégica (Gordon et al., 2020). Se hace énfasis en nuevos fundamentos teóricos y metodológicos que involucran la previsión en la ciencia y la aplicación corporativa (Schwarz, 2024).

A partir del 2020, Los avances tecnológicos, la digitalización y el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) generan grandes datos útiles para los estudios de futuro. Su articulación ayuda a detectar en diversos sectores señales débiles involucradas con el desarrollo de diferentes áreas como: la transformación digital, metaverso, la automatización del trabajo, cambio climático, tecnologías verdes, diseño de ciudades inteligentes, renacimiento de la economía fundacional, la implementación y efectos de la economía circular, telemedicina, biología sintética, implicaciones éticas de la biotecnología, gobernanza y protección de la privacidad, influencia de IA en la educación y exploración espacial, entre otras.

Para explorar los conceptos anteriores, el presente texto está dividido en siete partes. En la primera parte, se distingue en las características más relevantes del enfoque Prospectiva Tecnológica y relata a través de una metodología mixta su historia, desarrollo y particularidades de enfoques específicos como: Technology Foresight, Technology Forecasting, Technology Futures Analysis (TFA) y dinámica de sistemas, relacionados en los planes, programas, proyectos y que se consideran forman parte estructural de la prospectiva totalmente desarrollada (Miles, 2011).

En la segunda parte, se abordan metodologías y herramientas más utilizadas a través del tiempo y que se configuran como elementos característicos de los Estudios de futuros.

Luego, en la tercera parte, se hace referencia a la aplicación de la Prospectiva Tecnológica a sectores clave fundamentales para el desarrollo económico y social en los diversos países donde se empleó.

Como parte esencial del manuscrito en la cuarta parte, y aplicando el modelo PRISMA a través de la plataforma Bibliometrix, se realiza un análisis bibliométrico para identificar temas emergentes en la actualidad, producción científica y autores con más citaciones en Prospectiva Tecnológica desde 1992 a 2025.

En la quinta parte, se menciona a los principales Investigadores y Publicaciones Claves de Prospectiva Tecnológica, autores referentes cuando se abordan en general los estudios de futuro y que han establecido alguna diferencia investigativa en el enfoque, en este apartado se tiene en cuenta la clasificación que realiza en su texto el Doctor Medina Vásquez (2020).

En la sexta parte, se brinda un pequeño panorama de la evolución de la Prospectiva Tecnológica en América Latina. Por último, se realizan conclusiones que fortalecen ampliamente lo aportado en la investigación. ■

Historia y desarrollo del enfoque de Prospectiva Tecnológica

Para llegar al concepto moderno de Prospectiva Tecnológica, es necesario evidenciar tres épocas diferentes, cada una de ellas diferenciadas por sus propios progresos de tipo tecnológico que han ocasionado impacto en la sociedad. La primera época, la compone la sociedad industrial que se manifiesta por un auge inusitado de la industrialización con el desarrollo de la maquina a vapor y la transición a la elaboración en masa. Esto alrededor del año 1800 (Linstone, 2011).

La segunda época, se remonta a la sociedad de la información en 1970, donde un grupo de investigadores se interesó por la aplicación de los métodos de análisis de futuro a la ciencia y la tecnología como apalancamiento de las fuentes de desarrollo tecnológico y ejecución de políticas de investigación (Irvine & Martin, 1984a). Destacándose por realizar análisis de fuentes de innovación con un carácter estratégico implementando herramientas de anticipación y descripción en programas de investigación a largo plazo (Miles, 2010). El término experimentó algunos cambios manados en el tiempo y que se relacionan con diferentes avances tecnológicos en diversos países, entre ellos Japón, quien en 1970 formó el sistema de Ciencia, Tecnología e innovación (CTI) para analizar oportunidades de mercado imitando innovaciones surgidas en países occidentales en las áreas de la electrónica y tecnología, a este sistema se lo denominó pronóstico tecnológico (Miles et al., 2017).

Posteriormente, en las décadas de 1980 y 1990, inicialmente se reconoció una diferencia en el concepto de Prospectiva Tecnológica y la previsión, mientras que la primera buscaba realizar conclusiones netamente probabilísticas sobre el futuro con acciones determinísticas, la segunda reconocía que el principio de causa y efecto establece que acciones del presente pueden llegar a moldear el futuro sin tener en cuenta las predicciones técnicas abordadas desde lo tecnológico. La Prospectiva Tecnológica tuvo aceptación en diferentes partes del mundo, donde se desarrolló programas específicos inclinados a dejar a un lado la previsión de tendencias en estudios académicos para fomentar la utilización de sus herramientas en programas e iniciativas de Ciencia, Tecnología e innovación, fundamentando, transiciones masivas de países que habían optado por modelos económicos de planeación centralizados a economías regidas por el mercado y de acceso a tecnologías disruptivas.

En la década de los 90, se consolida la utilización de un grupo de herramientas derivadas de los estudios de futuro, que ayudaron a identificar las acciones relevantes y las decisiones sobre lo prioritario en los sistemas de innovación que se establecían (Ena et al., 2017). Posteriormente, en la primera década del siglo veintiuno, se consolida la tercera época que se la conoce como la sociedad molecular (Linstone, 2011), donde se hace posible el desarrollo de redes de expertos, Clusters y plataformas tecnológicas como iniciativas estratégicas tendientes al manejo del conocimiento de los sistemas de innovación y tanques de pensamiento que influyen en la adopción de políticas públicas sectoriales como parte del desarrollo económico, político y social (Martin, 2010).

En los últimos diez años, se puede inferir una cuarta época, cuando el concepto cobra fuerza y es adoptado por los países de Europa, Asia y Latinoamérica, como un enfoque de los estudios de futuro que soporta la orientación de la planificación estratégica y la generación de políticas públicas tendientes a mejorar los aspectos de innovación al desarrollar plataformas tecnológicas, IA y patrones de mercado que instituyen una revolución digital económica (Suzana et al., 2024).

Por otra parte, el marco conceptual de la Prospectiva Tecnológica ha evolucionado de manera conjunta con los cambios presentados por la sociedad. En un principio, la prospectiva, destacaba por ser netamente exploratoria basada en consultorías y aplicaciones en empresas de nivel gubernamental. Posteriormente, con el aprovechamiento de las redes como fuente alterna de conocimiento y el desarrollo de las capacidades tecnológicas, se construye el pensamiento de largo plazo y análisis holístico que se relaciona con la convergencia de las tecnologías de información, se organizan análisis sobre ideas que se refieren a términos tecno económicos, sistemas de innovación y tecnologías revolucionarias que se vuelven norma para influir en la toma de decisiones (Miles, 2011). Lo anterior, derivó en la consecución de lo que para esta investigación se consideran enfoques específicos, los cuáles cada uno de ellos aborda el enfoque general desde una perspectiva vinculante, acorde a las herramientas y metodologías utilizadas para llevar a cabo los estudios de prospectiva.

Las particularidades que desarrollan los enfoques específicos Technology Foresight (TF), Technology Forecasting (TFC), Technology Futures Analysis (TFA) y la dinámica de sistemas (DM) se relatan a continuación:

Technology Foresight

Technology Foresight (TF), es un enfoque que se desprende de la Prospectiva Tecnológica y está diseñada en el campo de los estudios de futuro para explorar la

ciencia, la tecnología y la innovación (CTI). Se encarga de estimular el pensamiento estratégico y la toma de decisiones informadas. El enfoque se consolidó en Japón y ha sido adoptado por diferentes países, su articulación a los sistemas de CTI funciona como un proceso importante que ayuda en la identificación de escenarios estratégicos a los que pueden llevar los progresos científicos y tecnológicos. La práctica del enfoque se ha fomentado en diversas empresas y organizaciones fomentando la importancia de la planeación estratégica en la organización interna. TF envuelve acciones de los estudios de futuro, como la toma de decisiones informadas, estimación de riesgos, identificación de oportunidades e interacción con la formulación de políticas públicas. Este enfoque fomenta procesos participativos entre ecosistemas empresariales, tecnológicos y de innovación (Trujillo, 2025).

La práctica de TF tiene incidencia en diferentes sectores y organizaciones tanto locales, regionales, nacionales e internacionales. Su característica esencial es la búsqueda de espacios e ideas de futuro para la anticipación de necesidades estratégicas en la creación, desarrollo, implementación y adquisición de nuevas tecnologías. Además, permite desplegar información para la transferencia tecnológica e incide en los programas establecidos para este fin tanto en el orden nacional como supranacional.

Los métodos implementados por TF, se adaptan al cambiante entorno global, su flexibilidad permite detectar oportunidades para el crecimiento productivo y aprovechar al máximo toda la información disponible para contribuir a la realización de entornos tecnológicos que repercutan de manera positiva en las estructuras industriales y comerciales (Porter, 2010).

TF, tiene mayor énfasis en la innovación tecnológica, se constituye como un fundamento para el conocimiento e influencia estratégica en la elaboración de las políticas públicas, al igual que se emplea una visión conjunta con participación de diferentes actores. Su vinculación se deriva en la ejecución de acciones para la realización de transferencia tecnológica estratégica en organizaciones involucradas en el mercado (Miles, 2011).

Technology Forecasting

Technology forecasting (TFC), es parte fundamental de la construcción social de futuro, no se puede separar de la realidad ni de la historia. Generalmente depende de compromisos o ideas que no son necesariamente técnicas, pero las emplea en prácticas sociales compartidas que reflejan historias e intereses para crear imágenes de futuro. Inicialmente forecasting estuvo vinculado a sistemas racionales de toma

de decisiones a través de la “política” aritmética como método riguroso de medición y análisis hacia el desarrollo de la estadística para el estudio de la sociedad y problemas sociales a largo plazo (Miles, 1979).

Según Bell (2004), el primer futurista que incorpora TFC a estudios determinados fue Marie Jean Antoine Nicholas Caritat, Marqués de Condorcet, quien se dedicó a la creación y difusión del conocimiento, la evolución científica y técnica en el largo plazo. Algunas de sus previsiones más importantes realizadas a través de ideas utópicas, la estadística y la probabilidad fueron: el pronóstico de la democracia liberal, educación pública, seguridad social para ancianos, viudas y huérfanos, libertad de expresión, igualdad de derechos y el fin de la esclavitud.

De acuerdo con Medina (2020), algunas fuentes importantes de divulgación de TFC han sido las revistas científicas *Technological Forecasting and Social Change* e *International Journal of Forecasting*. La primera, fomenta la publicación de investigaciones muy bien arbitradas, sobre el ejercicio de la metodología y la práctica del enfoque específico y su aplicación en sectores ambientales, sociales, tecnológico, innovación y la gestión empresarial (Kajikawa et al., 2022). La revista ve la luz en 1969 aprovechando la coyuntura de los avances tecnológicos bajo el nombre de *Technological forecasting* y en 1970 obtiene su nombre presente. En la actualidad, los editores en jefe son Scott Cunningham y Mei-chi Hu (Kraus et al., 2023).

Por su parte, la segunda revista, actualmente, es una publicación del *International Institute of Forecasters (IIF)* fundado en 1982. Está dedicada a la publicación de artículos que cubren aspectos sobre forecasting que ayuden a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica. Su énfasis aborda los estudios empíricos, evaluación, investigación y metodología en mejorar la práctica de la predicción. La revista nace en 1985, siendo los primeros editores Spyros Makridakis y J. Scott Armstrong (IIF, 2023).

TFC, está ligado a la investigación y al desarrollo tecnológico, lo cual constituye en un fuerte auge de conocimiento, como una herramienta de predicción de nuevas características y procedimientos que forman parte de técnicas o herramientas cuantificables para generar niveles de rendimiento y capacidades tecnológicas organizacionales, con datos relevantes para prepararse a los cambios que se presentan (Martino, 1983; Medina, 2020).

De acuerdo con Lenz (1985), TFC posee los siguientes roles que en la práctica ayudan a tomar decisiones:

1. Establece fronteras que no se pueden superar

2. Define tasas de avance prácticas
3. Detalla alternativas u opciones disponibles
4. Expone las posibilidades que pueden
5. Ofrece un punto de referencia para el plan, su factibilidad o su ajuste debido a cambios
6. Suministra alertas tempranas para anticiparse a actividades futuras.

Technology Futures Analysis

El enfoque Technology Futures Analysis (TFA), es un campo dinámico que ha emergido como respuesta a la necesidad de entender y anticipar las complejas interacciones entre la tecnología, la sociedad y la economía. Reúne mecanismos para identificar áreas de investigación con potencial estratégico contribuyendo a la solución de problemas prácticos muy importantes (Irvine & Martin, 1984b). Aunque no tiene un origen específico en una única escuela de pensamiento o institución, su desarrollo ha sido moldeado por diversas disciplinas a lo largo del tiempo (Eerola & Miles, 2011).

La TFA hace referencia a un proceso para identificar o desarrollar futuros tecnológicos donde se describe el auge, rendimiento, características o impactos de una tecnología regidos por algunas fuerzas o elementos que afectan y surgen de sus actividades (Porter et al., 2004). Además, puede proporcionar herramientas analíticas para identificar condiciones, problemas actuales y promover el pensamiento sobre cambios tecnológicos, sus tendencias y eventos futuros potenciales (Ciarli et al., 2016).

Este campo interdisciplinario se nutre de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la economía y la sociología, entre otras disciplinas. Cada una de estas áreas contribuye con perspectivas únicas para comprender cómo las innovaciones tecnológicas pueden impactar en el futuro. Por ejemplo, la ciencia y la tecnología aportan conocimientos técnicos, la economía ofrece herramientas para evaluar la viabilidad financiera de las tecnologías emergentes y la sociología considera cómo estas innovaciones afectarán a las comunidades con las interacciones sociales.

A lo largo del tiempo, diversos académicos y profesionales han contribuido al desarrollo del concepto. Al respecto Porter (2010), la describe como: previsión tecnológica, inteligencia tecnológica, elaboración de hojas de ruta o evaluación tecnológicas, aportando teorías, métodos y enfoques específicos. No obstante, la naturaleza interdisciplinaria del campo significa que no existe una única escuela de pensamiento o una institución exclusiva que pueda ser identificada como su origen.

La evolución de TFA ha sido impulsada por la necesidad de organizaciones e investigadores de comprender y adaptarse a un entorno tecnológico en constante

cambio. Al estudiar las tendencias tecnológicas actuales, las organizaciones pueden tomar decisiones informadas sobre inversiones, desarrollar estrategias de innovación y anticipar posibles desafíos y oportunidades sistémicas u holísticas futuras. Aunque pueden existir programas académicos y centros de investigación dedicados a la Prospectiva Tecnológica, su desarrollo depende de la colaboración entre diversas disciplinas y la adaptación constante a las cambiantes dinámicas tecnológicas y sociales.

Dinámica de sistemas (DM)

Los orígenes de la dinámica de sistemas (DM) se remontan al trabajo pionero de Jay W. Forrester en la década de 1950. Forrester, pretendió mejorar la eficiencia de los sistemas industriales y económicos e introdujo el concepto de “retroalimentación” como herramienta para modelar la complejidad de las interacciones. Además, comprendió que el sistema y la interacción de los distintos componentes determinan su comportamiento y que, pequeños cambios en un componente pueden tener efectos significativos en todo el sistema (Forrester, 2007).

De acuerdo con Sterman (2002), DM tiene tres componentes teóricos básicos: la teoría de sistemas, la cibernética y la teoría de la retroalimentación. Su propósito es representar la importancia de las variables interconectadas en el largo plazo, utilizando diagramas de bucles causales para visualizar las relaciones causa – efecto. La retroalimentación ya sea positiva o negativa, es esencial para comprender como pequeños cambios generan efectos significativos en el tiempo (Forrester, 1987).

Además, DM, ha integrado aportaciones de diversas disciplinas, desde la biología a la gestión empresarial, sus predecesores desarrollaron modelos más sofisticados para abordar la incertidumbre y la adaptación (Hughes, 2010), en la actualidad sigue teniendo un impacto significativo en diversos campos, como la gestión empresarial y la ciencia medioambiental. En la primera, tiene gran utilidad para modelar la dinámica de las cadenas de suministro y diseñar estrategias que optimicen el rendimiento de las organizaciones. En la segunda, ayuda a la comprensión de los ecosistemas y el diseño de estrategias de sostenibilidad, los cuales se vieron incluidos por primera vez en el informe de los “límites del crecimiento” (Meadows et al., 1972). Siendo la base para diversos estudios, entre ellos, el de Gaya Herrington que actualiza la investigación comparando el modelo World3 con datos empíricos actuales (Herrington, 2021). Además, en política pública, la dinámica de sistemas se ha utilizado para analizar el impacto de las decisiones públicas en la sociedad y diseñar principios que promuevan la sostenibilidad a largo plazo, ayudando a los responsables políticos a desarrollar mejores estrategias para gestionarlos.

En la década del 70, se organiza una reunión auspiciada por el club de Roma en la ciudad de Río de Janeiro, donde se expone y trata de validar el modelo sistémico World III, sin respuesta positiva por parte de los asistentes latinoamericanos. Ello derivó en la decisión de encomendar a la Fundación Bariloche la construcción del Modelo Mundial Latinoamericano que dirija su atención en la instauración de cambios radicales en la estructura social e internacional. Esto implicaba abogar por la igualdad y la participación plena de todos en las decisiones sociales, así como regular el consumo material y el crecimiento económico sostenible.

El enfoque matemático de la Fundación Bariloche, conocido como el modelo, se erige como una herramienta esencial para evaluar la factibilidad de sus metas. Su núcleo de análisis se enfoca en atender las necesidades humanas fundamentales, tales como alimentación, vivienda, educación y atención médica, consideradas como elementos esenciales para lograr la completa integración de los individuos en la sociedad. Este modelo, concebido con flexibilidad intrínseca, permite ajustes según sea necesario, con el propósito de impulsar la equidad social y económica, preservar la libertad individual y fomentar la sostenibilidad (Fundación Bariloche, 1976).

Por último y de acuerdo con Medina (2020), el campo de la dinámica de sistemas ha desempeñado un papel fundamental en la comprensión y el tratamiento de los retos globales. Su marco integral se ha utilizado para modelar y simular sistemas sociales y, a su vez, en diseñar soluciones sostenibles para problemas complejos. A medida que el mundo siga afrontando retos complejos, la dinámica de sistemas seguirá siendo, sin duda, una herramienta inestimable en la búsqueda del desarrollo sostenible. ■

Importancia de la Prospectiva Tecnológica en la innovación

La Prospectiva Tecnológica es un medio para lograr el fortalecimiento de los sistemas de innovación a largo plazo, sus enfoques específicos apoyan el auge de la ciencia, conectividad y el nacimiento de una conciencia colaborativa para la adaptación de tendencias futuras (Könnölä et al., 2007). Dentro de los ecosistemas creados para el manejo de la innovación, la Prospectiva Tecnológica aplica, actualiza y supervisa técnicas que ayudan a la creatividad informada, comprensión argumentada de señales innovadoras débiles que en casos especiales pueden impedir que surja una tecnología (Sacio et al., 2016).

Por otra parte, Miles et al. (2017), consideraron que el enfoque contribuye a identificar la evolución de los cambios en el conocimiento científico que originan las demandas sociales y prioriza las oportunidades tecnológicas. Esto sucedió cuando se dio el paso de economías altamente planificadas y centralizadas a economías de mercado, contribuyendo a su auge innovador. Es así que mediante la aplicación de los enfoques específicos se toman decisiones colectivas y participativas, para configurar un futuro teniendo en cuenta la ciencia y tecnología como demanda de las necesidades empresariales e individuales (Mao et al., 2020; Vecchiato et al., 2024). Además, la importancia de la Prospectiva Tecnológica en la innovación facilita el diálogo entre empresas y clientes, configurando tendencias y nuevas ideas para desarrollar oportunidades de negocio que el mercado sugiere, permitiendo que las organizaciones tomen decisiones para la innovación cada vez más informadas. Por último, la Prospectiva Tecnológica no solo configura la previsión de los desarrollos tecnológicos e innovación, sino que enriquece muchos procesos y métodos que impulsan la evaluación y el pronóstico de tendencias (Miles, 2011). ■

Tabla 1. Características generales de los enfoques específicos

Aspectos	Technology Foresight	Technology Forecasting	Technology Futures Analysis	Dinámica de sistemas
Incidencia Metodológica	Auge participativo, carácter exploratorio y de principios estratégicos	Utiliza series históricas para análisis cuantitativo y predictivo	La integran múltiples métodos	Utiliza simulaciones y modelación cuantitativa
Tiempo	10 a 30 años	5 a 15 años	Depende del objeto de la investigación	Depende del objeto de la investigación
Similitud	Todos los enfoques específicos buscan la anticipación tecnológica para la toma de decisiones estratégicas. Se fundamenta a través de herramientas cualitativas y cuantitativas			
Diferencias	Visión Conjunta, análisis desde la participación de diferentes actores	Su análisis surge a partir de tendencias cuantificables y datos relevantes	Realiza análisis estratégico desde los sistémico y holístico	Ayuda a la simulación de decisiones y cumplimientos estratégicos
Aplicación contemporánea	Permite la planificación tecnológica en políticas públicas y en agendas de carácter innovador	Realiza pronóstico tecnológico para análisis de competencia y mercado	Priorización de mercados y sistemas de evaluación de impactos	Evaluación a largo plazo de políticas tecnológicas aplicadas

Fuente: Elaboración Propia

Métodos y Herramientas de los enfoques específicos

Los enfoques específicos relacionados anteriormente, poseen herramientas que de una u otra manera definen la practicidad de la Prospectiva Tecnológica y su impacto al momento de la obtención de resultados, estrategias y dinámicas en diversos sectores. Los métodos que se relatan a continuación son diversos y flexibles, pueden encajar para dar origen a varios estudios de muchas áreas del conocimiento y tienen la connotación de ser los más utilizados. Pero, existen muchos más, donde su aplicación es necesaria para esbozar los caminos de futuro.

Technology Foresight

Método Delphi

Es precisamente que, en la RAND Corporation los investigadores Norman Dalkey y Olaf Helmer (1962), desarrollan la técnica Delphi, un método cuyo objetivo es obtener la opinión de un grupo de expertos, lograr el consenso y alcanzar un informe representativo en conjunto.

Los encuentros Delphi son válidos en su integración porque están compuestos por especialistas multidisciplinares que comparten información para construir escenarios comunes a través de una serie de preguntas específicas sobre un tema determinado que producen consenso y disenso (Calleo & Pilla, 2023).

De acuerdo con Helmer (1967), el método Delphi, hace un juicio eficaz e intuitivo de los participantes resaltando sus características y experiencia, dejando a un lado por un momento predicciones realizadas en la teoría. Los expertos inducen al conocimiento de la realidad más sistemático y constructivo posible.

Para Gordon (1992), existen dos elementos que marcan un estudio Delphi, que en particular son: en primer lugar, el anonimato, que permite eliminar obstáculos, influencia o comparaciones de conceptos, definiciones e ideas de los unos a los otros; y en segundo lugar la retroalimentación de las opiniones que se gesten enfocadas en aspectos relevantes y significativos. De acuerdo con Rowe & Wright (1999), a los elementos anteriores se deben añadir la iteración, la agregación estadística, las

opiniones y los juicios de los expertos. Stone & Busby (2005), sostienen algo muy particular y es que el método Delphi está soportado a través de algunos componentes filosóficos que se originan en Locke, Leibniz, Kant, Hegel y Singer, sus fundamentos más precisos se pueden encontrar en el libro de Linstone & Turoff (2002).

El primer experimento que se tiene noticia se realizó a un panel de siete expertos, donde se enviaron cinco cuestionarios semanales con algunos intervalos, que se complementaron con entrevistas a cada uno, la característica esencial de esta primera experiencia es observar los efectos del bombardeo estratégico de objetivos industriales en Estados Unidos (Dalkey & Helmer, 1962).

Actualmente, El método Delphi ha ido experimentando algunos cambios de acuerdo con la evolución de la red. El objetivo del avance es sustituir los antiguos formularios de papel para la disminución de tiempo en la utilización y resultados del método. El principio de esa evolución sucedió en Finlandia donde en 1996 se desarrolló un software que se denominó “Professional Delphi Scan”, y en 2008 a su tercera versión variando su nombre a eDelfoi. En el 2004, la agencia de proyectos avanzados para la defensa (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA), financió un proyecto que pretendía aumentar la velocidad y eficiencia en la recopilación de información en entornos de gran incertidumbre, El objetivo de la subvención era mejorar la velocidad del Delphi en tiempo real, si esto fuera posible (Gordon, 2009); (Gordon & Todorova, 2019).

El desarrollo del nuevo Delphi en tiempo real facilita la participación sincrónica y asincrónica, finalización rápida y ofrece eficiencia, transparencia y flexibilidad. Por lo general se logra un consenso en la participación por parte de los expertos en tres a cuatro rondas, a través de la retroalimentación de la información que se recopila y exponiéndola a los participantes (Gordon, 2009). La técnica genera un pronóstico hacia posibles eventos futuros, tiempo de posible ocurrencia y en gran medida su probabilidad (Gordon & Hayward, 1968).

Construcción de escenarios

La palabra “escenario” tiene su origen en el ámbito artístico, particularmente en el teatro. En este contexto, un escenario no se refiere a predicciones, especulaciones ni ciencia ficción, sino que representa visualmente el posible desarrollo futuro en un momento específico. Además, un escenario implica una interpretación de los acontecimientos actuales y su influencia potencial en el futuro, convirtiéndose en una herramienta valiosa para la reflexión y la proyección del porvenir (Cramer et al., 2016).

En la década de 1960 Rand Corporation, más específicamente Herman Kahn (1965),

desarrolla el tema de los escenarios, sobre todo, en su implementación de estrategia militar y en la recreación de futuras batallas (Medina & Cruz, 2022). Según Ringland & Young (2012), Kahn aplicó el análisis de sistemas para identificar ciertos mecanismos y patrones que guardan una estrecha relación con el futuro. Empleó eventos hipotéticos que, de alguna manera, conducen a un “futuro presente” o a la capacidad de “pensar lo impensable”.

En 1987, se estableció la organización Global Business Network (GBN), con el propósito de revitalizar el método de escenarios y evaluar su desarrollo. Uno de los fundadores de esta organización escribió el primer texto sobre planificación de escenarios titulado “The art of the long view: Paths to strategic insight for yourself and your company” (Schwartz, 1996), en el que logró presentar un enfoque integral que consta de siete pasos para la creación de escenarios.

Posteriormente, Van der Heijden (2005) desarrolló el concepto de “lenguaje colectivo” como el núcleo del método, con el objetivo de que los escenarios fueran liderados por los responsables y guías en la toma de decisiones estratégicas para lograr una anticipación más rápida.

En su consolidación se encuentran distintas clases de escenarios, de los cuales se distinguen 4 tipos: a) exploratorios; se centran en el examen de tendencias pasadas y presentes para distinguir señales que afectan los futuros probables. b) normativos; se enfocan en un futuro deseable para incidir en su realización y cumplimiento. c) decisionales; promueven los cambios del entorno a través de decisiones informadas y d) predictivos; identifican un resultado preferible impulsado por variables relacionadas (Chalapud et al., 2025).

Análisis estructural

El análisis estructural es un método que se enfoca en realizar una visión de tipo colectivo, para identificar variables clave, pertinentes, determinantes y estratégicas de un sistema a través de la utilización de una matriz de doble entrada. El análisis estructural es efectivo con la participación de expertos y actores que permiten la evolución del sistema y la toma de decisiones en la escogencia de variables más influyentes y dependientes. Generalmente se utiliza el software desarrollado por Michel Godet denominado matriz de Impactos Cruzados- Multiplicación aplicada a una clasificación (MICMAC) (Camelo & Treviño, 2014).

Inteligencia Artificial aplicada a Foresight

Es de utilidad establecer el grado de importancia que en los últimos años tiene la Inteligencia Artificial (IA) en la aplicación de Technology Foresight. En este particular

la IA influye en el seguimiento y exploración de la anticipación de tendencias, sobre todo en la recopilación y suministro de datos que sean confiables para identificar señales débiles (Trujillo, 2025). Con ello se esboza una mayor capacidad de predicción permitiendo la toma de decisiones y la planeación mucho más informada (Mohamed et al., 2020). Por otra parte, para que la IA sea eficiente al momento de incorporarse al análisis de los estudios de futuro, es necesario recurrir a la integración de la ciencia de datos, esto permite reducir la incertidumbre combinando sus resultados con métodos cuantitativos y cualitativos (Rozanec et al., 2023). Su utilidad radica en la detección de alertas tempranas para ayudar hacer frente a las organizaciones en las nuevas realidades, estimulando los procesos de innovación estratégica para una adaptación al futuro (Trujillo, 2020).

Big data

La integración del Big Data con Technology Foresight, mejora el análisis de grandes datos y a la vez complejos. Su influencia radica en el cambio hacia enfoques en el uso de algoritmos de aprendizaje como la regresión lineal, regresión logística, árboles de decisión, redes neuronales artificiales y el aprendizaje profundo (Muraro & Salles, 2024), por lo tanto, mejora la comunicación entre partes interesadas y los conocimientos sobre el futuro tecnológico (Aldulaimi et al., 2022). Además, la utilización de Big Data ayuda a las organizaciones aprovechar las oportunidades y evitar amenazas, convirtiendo los datos en información procesable, identificando tendencias, patrones y posibles escenarios futuros, lo que permite la toma de decisiones y una planeación estratégica informada e identifica megatendencias para la innovación (Salih et al., 2024)

Vigilancia y pronóstico tecnológico

“En el contexto histórico, las prácticas de vigilancia y pronóstico tecnológico se intensificaron en los años 90, especialmente en países como Japón, Francia y España, desde 3 perspectivas diferentes. Durante este período, las organizaciones comenzaron a reconocer la importancia de anticipar y adaptarse a los avances tecnológicos para mantener su competitividad” (Pérez, N, entrevista estructurada, 20 de febrero de 2024).

Históricamente, las primeras prácticas se pueden situar en el desarrollo de la Revolución industrial, el rápido avance de la tecnología y su destacada participación en el mejoramiento productivo, motivó la necesidad de entender los cambios que se venían dando a través de monitorear el mercado en sus progresos. Según Mokyr (1992), este período fue pionero para el desarrollo y posterior utilización de métodos sistemáticos de observación y análisis de temas cruciales e innovaciones tecnológicas.

El progreso tecnológico presentado en la guerra fría hizo que la inversión en

investigación y desarrollo aumentara significativamente, la creación de nuevas tecnologías con una gran inversión estatal generó algunas ventajas competitivas sobre todo en cuanto a la seguridad y defensa se refiere (Mazzucato, 2022).

Con el desarrollo de las primeras computadoras y la expansión de la electrónica, se incrementó la necesidad de analizar la utilización e implementación de tecnologías emergentes, esto a medida que las empresas comenzaron a desarrollar departamentos especializados en investigación y desarrollo y sistemas de monitoreo de competidores y tecnologías (Freeman & Soete, 1997).

Entre la década del de 1960 y 1970, se profundizan las teorías de gestión de conocimiento e innovación, las cuales destacan la importancia del aprendizaje organizacional que influyen en los fundamentos teóricos de vigilancia y pronóstico tecnológico (Nonaka & Takeuchi, 1999).

En las últimas tres décadas del siglo XX se incrementó la competencia internacional y la interdependencia de los mercados, se comienza a imponer la globalización como argumento posmoderno de la información, surge la interconexión de los mercados que impulsa a que las empresas y el Estado monitoreen constantemente los avances de la información, se facilita la difusión de tecnologías, pero también aumentó la competencia, incentivando mucho más las prácticas de vigilancia tecnológica para mantenerse competitivos (Porter & Kramer, 2011).

Finalmente, mediante el auge del internet y las tecnologías de la información y comunicación (TIC) a fines de la década de 1990, se transforma la capacidad de recopilar, analizar y distribuir información, el auge del big data y las técnicas avanzadas de análisis de datos en la década de 2010 permitió un seguimiento y pronóstico tecnológico mucho más sofisticado.

Existen otras herramientas alternativas propuestas para llevar a cabo la vigilancia y el pronóstico tecnológico, “entre ellas se encuentran, el análisis de redes sociales, la inteligencia colectiva y la inteligencia artificial. Estas herramientas ofrecen la ventaja de procesar grandes cantidades de datos de manera eficiente, pero la fiabilidad y calidad de la información de alguna manera se coloca en duda” (Pérez, N, entrevista estructurada, 20 de febrero de 2024).

Análisis de patentes

El análisis de patentes se considera una herramienta fundamental para comprender y orientar el desarrollo tecnológico y la innovación. Forma parte integral del sistema científico y tecnológico, actuando como su materia prima. Además, respalda los procesos de evaluación científica y tecnológica mediante la identificación de fortalezas

y debilidades, a través del examen de los registros de invenciones e innovaciones realizadas en un país, organización o área específica. Por otra parte, las patentes contienen información tecnológica reciente de gran valor, que permite observar la incidencia de la innovación en individuos, organizaciones, centros de investigación o países. Constituyen un producto esencial de la actividad tecnológica, y el análisis de patentes es crucial para identificar tendencias y desarrollar estrategias tecnológicas y de nuevos productos (Díaz & de Moya, 2008; Gómez, 2018; Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva, 2015).

Análisis de señales débiles

De acuerdo con Park y Cho (2017), las señales débiles se perciben como problemas extraños o rarezas que influyen en la anticipación de cambios en el futuro. También se pueden vislumbrar como signos o ruidos de cambio de paradigma, tendencias futuras o discontinuidades en eventos recurrentes o imprevistos (Saritas & Smith, 2011).

Las señales débiles se articulan como una herramienta que plantea algunas particularidades que a simple vista no se pueden observar ni valorar, pero que de alguna manera su suceso sería altamente impactante y relevante (Mujica, 2020).

Technology forecasting

Tecnología Pronosticada

Siguiendo la conceptualización de Martino (1993), el proceso de Tecnología Pronosticada se compone de siete elementos fundamentales:

En primer elemento, se vincula con un enfoque técnico característico, que resuelve problemas específicos o cumple funciones particulares. En ocasiones, se agrupa con tecnologías que comparten rasgos clave o una serie de ‘enfoques técnicos’ que desempeñan la misma función. En consecuencia, el pronóstico debe discernir claramente este enfoque técnico de otras posibles alternativas aplicables a la misma tecnología. El segundo elemento del pronóstico establece el período durante el cual se espera que se materialice. El tercer elemento se enfoca en las características de rendimiento de la tecnología, medida cuantitativa de su capacidad para satisfacer las necesidades del usuario. El cuarto y último elemento está relacionado con la probabilidad de alcanzar el nivel de funcionamiento previamente establecido en el inicio del proceso de pronóstico tecnológico. Esto se logra a través del análisis de datos y diagnósticos pertinentes.”

Lo anterior conforma la idea de que la tecnología pronosticada determina la

maximización de ganancias o minimizar las pérdidas en una condición de futuro, su predicción tecnológica puede ampliarse hacia sectores económicos, empresariales, políticos o meteorológicos.

Bibliometría

Históricamente la bibliometría comenzó en la década de 1950, haciendo un recuento muy sencillo de algunos trabajos publicados (Wallin, 2005). En la actualidad la bibliometría es una ciencia que facilita el estudio de manera cuantitativa de las características más relevantes de temas que ofrecen las producciones científicas de los cuáles para su medición existen gran variedad de indicadores, cuyo objeto destaca entre otros: la cuantificación de actividades generadas en diferentes campos científicos, la productividad de científicos, autores e instituciones, redes de colaboración y visibilidad de las publicaciones (Vicente et al., 2014).

Su popularidad avanza por la disposición en el mercado de Software bibliométrico como Gephi, Leximancer, VOSviewer, Bibliometrix y bases de datos como Scopus o Web of Science, además ayuda al manejo de grandes datos científicos y marca la relevancia de la verificación de un alto impacto en las investigaciones, el reconocimiento de tendencias emergentes o una estructura intelectual dominante (Donthu, Kumar, Mukherjee, et al., 2021; Donthu, Kumar, Pattnaik, et al., 2021).

Minería de datos

La minería de datos y análisis predictivo se utiliza en diferentes disciplinas para la búsqueda de modelos o patrones de información que pueden estar ocultos en las bases de datos, identificando las relaciones entre variables en eventos pasados, conocer dichas relaciones y encontrar tendencias que expliquen el comportamiento de datos que predicen resultados a futuro. Dentro de los métodos más conocidos se encuentran tablas y árboles de decisión, regresión lineal y M5 (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva, 2015; Salazar & Girón, 2021).

Modelado econométrico

En Prospectiva, la econometría forma parte de las herramientas de predicción cuantitativa de fenómenos que se basan en la construcción de modelos económicos y sociales, se fundamentan en bases de datos y que con la utilización de la estadística permiten el análisis y estudio de los acontecimientos que se presentan a nivel de evaluación de políticas y pronósticos. Los datos que se utilizan pueden ser estructurados como series de tiempo o de corte transversal (Gándara & Hernández, 2024).

Technology Futures Analysis (TFA)

Modelos causales

Los modelos causales, son herramientas analíticas que ayudan a identificar como los cambios en una variable, influyen de manera directa o indirecta a otras variables determinadas o no en un sistema complejo, pueden ser representados por diagramas o modelos matemáticos que ayudan a predecir el impacto generado en un sistema, lo cual deriva en el diseño de estrategias que ayudan a optimizar los resultados (Martino, 1997).

Análisis demográfico

El análisis demográfico es una herramienta utilizada para estudiar la estructura, distribución y dinámica de las poblaciones. Se centra en aspectos como la composición por edades, géneros, ubicaciones geográficas y otros factores que influyen en diversas áreas, incluyendo el desarrollo tecnológico y las políticas públicas (United Nations, 2022).

Ciclos económicos

El análisis de los ciclos económicos dentro de la TFA, está fundamentado en estudios históricos y modelos econométricos, que ayudan a identificar los períodos, fluctuaciones en la actividad económica y que no son periódicos, sus fases de expansión y convulsión se repiten en economías de mercado (Hidalgo, 2024).

Este enfoque se complementa con la consideración de factores externos como políticas gubernamentales, cambios demográficos, avances científicos y tecnológicos. Schumpeter (1997) destacó la relación entre innovación y ciclos económicos, sugiriendo que las oleadas de innovación tecnológica coinciden con las fases de expansión económica. Utilizar esta herramienta en TFA proporciona una perspectiva integral que ayuda a anticipar y planificar estrategias para la adopción de nuevas tecnologías, asegurando que estas se ordenen con las fases económicas y maximicen sus beneficios en términos de desarrollo sostenible y competitividad industrial (Scapolo et al., 2008).

Sustitución tecnológica

La sustitución tecnológica, como herramienta metodológica en el análisis TFA, se refiere al proceso mediante el cual una tecnología nueva y superior reemplaza a una tecnología existente. Este concepto es crucial para entender cómo las innovaciones tecnológicas pueden transformar industrias y mercados. En el contexto del TFA, la sustitución tecnológica se analiza para prever cuáles tecnologías emergentes tienen el potencial de desplazar a las actuales, qué factores aceleran o ralentizan este proceso, y cómo las empresas pueden prepararse para estos cambios. Este análisis incluye la evaluación de la madurez tecnológica, las barreras de entrada, los costos

de adopción y los beneficios esperados de la nueva tecnología en comparación con la existente (Levitt, 1965).

La aplicación de la sustitución tecnológica en TFA implica el uso de modelos y teorías como el modelo de difusión de innovaciones (Rogers, 1983) o la teoría de ciclos de vida de productos (Levitt, 1965). Estas herramientas permiten mapear el proceso de adopción de nuevas tecnologías y predecir los posibles escenarios de sustitución. Las curvas de adopción tecnológica ayudan a visualizar cómo y cuándo un nuevo conjunto de técnicas puede alcanzar una masa crítica y superar a la preexistente. Comprender estos patrones es esencial para desarrollar estrategias de innovación y sostenibilidad, permitiendo a las empresas anticipar cambios y adaptar sus operaciones para mantener su competitividad en el mercado (Aghion et al., 2021).

Análisis de impacto de tendencias

El Análisis de Impacto de Tendencias (AIT) es una herramienta clave en la investigación de futuros que utiliza patrones e indicadores históricos para proyectar expectativas en sectores como la economía y la tecnología. En lugar de predicciones exactas, ofrece una variedad de posibles resultados basados en eventos futuros, utilizando modelos de simulación y técnicas de dinámica de sistemas para anticipar desarrollos (T. Gordon, 1994; Mannucci et al., 2023; Vitale, 2024).

Las tendencias reflejan cambios hacia la innovación, influenciando la sociedad y dando lugar a nuevas preferencias y contra preferencias. Pueden surgir de “señales débiles” que se consolidan con el tiempo. Además, están interconectadas y pueden transformarse en megatendencias debido a pequeños cambios que alteran su naturaleza (Bilas et al., 2022; Cramer et al., 2016).

TRIZ

TRIZ (Teoría para Resolver Problemas de Inventiva), es una metodología desarrollada por Genrich Altshuller a partir de la década de 1940. Basada en la premisa de que los elementos para resolver problemas inventivos son universales, TRIZ permite identificar y aplicar sistemáticamente estas nociones para desarrollar soluciones innovadoras. Las técnicas principales de TRIZ incluyen la identificación y resolución de contradicciones (ya sean físicas o técnicas), el uso de 40 principios inventivos (como la segmentación, combinación, flexibilidad, y dinámicas), y la matriz de contradicciones que guía la selección de principios adecuados para resolver problemas (Córdova, 2008).

TRIZ, también identifica patrones de evolución de sistemas técnicos para prever desarrollos futuros e innovar sistemáticamente. Utiliza el análisis funcional para

descomponer procedimientos, mejorar funciones críticas, y promover el concepto del “ideal final resultado” (IFR), buscando la solución más simple y eficiente utilizando los recursos disponibles (Guarneros et al., 2023). Esta metodología se aplica en diversas industrias, como la ingeniería, manufactura tecnológica y gestión empresarial, facilitando la innovación sistemática y la resolución creativa de problemas complejos.

Brainstorming

Brainstorming, es una técnica metodológica fundamental en el Análisis de Futuros Tecnológicos (TFA) que se utiliza para generar una amplia gama de ideas y soluciones innovadoras a través de la colaboración en grupo. Esta técnica, popularizada por Alex Osborn en la década de 1950, fomenta un ambiente libre de críticas donde los participantes pueden proponer ideas creativas sin restricciones. En el contexto del TFA, Brainstorming permite a los expertos y stakeholders explorar posibles futuros tecnológicos, identificar tendencias emergentes y evaluar diversas soluciones potenciales para enfrentar desafíos futuros. La generación de ideas en un entorno colaborativo puede ayudar a descubrir oportunidades y amenazas que no se evidencian a través de otros métodos más estructurados (Osborn, 1979; Phaal et al., 2006).

Durante una sesión de Brainstorming en el marco del TFA, se aplican varias reglas básicas para maximizar la creatividad y la eficacia del proceso. Estas incluyen la deferencia de juicio, el fomento de conocimientos inusuales, la combinación y mejora de opiniones, y la generación de una gran cantidad de ideas en poco tiempo. Esta técnica se puede complementar con herramientas adicionales de TFA, como los escenarios y las matrices de impacto. Las sesiones de Brainstorming no solo ayudan a identificar posibles innovaciones tecnológicas, sino que también promueven el pensamiento lateral y la colaboración interdisciplinaria, lo que es crucial para abordar la complejidad y la incertidumbre en la planificación futura (Phaal et al., 2006; VanGundy, 1985)

Backcasting

Backcasting, es una metodología prospectiva originada en los años setenta, surge como respuesta a los retos ambientales y la urgencia de reducir la dependencia de combustibles fósiles. Promovido por líderes como Amory Lovins y John Robinson, este enfoque se caracteriza por su capacidad de concebir un futuro ideal y luego trazar un camino retrospectivo hacia el presente.

A diferencia de la proyección lineal de las tendencias actuales hacia el futuro, el backcasting facilita la identificación y planificación de acciones estratégicas necesarias para alcanzar visiones preferidas, integrando factores ambientales, tecnológicos y

sociales clave (Holmberg & Robert, 2000; Quist, 2016; Vitale, 2024).

En el marco del TFA, backcasting emerge como una herramienta metodológica esencial. Permite a investigadores y planificadores explorar y evaluar distintos escenarios futuros, mejorando la capacidad para anticipar y prepararse frente a cambios tecnológicos y sociales significativos. La integración de la herramienta, no solo impulsa la innovación y la sostenibilidad en diversos sectores industriales, sino que también facilita la formulación de políticas y estrategias que promuevan un desarrollo resiliente y orientado al futuro (Giddens, 2009; Quist & Vergragt, 2006).

Creativity Workshops

Creativity Workshops, son sesiones estructuradas que tienen como objetivo principal estimular la creatividad y la innovación mediante el uso de técnicas y ejercicios específicos. Estas sesiones, generalmente dirigidas por expertos, buscan liberar el potencial de los participantes al explorar nuevas ideas y desarrollar soluciones innovadoras para problemas complejos.

En el marco del TFA, Creativity Workshops se destaca como herramienta esencial para generar y evaluar ideas disruptivas que pueden influir significativamente en futuros tecnológicos. Al integrar estos talleres, los investigadores pueden explorar diversos escenarios futuros y evaluar la viabilidad de innovaciones emergentes, mejorando así la capacidad de anticipación y preparación ante los cambios tecnológicos y sociales en evolución (Amabile, 1983; Scott & Bruce, 1994).

Creativity Workshops, no solo estimulan la generación de ideas originales, sino que también promueven un ambiente colaborativo donde diversas perspectivas pueden converger para abordar desafíos futuros. Estas sesiones se apoyan en técnicas como Brainstorming y la visualización creativa, facilitando la exploración de posibles futuros deseables y la identificación de soluciones innovadoras. Además, es fundamentales para integrar la creatividad sistemática en la planificación estratégica, permitiendo a los participantes considerar múltiples escenarios futuros y desarrollar estrategias adaptativas que promuevan la sostenibilidad y la competitividad en un entorno cambiante (Gregersen et al., 2019; Sawyer, 2003)

Focus Group

Focus Group, es una herramienta de investigación cualitativa diseñadas para recopilar datos en profundidad sobre percepciones, opiniones y experiencias de un grupo específico de personas. Este ejercicio, facilitado por un moderador, reúne a participantes con características demográficas similares para discutir temas predeterminados de manera estructurada o semiestructurada. En el contexto del

TFA, Focus Group desempeña un papel crucial al proporcionar insights sobre cómo las tecnologías emergentes son percibidas y qué impactos potenciales podrían tener en la sociedad, la economía y el medio ambiente (Krueger & Casey, 2008).

Además, la metodología permite a los investigadores explorar las percepciones y las expectativas de los participantes, identificar preocupaciones anticipadas y evaluar la aceptación de posibles innovaciones tecnológicas. Al integrar Focus Group en el TFA, se fortalece la capacidad para capturar una gama amplia de opiniones y perspectivas que pueden informar la planificación estratégica y la toma de decisiones en diversos sectores (Morgan, 1997). Esto no solo facilita una comprensión más holística de los posibles futuros tecnológicos, sino que también ayuda a desarrollar estrategias más robustas y adaptativas que promuevan un desarrollo tecnológico sostenible y éticamente informado (Sawyer, 2003).

Dinámica de sistemas (DM)

Rueda de futuros

La rueda de futuros se estructura a través de una lluvia de ideas conducentes a pensar en el futuro, posibles cambios potenciales y sus impactos. Se produce una visualización gráfica de las consecuencias indirectas, directas, secundarias y terciarias, facilitando la recopilación de datos de tendencias (Glenn, 2009; Kouri et al., 2020). Se elabora un mapa visual para fomentar el pensamiento complejo y de carácter sistemático, generando una comprensión más organizada de los fenómenos (Benckendorff, 2008).

De acuerdo con Bengston (2016), la rueda de futuros tiene las siguientes características: 1. facilidad de aprendizaje para quienes participan de la herramienta; 2. adaptabilidad para afrontar diferentes necesidades; 3. generación de un mapa visual característico, donde se simbolice los cambios potenciales e impactos del sistema; 4. pensamiento sistémico no lineal, y 5. escalabilidad en diferentes grupos.

Narrativas del futuro o prototipos de Ciencia Ficción

Las narrativas del futuro, utiliza la ciencia ficción para explorar escenarios que contengan contextos tecnológicos o empresariales, pueden componer futuros posibles distópicos que de alguna manera deben evitarse. Las historias logran ser creadas por científicos, ingenieros o público en general. Además, se incorpora en su realización realidad virtual o mixta (Bell et al., 2013). En este mismo contexto, es necesario apuntar que las historias de ciencia ficción que se elaboran son prototipos para pensar de forma humanista acerca de la tecnología, donde se tiene en cuenta los futuros usuarios y desarrolladores de productos para generar técnicas normativas

que ayuden a estimular el debate (Burnam, 2015).

Para Bennett & Johnson (2016), el método utiliza cinco pasos básicos para contextualizar una narrativa relacionada con el futuro: 1. Elegir la ciencia y construir el mundo; 2. Generar un punto de inflexión científica; 3. Interactuar de manera recíproca la innovación y la sociedad; 4. Identificar la influencia de los humanos en la fabricación de la narrativa, y 5. Reflexionar sobre el aprendizaje.

Framework Three Horizons

La metodología Framework Three Horizons, contiene un enfoque participativo, la cual considera el alcance de horizontes de futuro a largo plazo en contextos diferentes, dando apertura a múltiples actores (Collste et al., 2019). Además, ayuda a visualizar el cambio de los sistemas complejos y los paradigmas implícitos en ellos, bajo tres horizontes que generalmente se superponen (Curry & Hodgson, 2008). De acuerdo con Stewart et al. (2023), los horizontes tienen el siguiente alcance:

Horizonte 1 (H1), llamado Dominante, representa el estado actual de las normas y cultura de un sistema que todavía no está influenciado por situaciones externas que puedan marcar una tendencia; Horizonte 2 (H2), denominado de influencia, donde se esboza espacios corporativos y empresariales que se enfrentan al influjo de los cambios y se obtienen resultados radicales modificando H1, y Horizonte 3 (H3), nombrado como transformación a largo plazo, simboliza un espacio visionario que se espera surja en sustitución a H1 con una adaptación radical a los cambios externos. ■

Aplicaciones de la Prospectiva Tecnológica en Sectores Clave

La incidencia de los estudios y aplicaciones de Prospectiva Tecnológica en muchos países y sectores han originado la implementación de políticas públicas tendientes a fortalecer los sistemas de ciencia, tecnología e innovación. A continuación, se relatan algunas experiencias que se han formulado a través de la realización de estudios estratégicos en sectores de relevancia como la Industria 4.0, manufactura avanzada, energías renovables, transición ecológica, Biotecnología y salud.

Actualmente, existen trabajos muy importantes que relacionan el futuro tecnológico, creación de escenarios y la proyección industrial acompañado con la manufactura avanzada. Bai et al. (2020), plantean que, en los próximos 15 a 20 años, la integración de IA y sistemas ciberfísicos permitirá la creación de fábricas inteligentes completamente autónomas. Con posibles escenarios que incluyan la convergencia entre manufactura aditiva y materiales avanzados, impulsando la personalización de productos sin incrementar costos. Además, analizan las tecnologías de la industria 4.0 en términos de aplicación e implicaciones para la sostenibilidad. Presentan un marco de medidas basado en los objetivos de desarrollo sostenible a través del método híbrido de decisión, permitiendo evaluar eficazmente las tecnologías en función de su rendimiento y aplicación sostenible. Del mismo modo, el desarrollo de redes 6G y la computación cuántica podrían optimizar la toma de decisiones en tiempo real en entornos industriales (Kluczek et al., 2021).

Las implicaciones estratégicas de estos avances requieren que las empresas adopten un enfoque prospectivo en la digitalización, con énfasis en la capacitación del talento humano y el fortalecimiento de infraestructuras tecnológicas. En el mismo sentido, Barreto et al. (2017), señalan que las políticas públicas estructuradas a través de la influencia de los estudios de futuro serán clave para acelerar, adaptarse y crear un marco común para la adopción de estas innovaciones, mientras que, advierten sobre la necesidad de reformular los modelos educativos para preparar a la fuerza laboral del futuro.

En el ámbito de la gamificación Bittencourt et al. (2020), presentan al final de su investigación las principales perspectivas del uso de la gamificación de futuros deseables en la industria 4.0. La primera de ellas contempla la introducción de nuevas tecnologías y productos en donde la metodología puede ser muy útil. Pues

permite la inmersión del cliente en entornos de realidad virtual. Esto combinado con la capacidad de experimentar el producto antes de comprarlo. La segunda, está relacionada con la satisfacción del empleado al realizar sus tareas mediante la adopción de técnicas de juego haciendo viable el aumento del flujo de trabajo, la eficiencia, la productividad y la satisfacción general de los empleados. La tercera es el uso de enfoques prospectivos en la formación de estudiantes y empleados resaltando la capacidad que brinda para convertir ideas y temas complejos en conceptos comprensibles para personas sin formación en la materia.

En otro sentido, existen estudios de caso, uno de ellos relacionado con el uso del análisis estructural y morfológico para la Prospectiva Tecnológica en el Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria ASTIN, del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. El cuál, analiza la variables tecnológicas y escenarios futuros para la especialización en materiales o procesos capaces de fortalecer la industria de Colombia. Identificando que ASTIN debe centrarse en dos escenarios uno basado en tecnologías en biopolímeros y en el otro, el uso de materiales inteligentes, aportando al país un avance tecnológico (Sólis et al., 2019).

Gonzalez et al.(2020), desde el ámbito educativo, utilizan métodos como Delphi y Brainstorming para identificar el grado de conocimiento y a la vez la impartición de enseñanza en cuánto al significado y relevancia de la industria 4.0. Se determina que algunas de las habilidades que convertirían a los estudiantes en actores más eficientes una vez se vinculen al mercado laboral son: habilidades de enseñanza-aprendizaje (aprendizaje activo, matemáticas y pensamiento crítico), innovación (creatividad, pensamiento analítico e innovación) y tecnología (diseño, instalación y mantenimiento).

Con respecto a las energías renovables, las tendencias futuras apuntan a la digitalización de las redes energéticas, la descentralización del suministro y la mejora en la eficiencia de almacenamiento energético. Estudios recientes, como el de Smil (2022), sugieren que la combinación de inteligencia artificial y sistemas de gestión energética permitirá optimizar la producción y distribución de energía renovable. Escenarios futuros plantean un incremento en la adopción de energía solar de tercera generación, con células fotovoltaicas orgánicas que mejoran la eficiencia de conversión (Rahman et al., 2021). Del mismo modo, la evolución del almacenamiento en baterías de estado sólido y el hidrógeno verde facilitarán la descarbonización de sectores difíciles de electrificar, como el transporte marítimo y la industria pesada (Sayem et al., 2022).

Las implicaciones estratégicas de estos avances sugieren que las políticas públicas

deberán enfocarse en la creación de marcos regulatorios que favorezcan la inversión en infraestructura renovable y la innovación tecnológica. Además, la formación de talento humano capacitado en energías limpias será un factor clave para la transición ecológica (Asmelash & Gorini, 2021).

Zahraoui et al. (2021) presentan un estudio para el caso de Argelia, describiendo la situación energética actual y el estado de las energías renovables (ER). Mediante análisis de tendencias analizan políticas y programas que buscan aumentar la generación de energía. Una de las conclusiones más importantes es que las ER, han demostrado ser una solución viable a la actual crisis energética del país debido a la fluctuación de los precios de los combustibles en el mercado internacional.

En otro sentido, mediante la aplicación de minería de datos y tecnología pronosticada se han investigado determinantes clave para impactar la expansión de la energía eólica en Ghana. Se consideraron 4 variables las cuáles son: políticas, crecimiento poblacional, capacidad eólica y tasa de electrificación. Los resultados reflejan que los determinantes estudiados para Ghana son estadísticamente significativos, de igual forma si el país pretende aumentar los niveles de producción de energía debe tener en cuenta estos determinantes para identificar cómo pueden contribuir al rápido despliegue de las energías renovables y alcanzar dicho objetivo e incluso superarlo (Sun et al., 2020).

Por otra parte, Rahman et al. (2021), aplican herramientas de Prospectiva Tecnológica en sistemas híbridos de energía renovable para la predicción energética mediante redes neuronales artificiales. Mencionan que los modelos obtenidos han aportado nuevas experiencias con un gran potencial en el aprendizaje de series de tiempo complejas en sistemas de energía.

Por último, Mediante la utilización de Escenarios, Zhu et al. (2020), anticiparon que la modificación genética en los alimentos permitirá erradicar enfermedades hereditarias y a la vez mejorar la longevidad humana. También, se incluirá el uso extendido de órganos bioimpresos en 3D para trasplantes personalizados, el desarrollo de biosensores implantables que monitoricen la salud en tiempo real y la combinación de terapia génica con edición epigenética para el tratamiento de enfermedades complejas. Asimismo, la evolución de la bioinformática y el acceso masivo a datos genómicos potenciarán la prevención de enfermedades antes de su manifestación clínica (Topol, 2019). ■

Temas emergentes, producción científica y autores más citados de la Prospectiva Tecnológica

Para vigilar los temas emergentes de la Prospectiva Tecnológica, se emplea la plataforma Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017), diseñada para la observación y visualización de datos. Esta herramienta permite el análisis cuantitativo referente a un número amplio de publicaciones a través de Biblioshiny. Lo anterior concede a que los investigadores puedan realizar la verificación de tendencias, temas emergentes y áreas de colaboración, entre otros (Campina et al., 2024). El capítulo se centra en conocer temas emergentes de la Prospectiva Tecnológica, mediante los protocolos del método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), cuyo conjunto de normas permite la obtención de una lista verificada de temáticas, las cuáles garantizan en alguna medida que los resultados de las revisiones sistemáticas sean objetivas y completas (Page et al., 2021).

Definición del problema

El problema que se pretende abordar está relacionado con la pregunta ¿Cuáles son los temas emergentes que la Prospectiva Tecnológica viene abordando desde 1992 hasta 2025? ¿y de qué forma se está llevando a cabo? Es necesario aclarar que, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se encuentran temas y criterios que vienen siendo utilizados en la actualidad principalmente por su metodología, aunque estos hayan sido creados hace algunos años. Por esa razón se justifica el análisis de 33 años.

Criterios de elegibilidad

Cómo lo determina la metodología, se especificó criterios de inclusión y exclusión de documentos para lograr el análisis final. En el criterio de inclusión, se especificó que en los juicios de búsqueda de la información se incluyeran tanto en el título, como en las palabras clave, variables que se relacionan directamente con temas emergentes en Prospectiva Tecnológica: Previsión tecnológica, métodos, enfoques emergentes, orientación hacia el futuro, futuros tecnológicos, foresight y prospectiva. Se incluyen artículos, conferencias publicadas, capítulos de libro y revisiones, esta medida, permitió revisar documentos relevantes desde 1992 a 2025. Por otra parte, en el criterio de exclusión no se tiene en cuenta las conferencias, documentos cortos,

fe de erratas y editoriales.

Fuentes de Información

El análisis de los temas emergentes de Prospectiva Tecnológica se realiza bajo los criterios de las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS). El gran número de revistas que las conforman, su gran volumen de datos y prestigio con criterios precisos, son características fundamentales para optar por su utilización, además, su operacionalidad permite la evaluación de la ciencia a través de índices y mediciones abriendo un gran espacio de generación de conocimiento para el investigador (Codina et al., 2020).

Búsqueda de información

Para llevar a cabo la indagación de información se elaboró una ecuación de búsqueda en idioma inglés y garantizar un resultado mucho más rico en información. Se contempló términos y palabras clave relacionados con la definición del problema que se conectaron con operadores Boleanos AND y OR. La ecuación de búsqueda es la siguiente: (“technology foresight” OR “technological foresight”) AND (“method*” OR “approach” OR “framework”) AND (“emerging” OR “new” OR “novel” OR “future-oriented”).

Selección de estudios

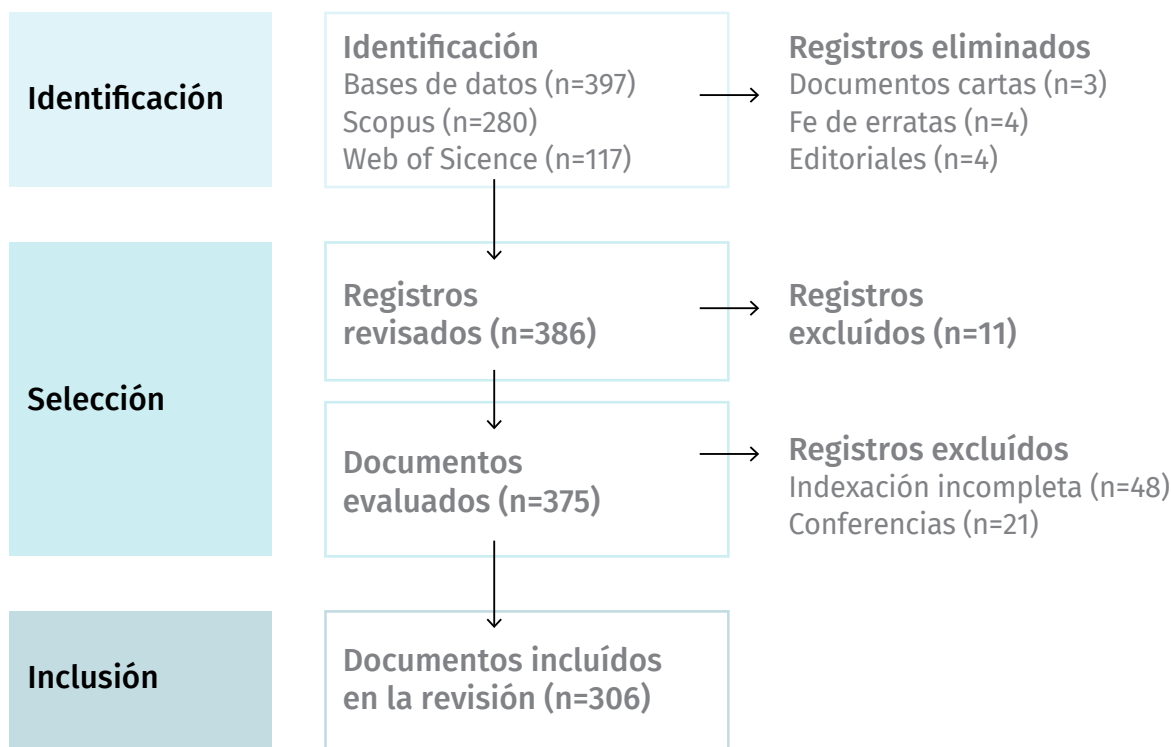
Una vez aplicada la ecuación de búsqueda en la base de datos Scopus se obtuvo 280 registros y en WoS 117 para un total de 397 documentos, los cuales fueron sometidos a revisión con los criterios de inclusión y exclusión seleccionados para fomentar su operacionalidad e incidencia en la investigación. Finalmente se tiene una muestra definitiva de 306 documentos para su análisis (*ver Figura 1*).

El período analizado, comprende los años 1992 – 2025. De acuerdo con la figura 2, se visualiza que existe, un aumento de publicaciones en los años comprendidos entre 2014 a 2017, siendo este último año el de mayor producción de documentos científicos con temas emergentes derivados de la investigación y aplicación de las metodologías (*ver Figura 2*).

Revistas con mayor número de publicaciones

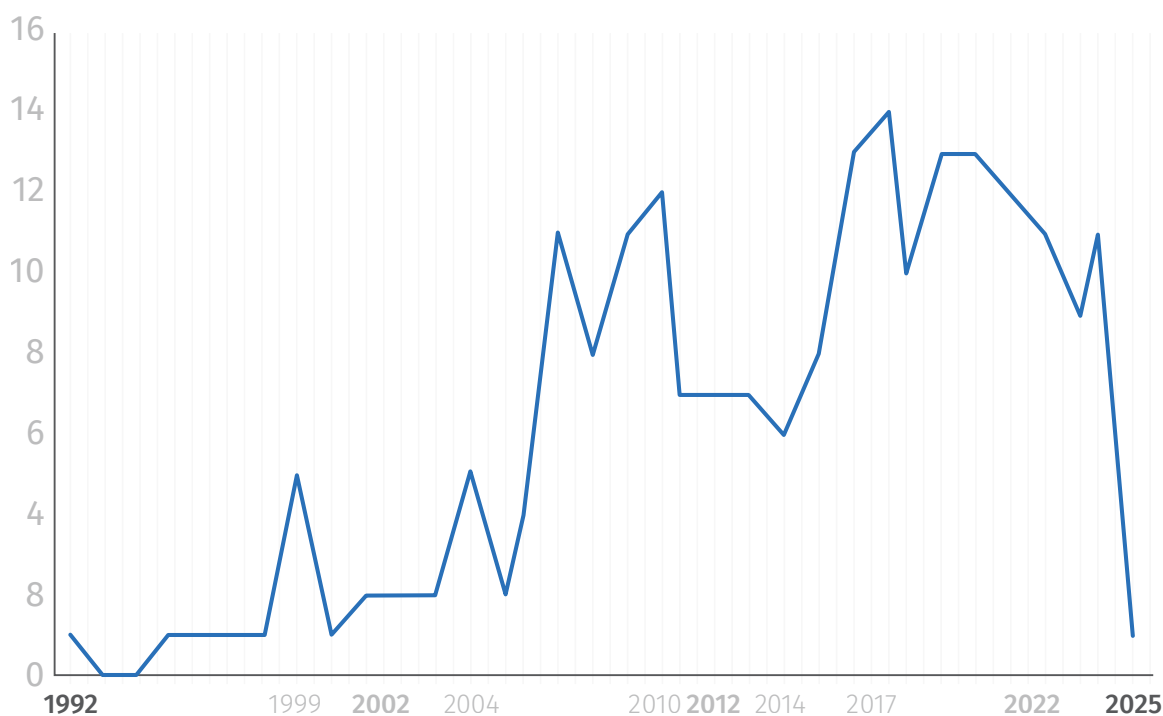
En la figura 3, se detalla el Top 10 de las revistas que más han publicado artículos referentes a temas emergentes de la Prospectiva Tecnológica, como se esperaba, la primera de ellas es Technological forecasting and social change con 23 publicaciones, seguido de Foresight con 14, Futures con 8 e International Journal of Foresight and Innovation Policy con 5, Foresight and STI Governance; International Journal of

Figura 1. Diagrama del proceso de identificación y selección (PRISMA)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2. Producción Científica con criterios de inclusión por año (1992-2025)



Fuente: Elaboración Propia a través de Bibliometrix

Technology Intelligence and Planning; Scientometrics con 3 publicaciones cada una y con 2 publicaciones, 13th International Conference of the Association Information and Management 2008 - AIM 2008; 2016 International Conference on Engineering, Technology and Innovation/ Ieee International Technology Management Conference; 2016 – Proceedings, European Journal of Futures Research, respectivamente.

Figura 3. Top 10 Revistas con mayor número de publicaciones



Fuente: Elaboración Propia a través de Bibliometrix

Número de citaciones por autor

La tabla 2, presenta los principales autores con más citaciones en referencia con el tema de investigación entre 1992 y 2025, se esbozan 10 artículos, autores, año de publicación, nombre de la revista donde fueron publicados, DOI y el número de citaciones en el tiempo (*ver Tabla 2*).

Tabla 2. Información de los principales autores y citaciones (1992-2025)

Año	Autor	Revista	DOI	Número de Citaciones
2006	Su, H., & Lee, P.	Sciencimetrics	10.1007/s11192-010-0259-8	710
2008	Neij, L.	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2008.02.029	266
1999	Martin, B., & Johnston, R.	Technological forecasting and social change	10.1016/S0040-1625(98)00022-5	190
2010	Miles, I.	Technological forecasting and social change	10.1016/j.techfore.2010.07.016	175
2010	Martin, B.	Technological forecasting and social change	10.1016/j.techfore.2010.06.009	166
2003	Jovane, F., Koren, Y., & Boër, C.	CIRP Annals. - Manufacturing. Technology	10.1016/S0007-8506(07)60203-0	161
2007	Doukas, H., Andreas, B., & Psarras, J.	European Journal of Operational Research	10.1016/j.ejor.2006.08.037	142
1999	Grupp, H., & Linstone, H.	Technological forecasting and social change	10.1016/S0040-1625(98)00039-0	135
1998	Avison, D., Wood, A., Vidgen, R., & Wood, J	Information Technology & People	10.1108/09593849810218319	109
2006	Drew, S	European Journal of Innovation Management	10.1108/14601060610678121	87

Fuente: Elaboración Propia

El análisis que se estructura en los diez artículos y autores más citados establece varias áreas de estudio y particularidades de sectores de los países de origen. Para comenzar se puede mencionar que, Su & Lee (2010), en su estudio bibliométrico, analiza, el uso de mallas de co-currencia de palabras clave y de redes sociales e instituye cómo la asignación eficiente de recursos de I+D en los países en desarrollo mejora su área de investigación, ciencia y tecnología en escenarios de futuro. Por su parte el estudio de Neij (2008), trata de predecir la reducción de costes de futuras tecnologías energéticas, con el fin de validar un entorno de toma de decisiones de

inversión. A través de Prospectiva Tecnológica anticipa la forma de reducir el impacto ambiental con el uso de tecnologías como sistemas solares fotovoltaicos, las centrales termosolares, pilas de combustible y la energía nuclear avanzada.

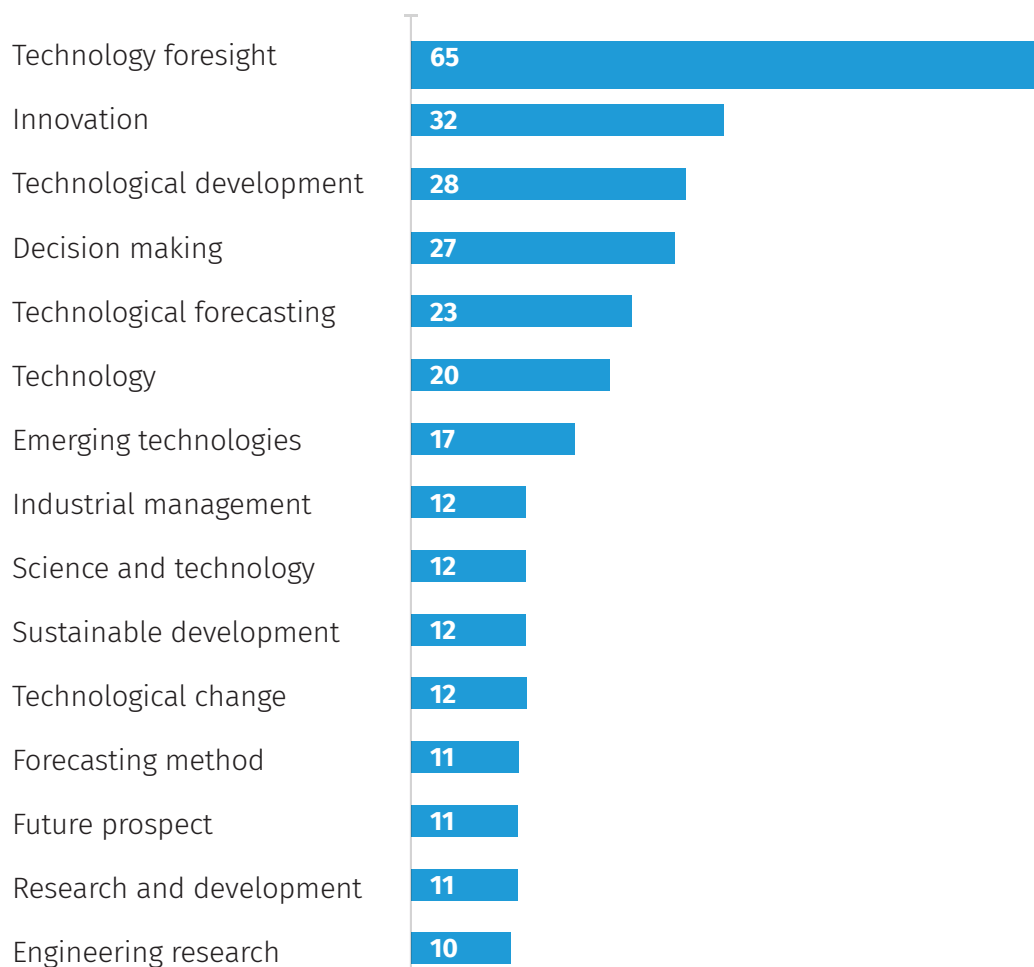
De la misma Manera Martín & Johnston (1999), explora la importancia de la Prospectiva Tecnológica para mejorar los sistemas de innovación, inclusive en medio de las restricciones presupuestarias y coloca como ejemplos a Gran Bretaña, Australia y Nueva Zelanda. Además, parte de la premisa que la Prospectiva Tecnológica mejora los sistemas nacionales de innovación, sobre todo, influye en la toma de decisiones informadas en ciencia y tecnología, e impulsa, la satisfacción de necesidades económicas, políticas, sociales a largo plazo y el fomento de la colaboración. A través de un análisis del cambio de terminología con el paso de anticipación a previsión y luego a Prospectiva Tecnológica, Miles (2010), aborda algunos conceptos de ciencia, tecnología e innovación, con enfoques participativos, colaboración con diversos sectores para dar un significado a la investigación y financiación de proyectos, con esto es necesario, orientar el abordaje de cuestiones sociales y económicas más amplias.

En el mismo sentido, el artículo de Martin (2010), relata el inicio y el camino que el término prospectiva a recorrido en el sistema científico – tecnológico. Además, enfatiza que la Prospectiva Tecnológica se acopla a diferentes regiones de acuerdo con las políticas públicas y temas emergentes locales. Para ello, hace énfasis en el contexto histórico, estudio de caso, terminología, definiciones adaptables al entorno, prospectiva comparativa y reflexiones académicas.

Mediante el examen de cambios históricos, tecnológicos y la evolución de teorías de la producción, Jovane et al. (2003), exploran el tema de la Prospectiva Tecnológica, su relación con la producción sostenible, productos amigables con el medio ambiente y su integración con la nano y biotecnología. Por otro lado, Doukas et al. (2007), priorizan y evalúan tecnologías energéticas adaptadas a contextos nacionales identificando tendencias emergentes que contribuyan al desarrollo sostenible mediante Prospectiva Tecnológica y la utilización de la herramienta de toma de decisiones multicriterio (TDM).

El trabajo de investigación de Grupp & Linstone (1999), explora la evolución de las actividades concernientes a la Prospectiva Tecnológica y como se pasa de aplicar modelos cuantitativos a cualitativos entre ellos el método Delphi. Lo anterior determinó una conclusión metodológica hacia la consideración de la prospectiva como fortaleza para investigar futuros tecnológicos potenciales de la ciencia para la toma de decisiones informadas. En cambio, en su artículo, Avison et al. (1998),

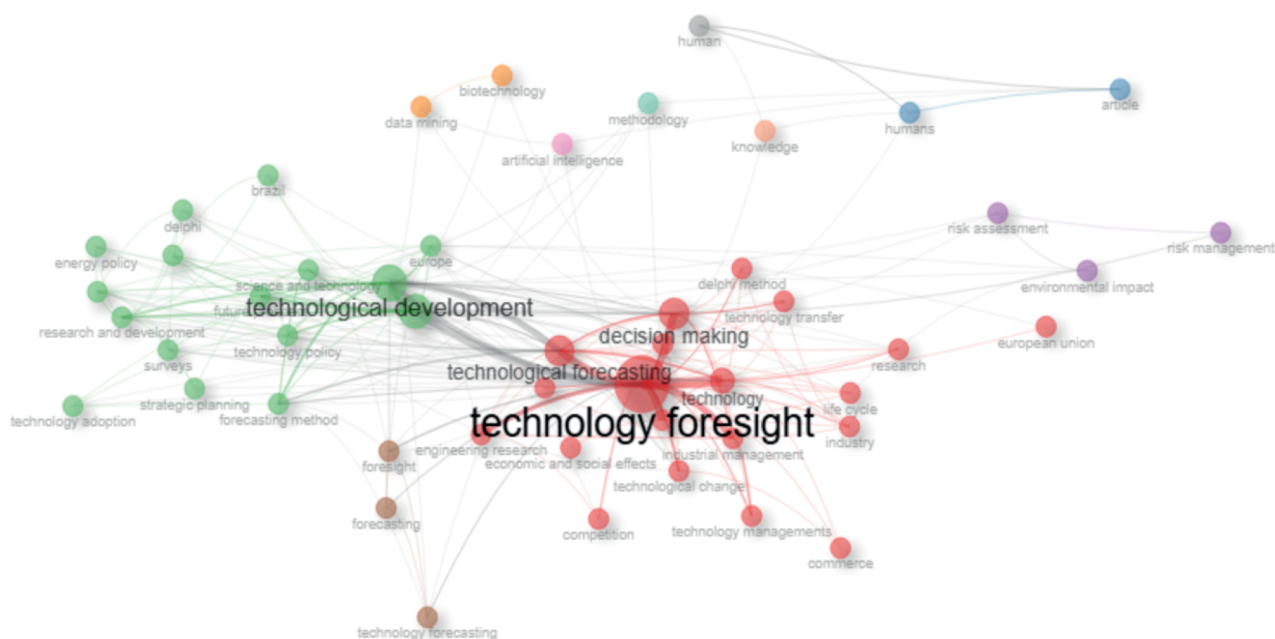
Figura 5. Palabras clave más relevantes – Co-currencia



Fuente: Elaboración Propia a través de Bibliometrix

Igualmente, en la figura 6, se visualizan conceptos clave que se encuentran conectados y son utilizados en la literatura científica, su relevancia se identifica al ser conceptos que se trabajan de hace muchos años por su agrupación temática, Clusters y términos que poseen mayor relación entre ellos y son los siguientes: Prospectiva Tecnológica, previsión tecnológica, toma de decisiones y desarrollo tecnológico (*ver Figura 6*).

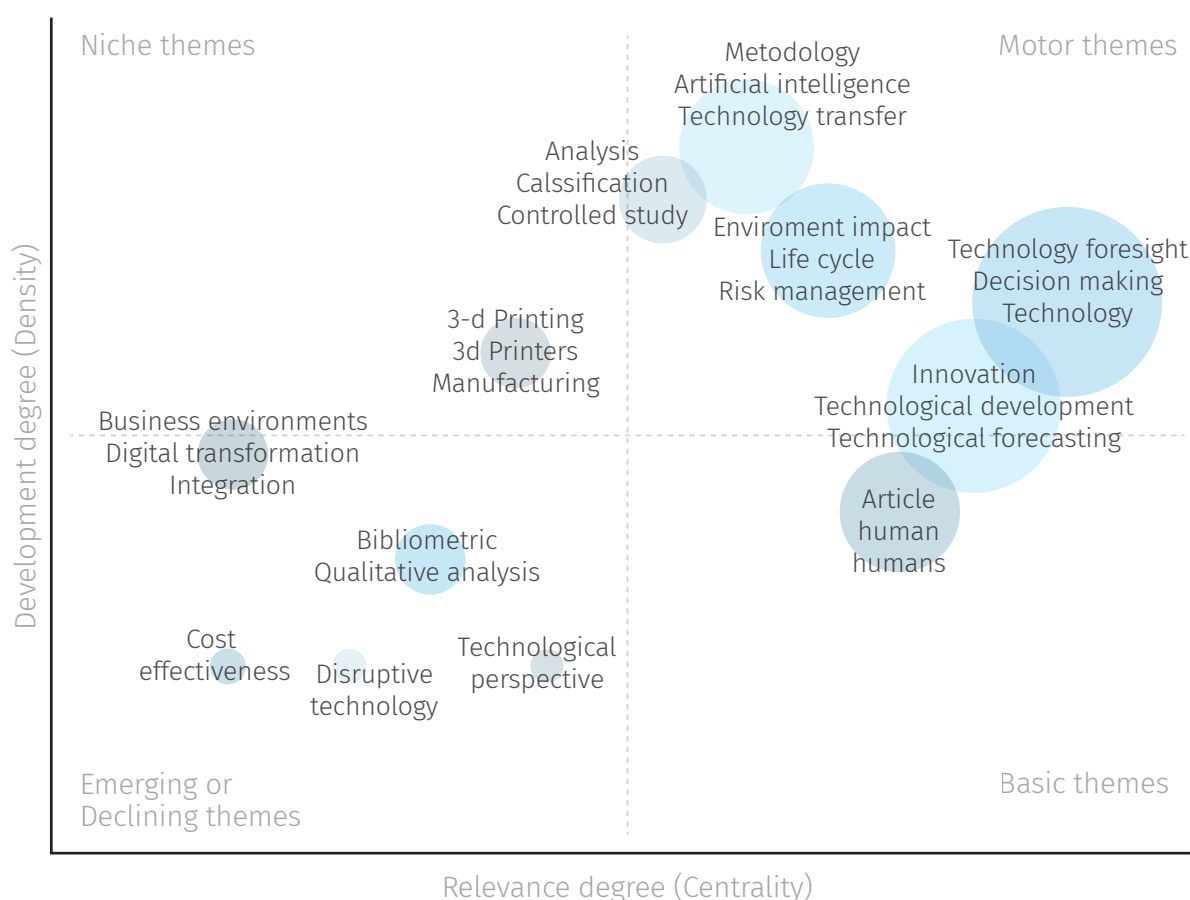
Figura 6. Clusters de conceptos clave



Fuente: Elaboración Propia a través de Bibliometrix

Por último, en la figura 7, se visualizan los temas emergentes en cuatro cuadrantes disponibles: En el primer cuadrante, denominado Temas motores, se encuentran los Clusters relacionados con Prospectiva y Tecnología para la toma de decisiones; Innovación, Desarrollo y Previsión tecnológicos; Impacto medioambiental, Ciclo de vida y Gestión de riesgos; Análisis, clasificación y estudio controlados. Estos temas son los de mayor grado de relevancia y desarrollo y son los de mayor interés en la Prospectiva Tecnológica. Luego, en la sección de temas básicos se encuentran, tendencias relacionadas con tecnologías para la detección de la evolución del cuerpo humano y la medicina, siendo temas de alta relevancia, son de menor estudio y desarrollo investigativo. Posteriormente, en la tercera parte llamado Temas emergentes o en declive se detallan, entornos empresariales, transformación digital e integración; análisis bibliométrico; perspectiva tecnológica, tecnología disruptiva y rentabilidad. Si bien estructuran un conocimiento organizado para la comprensión de la ciencia, también son temas poco desarrollados y de baja relevancia para los investigadores. Por último, en el cuadrante de Temas Nicho se encuentran impresoras 3-d, impresiones 3d y fabricación (*ver Figura 7*).

Figura 7. Temas Emergentes de la Prospectiva Tecnológica



Fuente: Elaboración Propia a través de Bibliometrix

Investigadores y Publicaciones Claves de Prospectiva Tecnológica

SSon muchos los investigadores y publicaciones que se pueden referenciar, su compromiso en el desarrollo de la Prospectiva Tecnológica en el mundo se evidencia en la construcción progresiva de los conceptos y la intervención en diferentes áreas de acción que se resumen en análisis sectoriales de futuro, sistemas de innovación estratégica, seguridad industrial, tendencias productivas, temas emergentes, entre otros.

En Anexo se presentan los principales investigadores que cubren los enfoques específicos: Technology Foresight, Technology forecasting, Technology Futures Analysis y Dinámica de sistemas. Se escogieron 12 autores más representativos y 10 a 15 textos (artículos o paper's, Capítulos de libro y libros) más citados de estos investigadores y que se relacionan directamente con la Prospectiva Tecnológica. ■

Panorama de la Prospectiva Tecnológica en América Latina

La Prospectiva Tecnológica va más allá de ser un enfoque que se caracteriza en generar pronósticos. Su estructura conceptual y metodológica enriquece el desarrollo social y tecnológico, visualizando implicaciones de estrategias abordadas por tecnologías emergentes en términos de capacidades institucionales y cambios sociales potenciales para América latina (Medina, 2020).

América Latina, posee algunos espacios prácticos que utilizan temas históricos e institucionales con el fin de implementar capacidades tendientes a generar un mayor involucramiento de la prospectiva en la ciencia, la tecnología y la innovación, para el aprovechamiento de oportunidades en el panorama mundial (Marí, 2018).

Para este propósito se trabajó con importantes contribuciones de diversas Instituciones y organismos internacionales como la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Organización de las Naciones Unidas para la educación, ciencia y cultura (UNESCO) (Medina et al., 2022). Uno de los primeros acontecimientos de gran importancia en los estudios de futuro tecnológico en América Latina es el Modelo Bariloche o Modelo Mundial Latinoamericano, el cual como ya se mencionó, se centró en la creación de modelos para la sostenibilidad ambiental que estableció un enfoque normativo ofreciendo una alternativa de planificación de políticas a largo plazo en la región, contribuyendo a la creación de la escuela latinoamericana de pensamiento en ciencia y tecnología para el desarrollo, la cual, entendió el subdesarrollo no como un simple atraso, sino como una oportunidad para llegar a la especialización productiva y aprovechamiento tecnológico como herramienta fundamental para el progreso local y regional, fomentando la innovación y la creación tecnológica autóctona. Sus fundamentos fueron impulsados por pensadores destacados como Jorge Sábato y Amílcar Herrera, investigadores que impulsaron grandes estudios prospectivos de cooperación en América Latina (Marí, 2018).

Para desarrollar el enfoque de Prospectiva Tecnológica en América Latina, aparte de especificar y consolidar las capacidades en ciencia tecnología e innovación, se constituyeron algunas experiencias con la puesta en marcha de políticas públicas sólidas que experimentaron la evolución de sistemas de investigación e innovación dirigidos al aprovechamiento productivo y el desarrollo inclusivo (Aguirre et al.,

2025). Países como Colombia, Argentina y Honduras han trabajado en la institución de un ecosistema de Prospectiva Tecnológica representados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e innovación productiva de Argentina que estimula las iniciativas prospectivas en el país; el instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) del mismo país, que participa en la realización de estudios prospectivos; Instituto de prospectiva de la Universidad del Valle en Colombia, que impulsa acciones y propuestas de Prospectiva Tecnológica en ciudades e instituciones públicas; el observatorio prospectivo de Honduras y el Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) (Medina et al., 2022).

Las instituciones mencionadas ayudan a sistematizar esfuerzos nacionales tendientes a utilizar los mecanismos de la prospectiva para coordinar diversos actores interesados como centros de investigación y desarrollo, instituciones públicas, sector privado y universidades que se alinean con tendencias regionales y mundiales (Castillo & López, 2021).

En este contexto, existen sectores de aplicación como la agroindustria, infraestructura, procesos nacionales de industrialización y modernización y la transición a la adaptación tecnológica, como parte fundamental del desarrollo de los territorios, pero es necesario generar un apalancamiento que posibilite la anticipación a nuevos mercados y creación de ventajas competitivas (Reynolds et al., 2024).

Por otra parte, a pesar del esfuerzo en consolidar el enfoque de la Prospectiva Tecnológica en Latinoamérica, los retos siguen persistiendo. Existe en la actualidad una colaboración limitada entre países que necesitan mayor integración y cooperación regional para mantener la credibilidad y legitimidad de iniciativas de futuros tecnológicos (Jiménez et al., 2023). En este particular, la inteligencia colectiva es un factor condicional para la obtención de un cambio hacia modelos de desarrollo tecnológico más sostenibles identificados a través de la prospectiva, la cual es indispensable para conocer tendencias emergentes en áreas de importancia estratégica, realizando investigaciones para abordar los temas más pertinentes y acuciantes de la región (Yáñez, 2022).

Finalmente, es necesario mencionar que el éxito de la Prospectiva Tecnológica y sus iniciativas en América Latina depende en buena medida de la voluntad política, la visión estratégica y la relevancia de agendas de gestión de los líderes para impulsar el desarrollo sostenible y la competitividad de la región. ■

Conclusiones

La estructura y temática presentada, involucra conceptos de la prospectiva totalmente desarrollada (prospectiva tecnológica) y los enfoques específicos Technology Foresight, Forecasting, Futures Analysis y dinámica de sistemas, que una vez explorados se deducen sus características más importantes y como desde la concepción de diversos investigadores puede utilizar su interacción para el desarrollo del campo tecnológico en los estudios de futuro.

Los métodos y herramientas que constituyen a los enfoques de específicos, dan a conocer que la prospectiva tecnológica desarrolla una planeación específica al contar con estructuras elaboradas que guían los resultados previstos y a la vez enfatizan la anticipación en la ciencia, tecnología e innovación.

Las aplicaciones de la prospectiva totalmente desarrollada en el campo científico y tecnológico evidencian su importancia de cara en la anticipación del futuro, en la consecución de estrategias, tendencias y organizaciones más sólidas en la toma de decisiones en contextos de alta incertidumbre, sobre todo en campos tan específicos como la industria 4.0, manufactura, energías renovables, transición ecológica, biotecnología y salud.

De acuerdo con la información arrojada en la exploración de temas emergentes, producción científica y autores más citados, se relacionan publicaciones exclusivas para las investigaciones de los estudios de futuro, como: Technological forecasting and social change, Foresight o Futures, las cuáles albergan investigaciones trascendentales con énfasis en temas como Innovación y desarrollo tecnológico, impacto medioambiental, gestión de riesgos, tendencias tecnológicas, transformación digital, bibliometría, entre otras.

Los teóricos e investigadores que asumen la responsabilidad del desarrollo del enfoque de Prospectiva Tecnológica, intervienen directamente en la aplicación práctica de nuevos métodos o herramientas cuyos resultados derivan de análisis rigurosos de los entornos. Además, las disciplinas de formación e instituciones de donde provienen son diversas, lo que argumenta la variedad de conceptos y definiciones que se incorporan al enfoque. Su dedicación trasciende en la observación de fenómenos para estructurar escenarios tecnológicos y guiar la anticipación mediante estrategias en el presente.

Latinoamérica no es ajena a la aplicación y estudio del enfoque en diversos países, ya sea de manera individual o auspiciado por organizaciones, empresas, universidades o instituciones públicas. Estas últimas, han patrocinado la creación de políticas estructurales para la creación de ecosistemas prospectivos y el auspicio de programas basados en la ciencia, tecnología y la innovación. Aunque todavía se necesita un mayor impulso para que los sistemas desarrollen capacidades prospectivas más altas, se viene trabajando en redes de conocimiento influyendo en los intereses de académicos e investigadores en la consolidación de la Prospectiva Tecnológica y de otros enfoques relacionados con los estudios de futuro.

El presente texto indaga sobre la evolución, estructura y temática de la prospectiva tecnológica y trata de formar un mayor interés en la aplicación del enfoque en diversas disciplinas relacionadas con la tecnología e innovación. Se espera que la investigación genere inquietudes que permitan la consolidación de más investigaciones referentes en la aplicación de herramientas y métodos en los diferentes contextos y consolidación de las políticas públicas. ■

Referencias

- **Aghion, P., Antonin, C., & Bunel, S. (2021).** El poder de la destrucción creativa (Primera ed). Editorial Planeta.

- **Aguirre, C., Bortagaray, I., & Weber, M. (2025).** The innovation–inclusion nexus in countries of Latin America: foresight for shaping new policy approaches. *Science and Public Policy*, 52(2), 193–206. <https://doi.org/10.1093/scipol/scae075>

- **Aldulaimi, S., Ali, B., Yas, Q., Abdeldayem, M., Aswad, A., & Hammad, A. (2022).** Application of Big Data Analysis to Foresight the Future: A Review of Opportunities, Approaches, and New Research Directions. 2022 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSYS), 346–354. <https://doi.org/10.1109/ICETSYS55481.2022.9888841>

- **Amabile, T. (1983).** The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(2), 357–376. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.45.2.357>

- **Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017).** Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

- **Avison, D., Wood, A., Vidgen, R., & Wood, J. (1998).** A further exploration into information systems development: the evolution of Multiview2. *Information Technology & People*, 11(2), 124–139. <https://doi.org/10.1108/09593849810218319>

- **Asmelash, E., & Gorini, R. (2021).** International Oil companies and the energy transition. In International Renewable Energy Agency. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2021/Feb/Oil-companies-and-the-energy-transition>

- **Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020).** Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>

- **Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017).** Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>

- **Bell, F., Fletcher, G., Greenhill, A., Griffiths, M., & McLean, R. (2013).** Science fiction prototypes: Visionary technology narratives between futures. *Futures*, 50, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.04.004>

- **Bell, W. (2004).** Foundations of Futures Studies: Values, Objectivity, and the Good Society. Human Science for a New Era. In Transaction, New Brunswick, NJ (1st editio). Transaction Publishers.

- **Benckendorff, P. (2008).** Envisioning Sustainable Tourism Futures: An Evaluation of the Futures Wheel Method. *Tourism and Hospitality Research*, 8(1), 25–36. <https://doi.org/10.1057/thr.2008.2>

- **Bennett, M., & Johnson, B. (2016).** Dark Future Precedents: Science Fiction, Futurism and Law. In P. Novais & S. Konomi (Eds.), *Intelligent Environments* (pp. 506–513). <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-690-3-506>

- **Bengston, D. N. (2016).** The Futures Wheel: A Method for Exploring the Implications of Social–Ecological Change. *Society and Natural Resources*, 29(3), 374–379. <https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1054980>

- **Bilas, V., Franc, S., & Vukoja, M. (2022).** The Impact of Global Megatrends on Tourism Industry. *UTMS Journal of Economics*, 13(1), 155–164.

- **Bittencourt, A., Silva, E., Baumann, B., & Torres, M. (2020).** Prospects for using gamification in Industry 4.0. *Production*, 30. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190094>

- **Burnam, M. (2015).** Creating narrative scenarios: Science fiction prototyping at Emerge. *Futures*, 70, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.12.005>

- **Calleo, Y., & Pilla, F. (2023).** Delphi-based future scenarios: A bibliometric analysis of climate change case studies. *Futures*, 149(103143), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103143>

- **Camelo, G., & Treviño, A. (2014).** El análisis estructural. In G. Gandara & F. Osorio (Eds.), *Métodos prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro* (1er ed., pp. 121–141). Paidós.

- **Campina, A., Lorca, A., & de las Heras, M. (2024).** Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 21(1), 617–627. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102

- **Castillo, N., & López, E. (2021).** Technological foresight as support for the planning of research and development centers: the case of EI-UNAM. *Foresight*, 23(4), 457–476. <https://doi.org/10.1108/FS-09-2020-0100>

- **Chalapud, E., Parodi, T., & Mercado, L. (2025).** Enfoque Scenario Planning: navegando el futuro con estrategias dinámicas (1er. ed.). Fondo Editorial universidad de Córdoba.

- **Ciarli, T., Coad, A., & Rafols, I. (2016).** Quantitative analysis of technology futures: A review of techniques, uses and characteristics. *Science and Public Policy*, 43(5), 630–645. <https://doi.org/10.1093/scipol/scv059>

- **Codina, L., Morales, A., Rodríguez, R., & Pérez, M. (2020).** Uso de Scopus y Web of Science para investigar y evaluar en comunicación social: análisis comparativo y caracterización. *Index.Comunicación*, 10(3), 235–261. <https://doi.org/10.33732/ixc/10/03Usodes>

- **Collste, D., Aguiar, A., Harmáčková, Z., Galafassi, D., Pereira, L., Selomane, O., & van der Leeuw, S. (2019).** Three Horizons for the Sustainable Development Goals: A Cross-scale Participatory Approach for Transformative Pathways. *Center for Open Science*, 1–22. https://sustainability.sciencesconf.org/data/pages/52.Collste_2019.pdf

- **Córdova, W. (2008).** TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática. *Contabilidad y Negocios*, 3(6), 38–46.

- **Cramer, T., Van der Duin, P., & Heselmans, C. (2016).** Trend Analysis. In P. Van der Duin (Ed.), *Foresight in organizations: methods and tools* (First edit, pp. 125–144). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315728513>

- **Curry, A., & Hodgson, A. (2008).** Seeing in multiple horizons: Connecting futures to strategy. *Journal of Futures Studies*, 13(1), 1–20. <https://h3uni.org/wp-content/uploads/2020/06/Hodgson-Curry-JFS-Copy.pdf>

- **Dalkey, N., & Helmer, O. (1962).** An experimental application of Delphi method to the use of experts (RM-727/1).

- **Díaz, M., & de Moya, F. (2008).** El análisis de patentes como estrategia para la toma de decisiones innovadoras. *El Profesional de La Informacion*, 17(3), 293–302. <https://doi.org/10.3145/epi.2008.may.05>

- **Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. (2021).** How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133(April), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

- **Donthu, N., Kumar, S., Pattnaik, D., & Lim, W. (2021).** A bibliometric retrospection of marketing from the lens of psychology: Insights from *Psychology & Marketing*. *Psychology & Marketing*, 38(5), 834–865. <https://doi.org/10.1002/mar.21472>

- **Doukas, H., Andreas, B., & Psarras, J. (2007).** Multi-criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic variables. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 844–855. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.08.037>

- **Drew, S. (2006).** Building technology foresight: using scenarios to embrace innovation. *European Journal of Innovation Management*, 9(3), 241–257. <https://doi.org/10.1108/14601060610678121>

- **Eerola, A., & Miles, I. (2011).** Methods and tools contributing to FTA: A knowledge-based perspective. *Futures*, 43(3), 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.005>

- **Ena, O., Chulok, A., & Shashnov, S. (2017).** Networking for sustainable Foresight: A Russian study. *Technological Forecasting and Social Change*, 119, 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.05.014>

- **Forrester, J. (1987).** Lessons from system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, 3(2), 136–149. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260030205>

- **Forrester, J. (2007).** System dynamics—the next fifty years. *System Dynamics Review*, 23(2–3), 359–370. <https://doi.org/10.1002/sdr.381>

- **Freeman, C., & Soete, L. (1997).** *The Economics of Industrial Innovation* (Third Edit). The MIT Press.

- **Fundación Bariloche. (1976).** *Modelo mundial Latinoamericano*. Nueva Sociedad, 22, 16–29.

- **Gándara, G., & Hernández, I. (2024).** Escenarios tendenciales y métodos de predicción cuantitativa. In G. Gándara (Ed.), *Métodos Prospectivos 2: para la exploración de futuros en empresas, ONG, gobiernos y la agenda global* (1er ed.). DEBATE.
- **Giddens, A. (2009).** *The Politics of Climate Change* (First ed.). Polity Press.
- **Glenn, J. (2009).** The futures wheel. In J. Glenn & T. Gordon (Eds.), *Futures Research Methodology* (Version 3., pp. 1–17). With support from the Rockefeller Foundation. Millennium Project.
- **Gómez, R. (2018).** Tendencias de la innovación tecnológica en Colombia 1991-2013 a partir del análisis de patentes. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 32(77), 133–150. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2018.77.57859>
- **Gonzalez, D., Barajas, E., & García, N. (2020).** Estudio prospectivo de habilidades a desarrollar en los estudiantes de educación superior ante la industria 4.0. *Congreso Internacional de Innovación Educativa*, 33–38.
- **Gordon, A., Ramic, M., Rohrbeck, R., & Spaniol, M. (2020).** 50 Years of corporate and organizational foresight: Looking back and going forward. *Technological Forecasting and Social Change*, 154(January), 119966. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119966>
- **Gordon, T. (1992).** The Methods of Futures Research. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 522, 25–35.
- **Gordon, T. (1994).** Trend impact analysis. In *Futures Research Methodology - V3.0*.
- **Gordon, T. (2009).** The real-time Delphi method. In J. Glenn & T. Gordon (Eds.), *Futures Research Methodology - V3.0* (Third ed., pp. 1–17). The Millenium Project.
- **Gordon, T., & Hayward, H. (1968).** Initial experiments with the cross impact matrix method of forecasting. *Futures*, 1(2), 100–116. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(68\)80003-5](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(68)80003-5)
- **Gordon, T., & Todorova, M. (2019).** *Future Studies and counterfactual analysis: Seeds of the future* (First ed.). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-18437-7>
- **Gregersen, H., Christensen, C., & Dyer, J. (2019, December).** *The Innovator's DNA*.

■ **Grupp, H., & Linstone, H. (1999).** National Technology Foresight Activities Around the Globe. *Technological Forecasting and Social Change*, 60(1), 85–94. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(98\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(98)00039-0)

■ **Guarneros, O., Méndez, H., Méndez, M., & Espericueta, D. (2023).** Uso de TRIZ y de design Thinking en proyectos de la asignatura de innovación. *Revista Electrónica ANFEI Digital*, 10(15), 1–8.

■ **Helmer, O. (1967).** Analysis of the future: The Delphi Method (P-3558; MArch).

■ **Herrington, G. (2021).** Update to limits to growth: Comparing the World3 model with empirical data. *Journal of Industrial Ecology*, 25(3), 614–626. <https://doi.org/10.1111/jiec.13084>

■ **Hidalgo, M. (2024).** Business cycles in Colombia: stylized facts. *Tendencias*, XXV(2), 26–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.22267/rtend.242502.253>

■ **Hines, A. (2020).** When Did It Start? Origin of the Foresight Field. *World Futures Review*, 12(1), 4–11. <https://doi.org/10.1177/1946756719889053>

■ **Holmberg, J., & Robert, K. (2000).** Backcasting — a framework for strategic planning. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 7(4), 291–308. <https://doi.org/10.1080/13504500009470049>

■ **Hughes, B. (2010).** Chile 2040: An Analysis of the Population, Economic and Socioeconomic Dynamics of Chile through 2040 (INTS 4601).

■ **IIF. (2023).** International Institute of Forecasters. <https://forecasters.org/about/us/>

■ **Irvine, J., & Martin, B. (1984a).** Foresight in Science: Picking the Winners (First ed.). UNKNO.

■ **Irvine, J., & Martin, B. (1984b).** Foresight in science: Picking the Winners (first ed.). UNKNO.

■ **Jiménez, I., Molina, G., & Gámez, R. (2023).** Systemic vision of the technological educational context in Latin America. *Región Científica*. <https://doi.org/10.58763/rc202358>

- **Jovane, F., Koren, Y., & Boër, C. R. (2003).** Present and future of flexible automation: Towards new paradigms. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52(2), 543–560. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60203-0](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60203-0)

- **Kahn, H. (1965).** On escalation: Metaphors and scenarios (First ed.). Penguin Books.

- **Kajikawa, Y., Mejia, C., Wu, M., & Zhang, Y. (2022).** Academic landscape of Technological Forecasting and Social Change through citation network and topic analyses. *Technological Forecasting and Social Change*, 182(July), 121877. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121877>

- **Kluczek, A., Żegleń, P., & Matušíková, D. (2021).** The Use of Prospect Theory for Energy Sustainable Industry 4.0. *Energies*, 14(22), 7694. <https://doi.org/10.3390/en14227694>

- **Könnölä, T., Brummer, V., & Salo, A. (2007).** Diversity in foresight: Insights from the fostering of innovation ideas. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(5), 608–626. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.11.003>

- **Kouri, P., Hopia, H., & Hakala, A. (2020).** Predicting the Future of Healthcare and eHealth with the Futures Wheel Method. *Journal of the International Society for Telemedicine and EHealth*, 8, 1–6. <https://doi.org/10.29086/jisfteh.8.e22>

- **Kraus, S., Kumar, S., Lim, W. M., Kaur, J., Sharma, A., & Schiavone, F. (2023).** From moon landing to metaverse: Tracing the evolution of Technological Forecasting and Social Change. *Technological Forecasting and Social Change*, 189(September 2022), 122381. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122381>

- **Krueger, R., & Casey, M. (2008).** Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research (Fifth ed.). SAGE Publications, Inc.

- **Lenz, R. (1985).** A heuristic approach to technology Measurement. *Technological Forecasting and Social Change*, 27(2–3), 249–264. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(85\)90061-7](https://doi.org/10.1016/0040-1625(85)90061-7)

- **Levitt, T. (1965, November).** Exploit the Product Life Cycle. *Harvard Business Review*, 1–28.

- **Linstone, H. (2011).** Three eras of technology foresight. *Technovation*, 31(2–3), 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.10.001>

- **Linstone, H., & Turoff, M. (2002).** The Delphi method: Techniques and Applications. 618.
- **Mannucci, S., Kwakkel, J., Morganti, M., & Ferrero, M. (2023).** Exploring potential futures: Evaluating the influence of deep uncertainties in urban planning through scenario planning: A case study in Rome, Italy. *Futures*, 154, 103265. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103265>
- **Mao, C., Koide, R., Brem, A., & Akenji, L. (2020).** Technology foresight for social good: Social implications of technological innovation by 2050 from a Global Expert Survey. *Technological Forecasting and Social Change*, 153(March 2019), 119914. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119914>
- **Marí, M. (2018).** Ciencia, tecnología y desarrollo: políticas y visiones del futuro en América Latina (1950 - 2050) (1er ed.). Teseo.
- **Martiino, J. (1983).** *Technological Forecasting for Decision Making* (Second ed.). North-Holland.
- **Martin, B. (2010).** The origins of the concept of 'foresight' in science and technology: An insider's perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(9), 1438–1447. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.009>
- **Martin, B., & Johnston, R. (1999).** Technology Foresight for Wiring Up the National Innovation System. *Technological Forecasting and Social Change*, 60(1), 37–54. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(98\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(98)00022-5)
- **Martino, J. (1997).** *Technological forecasting for decisión making* (2nd ed.). North-Holland.
- **Mazzucato, M. (2022).** Tecnología, innovación y crecimiento. In *El Estado emprendedor: la oposición público Vs. privados y sus mitos* (1era ed., pp. 63–94). Taurus.
- **Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972).** *Limits to growth: a report for the club of Rome's project on the predicament of mankind* (Fifth prin). Universe Books.
- **Medina, J. (2020).** *Abriendo caminos en la prospectiva de América Latina y el Caribe* (Primera ed). Editorial USACH / programa editorial Universidad del Valle.

- **Medina, J. (2023).** Prospectiva para un mundo interdependiente (1er. ed.). Academnia colombiana de ciencias económicas.
- **Medina, J., Becerra, S., & Castaño, P. (2014).** Prospectiva y política pública para el cambio estructural en América Latina y el Caribe (Naciones Unidas, Ed.; Primera ed).
- **Medina, J., & Cruz, P. (2022).** Introducción a la planeación estratégica por escenarios: contexto, proceso metodológico y recomendaciones (1era ed.). Universidad del Valle.
- **Medina, J., Patrouilleau, R., & Vitale, J. (2022).** Avances y Retrocesos en la Construcción de Capacidades Prospectivas en América Latina.
- **Miles, I. (1979).** The Uses and Abuses of Forecasting. In T. Whiston (Ed.), The uses and abuses of Forecasting (1st editio, pp. 1–23). Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-04486-3>
- **Miles, I. (2010).** The development of technology foresight: A review. Technological Forecasting and Social Change, 77(9), 1448–1456. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.07.016>
- **Miles, I. (2011).** De los estudios de futuro a la prospectiva. In L. Georghiou, J. Cassingena, M. Keenan, I. Miles, & R. Popper (Eds.), Manual de Prospectiva Tecnológica, conceptos y práctica (1er ed., pp. 59–84). Flacso (México).
- **Miles, I., Meissner, D., Vonortas, N., & Carayannis, E. (2017).** Technology foresight in transition. Technological Forecasting and Social Change, 119, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.04.009>
- **Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva. (2015).** Guía nacional de vigilancia e inteligencia estratégica (VeIE) (Primera ed). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiv.
- **Mohamed, S., Png, M., & Isaac, W. (2020).** Decolonial AI: Decolonial Theory as Sociotechnical Foresight in Artificial Intelligence. Philosophy & Technology, 33(4), 659–684. <https://doi.org/10.1007/s13347-020-00405-8>
- **Mokyr, J. (1992).** The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress. Oxford University Press.
- **Morgan, L. (1997).** Focus groups as qualitative research methods Vol. 16 (2nd ed.).

- **Mujica, J. (2020).** Señales débiles y cartas salvajes: una mirada prospectiva ed la producció intelectual. *Gestión I+D*, 5(2), 12–32.
- **Muraro, V., & Salles, S. (2024).** Big data, machine learning and uncertainty in foresight studies. *Foresight*, 26(3), 436–452. <https://doi.org/10.1108/FS-12-2022-0187>
- **Neij, L. (2008).** Cost development of future technologies for power generation—A study based on experience curves and complementary bottom-up assessments. *Energy Policy*, 36(6), 2200–2211. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.029>
- **Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1999).** La organización creadora de conocimiento: cómo las compañías japonesas crean la dinámica de la innovación (1er ed.). Oxford University Press.
- **Osborn, A. (1979).** Applied imagination: Principles and procedures of creative problem-solving (Third ed.). Charles Scribner's Sons.
- **Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo, E., McDonald, S., ... Alonso, S. (2021).** Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- **Park, Ch., & Cho, S. (2017).** Future sign detection in smart grids through text mining. *Energy Procedia*, 128, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.018>
- **Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2006).** Technology management tools: Concept, development and application. *Technovation*, 26(3), 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.02.001>
- **Porter, A. (2010).** Technology foresight: types and methods. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 6(1/2/3), 36–45. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2010.032664>
- **Porter, A., Ashton, W., Clar, G., Coates, J. F., Cuhls, K., Cunningham, S., Ducatel, K., van der Duin, P., Georgehiou, L., Gordon, T., Linstone, H., Marchau, V., Massari, G., Miles, I., Mogee, M., Salo, A., Scapolo, F., Smits, R., & Thissen, W. (2004).** Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting*

and Social Change, 71(3), 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.11.004>

■ **Porter, M., & Kramer, M. (2011).** Creación de valor compartido. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 1–18.

■ **Quist, J. (2016).** Backcasting. In P. Van der Duin (Ed.), *Foresight in organizations: methods and tools* (First edit, pp. 125–144). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315728513>

■ **Quist, J., & Vergragt, P. (2006).** Past and future of backcasting: The shift to stakeholder participation and a proposal for a methodological framework. *Futures*, 38(9), 1027–1045. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2006.02.010>

■ **Rahman, M., Shakeri, M., Tiong, S., Khatun, F., Amin, N., Pasupuleti, J., & Hasan, M. (2021).** Prospective Methodologies in Hybrid Renewable Energy Systems for Energy Prediction Using Artificial Neural Networks. *Sustainability*, 13(4), 2393. <https://doi.org/10.3390/su13042393>

■ **RAND Corporation. (1996).** 50th project Air Force 1946 - 1996 (first ed.). RAND Corporation.

■ **Reynolds, P., Cerna, D., & Medina, E. (2024).** Seeds, Dams, and Khipus: Latin America's Eclectic Recent History of Technology. *Technology and Culture*, 65(2), 447–472. <https://doi.org/10.1353/tech.2024.a926311>

■ **Ringland, G., & Young, L. (2012).** A History of Scenarios. In G. Ringland & L. Young (Eds.), *Scenarios in Marketing* (First ed., pp. 207–216). Wiley Online Books. <https://doi.org/10.1002/9780470666265.app3>

■ **Rogers, E. (1983).** *Diffusion of innovations* (Third ed.). The free press. <https://doi.org/10.4324/9781315263434-16>

■ **Rohrbeck, R., & Kum, M. (2018).** Corporate foresight and its impact on firm performance: A longitudinal analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 129(January), 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.013>

■ **Rowe, G., & Wright, G. (1999).** The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353–375. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(99\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00018-7)

■ **Rozanec, J., Nemec, P., Leban, G., & Grobelnik, M. (2023).** AI, What Does the

Future Hold for Us? Automating Strategic Foresight. Companion of the 2023 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering, 247–248. <https://doi.org/10.1145/3578245.3585336>

■ **Sacio, A., Fantoni, G., & Daheim, C. (2016).** Foresight as a key enabler of innovation in the economy. Introduction to the topical collection. *European Journal of Futures Research*, 4(1), 18–21. <https://doi.org/10.1007/s40309-016-0104-2>

■ **Salazar, J., & Girón, E. (2021).** Análisis y aplicación de algoritmos de minería de datos. *Revista Perspectivas*, 6(21), 71–88. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.perspectivas.6.21.2021.71-88>

■ **Salih, A., AL, J., & Abou, A. (2024).** Unlocking the potential of big data through open innovation on strategic foresight: An empirical analysis. *International Journal of Data and Network Science*, 8(1), 329–336. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.9.021>

■ **Saritas, O., & Smith, J. (2011).** The Big Picture - trends, drivers, wild cards, discontinuities and weak signals. *Futures*, 43(3), 292–312. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.007>

■ **Sawyer, K. (2003).** One Emergence in Creativity and Development. In *Creativity and development* (first ed., pp. 12–60). Oxford Academic. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195149005.001.0001>

■ **Sayem, A., Biswas, K., Khan, M. M. A., Romoli, L., & Dalle, M. (2022).** Critical Barriers to Industry 4.0 Adoption in Manufacturing Organizations and Their Mitigation Strategies. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(6), 136. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060136>

■ **Scapolo, F., Porter, A., & Rader, M. (2008).** Future-Oriented Technology Analysis (FTA): Impact on policy and decision-making - The 2006 FTA International Seville Seminar. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(4), 457–461. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.03.001>

■ **Schumpeter, J. (1997).** Teoría del desenvolvimiento económico (Segunda ed). Fondo de Cultura Económica.

■ **Schwartz, P. (1996).** The art of the long view: paths to strategic insight for yourself and your company (Third ed.). Doubleday.

- **Schwarz, J. (2024).** Strategic Foresight: an Introductory Guide to Practice (First ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003302735>

- **Scott, S., & Bruce, R. (1994).** Determinants of Innovative Behavior: A Path Model of Individual Innovation in the Workplace. *Academy of Management Journal*, 37(3), 580–607. <https://doi.org/10.5465/256701>

- **Smil, V. (2022).** Energy Transitions: Global and National Perspectives (Second ed.). Praeger.

- **Sólis, M., Chamorro, J., & Mora, N. (2019).** Prospectiva en el marco de la Industria 4.0 Caso: Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria – ASTIN - SENA. *Debates Sobre Innovación*, 3(1), 1–12. [https://repositorio.altecasociacion.org/bitstream/handle/20.500.13048/1790/Prospectiva en el marco de la Industria 4.0_ALTEC_2019_m07_paper_SENA30.pdf?sequence=1](https://repositorio.altecasociacion.org/bitstream/handle/20.500.13048/1790/Prospectiva%20en%20el%20marco%20de%20la%20Industria%204.0_ALTEC_2019_m07_paper_SENA30.pdf?sequence=1)

- **Sterman, J. (2002).** Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World. In ESD-WP-2003-01.13-ESD Internal Symposium (ESD-WP-2003-01.13; ESD Internal Symposium).

- **Stewart, I., Capello, M., Mouri, H., Mhopjeni, K., & Raji, M. (2023).** Three Horizons for Future Geoscience. *Earth Science, Systems and Society*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.3389/esss.2023.10079>

- **Stone, L., & Busby, D. (2005).** The Delphi Method. In *Research methods in family therapy* (2nd ed., pp. 238–253). Guilford. <https://doi.org/10.4324/9781315728513-10>

- **Su, H., & Lee, P. (2010).** Mapping knowledge structure by keyword co-occurrence: a first look at journal papers in Technology Foresight. *Scientometrics*, 85(1), 65–79. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0259-8>

- **Sun, H., Khan, A. R., Bashir, A., Alemzero, D. A., Abbas, Q., & Abudu, H. (2020).** Energy insecurity, pollution mitigation, and renewable energy integration: prospective of wind energy in Ghana. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 38259–38275. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09709-w>

- **Suzana, F., Aziz, A., & Mohamad, F. (2024).** Technology foresight: Capturing the benefits from nuclear science technology and innovation in Malaysian Nuclear Agency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1308(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1308/1/012008>

- **The Millenium Project. (2023).** History of The Millennium Project. <https://www.millennium-project.org/about-us/history/>
- **Topol, E. (2019).** Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again (First ed.). Basic Books.
- **Trujillo, R. (2020).** Integrating Foresight, Artificial Intelligence and Data Science to Develop Dynamic Futures Analysis. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 5(3), em0120. <https://doi.org/10.29333/jisem/8428>
- **Trujillo, R. (2025).** Exploring the link between foresight and artificial intelligence methods to strengthen collective future-building in contexts of social instability. *Foresight*, 27(2), 267–305. <https://doi.org/10.1108/FS-11-2023-0231>
- **United Nations. (2022).** Population division: World population prospects. <https://population.un.org/wpp/>
- **Van der Heijden, K. (2005).** Scenarios: The Art of Strategic Conversation (2nd Ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- **VanGundy, A. (1985).** 101 Activities for Teaching Creativity (First ed.). John Wiley & Sons.
- **Vecchiato, R., Do, H., Pierrakis, Y., & Blackburn, R. (2024).** Innovation and Foresight in SMEs: Lessons From the Case of U.K. Digital Health Companies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 1655–1668. <https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3336732>
- **Vicente, M., López, Á., Ramírez, M., Capdevila, L., Terradillos, M., & Aguilar, E. (2014).** Fundamentos del análisis bibliométrico y su aplicación al campo de la salud laboral. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 17(3), 154–155. <https://doi.org/10.12961/aprl.2014.17.3.04>
- **Vitale, J. (2024).** Los estudios de futuro y la prospectiva: métodos y técnicas. *Espacios Políticos*, XIV(4), 23–36. <https://doi.org/10.36631/REP.2024.02.04>
- **Wallin, J. (2005).** Bibliometric Methods: Pitfalls and Possibilities. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 97(5), 261–275. https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2005.pto_139.x
- **Yáñez, C. (2022).** Technological entrepreneurship: present conditions and future

perspectives for Latin America. *Management Research: Journal of the Iberoamerican Academy of Management*, 20(1), 25–38. <https://doi.org/10.1108/MRJIAM-09-2021-1230>

■ **Zahraoui, Y., Khan, M., AlHamrouni, I., Mekhilef, S., & Ahmed, M. (2021).** Current Status, Scenario, and Prospective of Renewable Energy in Algeria: A Review. *Energies*, 14(9), 2354. <https://doi.org/10.3390/en14092354>

■ **Zhu, H., Li, C., & Gao, C. (2020).** Applications of CRISPR–Cas in agriculture and plant biotechnology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(11), 661–677. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-00288-9>

Anexo

Principales Investigadores, artículos, libros y capítulos de libro de Prospectiva Tecnológica a través del Tiempo

■ Ted Gordon (1930 - 2024)

Theodore Jay Gordon fue un destacado experto en pronósticos, planificación y análisis de políticas. Cofundador de The Millennium Project, un influyente centro de investigación global sobre futuros y de The Futures Group. Desempeñó un papel crucial en el avance de metodologías innovadoras en su campo. Fundó The Futures Group en 1971, donde, como director ejecutivo, se especializó en la innovación tecnológica y el desarrollo de estrategias efectivas en condiciones de alta incertidumbre.

Gordon, llevó a cabo investigaciones pioneras sobre el método Delphi en la Corporación RAND, donde contribuyó significativamente al primer estudio a gran escala. Su trabajo en la metodología de pronósticos y análisis también incluyó el desarrollo del Método de Impacto Cruzado, el Análisis de Impacto de Tendencias y el Índice del Estado del Futuro (SOFI). En el ámbito académico, Gordon fue Profesor Regente en la Escuela de Negocios de Posgrado de UCLA en 1968 y becario Woodrow Wilson en Bowdoin en 1975. Además, impartió conferencias en numerosas universidades sobre temas de negocios, planificación, innovación, pronósticos e ingeniería. A lo largo de su carrera, recibió varios reconocimientos por sus contribuciones, incluyendo el premio Ed Cornish “Futurista del Año” y el Shaping Tomorrow Lifetime Achievement Award. Su trabajo y sus innovaciones dejaron una huella duradera en el campo de los estudios del futuro y la previsión estratégica.

Artículos y paper's

1. Di Zio, S., & Gordon, T. (2024). Exploring a Method to Reduce Inconsistency in the Group Analytic Hierarchy Process Using the Delphi Method and Nudge Theory. *Futures*, 103413. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2024.103413>

2. Glenn, J., & Gordon, T. (1997a). Governance and Conflict Developments Collected in Round 1 of the Millennium Project 1996 Look-out Study. *Technological Forecasting and Social Change*, 54(1 SPEC. ISS.), 99–110. [https://doi.org/10.1016/s0040-1625\(96\)00102-3](https://doi.org/10.1016/s0040-1625(96)00102-3)

3. Glenn, J., & Gordon, T. (1997b). The Millennium Project: 1997 State of the Future - Implications for Actions Today. *Technological Forecasting and Social Change*, 56(3), 203–296. [https://doi.org/10.1016/s0040-1625\(97\)00114-5](https://doi.org/10.1016/s0040-1625(97)00114-5)

4. Gordon, T. (1971). Future of futurists. *Futures*, 3(4), 322–323. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(71\)90051-6](https://doi.org/10.1016/0016-3287(71)90051-6)

5. Gordon, T. (1989). Futures research: Did it meet its promise? Can it meet its promise? *Technological Forecasting and Social Change*, 36(1–2), 21–26. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(89\)90005-x](https://doi.org/10.1016/0040-1625(89)90005-x)

6. Gordon, T. (1992a). Chaos in social systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 42(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(92\)90069-6](https://doi.org/10.1016/0040-1625(92)90069-6)

7. Gordon, T. (1992b). The Methods of Futures Research. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 522, 25–35. <https://www.jstor.org/stable/1047416>

8. Gordon, T. (1994a). Cross-impact method. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>

9. Gordon, T. (1994b). Trend impact analysis. In *Futures Research Methodology - V3.0*. <https://bit.ly/3xjPOf4>

10. Gordon, T. (1999). The prospects for accuracy and completeness in forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 62(1–2), 63–71. [https://doi.org/10.1016/s0040-1625\(99\)00019-0](https://doi.org/10.1016/s0040-1625(99)00019-0)

Capítulos de libro

1. Gordon, T. (2009). The real-time Delphi method. In J. Glenn & T. Gordon (Eds.), *Futures Research Methodology - V3.0* (Third ed., pp. 1–17). The Millenium Project. <https://www.millennium-project.org/publications-2/futures-research-methodology-version-3-0/>

2. Gordon, T., & Glenn, J. (2018). Interactive Scenarios. In L. Moutinho & M. Sokele (Eds.), *Innovative Research Methodologies in Management: Volume II* (First ed., pp. 31–61). Palgrave Macmillan Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-64400-4_2

Libros

1. Gordon, T., & Todorova, M. (2019). *Future Studies and counterfactual analysis: Seeds*

of the future (First ed.). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-18437-7>

■ Olaf Helmer (1910 - 2011)

Helmer, estudió matemáticas y lógica en la universidad de Berlín, se desempeñó como asistente de investigación en la universidad de Chicago en Estados Unidos, donde inició sus intereses en la predicción y análisis de pronósticos. Además, trabajó para el Consejo Nacional de Investigación y Defensa con Jhon Williams quien lo invita a formar parte de RAND Corporation en 1946. Es en esta institución donde Helmer al unísono con Norman Dalkey y Nicholas Rescher desarrolla el método Delphi. En 1968 funda el instituto para el futuro.

Artículos y paper's

1. Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. *Management Science*, 9(3), 458–467. <https://www.jstor.org/stable/2627117>

2. Gordon, T., & Helmer, O. (1964). Report on a long-range forecasting study (P-2982; September). <https://www.rand.org/pubs/papers/P2982.html>

3. Gray, P., & Helmer, O. (1976). The Use of Futures Analysis for Transportation Research Planning. *Transportation Journal*, 16(2), 5–12. <http://www.jstor.org/stable/20712406>

4. Helmer, O. (1958). The Prospects of a Unified Theory of Organizations. *Management Science*, 4(2), 172–176. <https://www.jstor.org/stable/2627285>

5. Helmer, O. (1960). Strategic Gaming (P-1902; February). <https://www.rand.org/pubs/papers/P1902.html>

6. Helmer, O. (1961). Gaming the strategic planning process (RM-2905-PR; November). https://www.rand.org/pubs/research_memoranda/RM2905.html

7. Helmer, O. (1964). Convergence of Expert Consensus Through Feedback (P-2973; September). <https://www.rand.org/pubs/papers/P2973.html>

8. Helmer, O. (1966a). A Use of Simulation for the Study of Future Values (P-3443; September). <https://www.rand.org/pubs/papers/P3443.html>

9. Helmer, O. (1966b). The Use of the Delphi Technique in Problems of Educational

Innovations (P-3499; December). <https://www.rand.org/pubs/papers/P3499.html>

10. Helmer, O. (1967a). Analysis of the future: The Delphi Method (P-3558; MArch). <https://www.rand.org/pubs/papers/P3558.html>

11. Helmer, O. (1967a). Methodology of societal studies (P-3611; June). <https://www.rand.org/pubs/papers/P3611.html>

12. Helmer, O. (1967b). New Developments in early forecasting of public problems (P-3576; April). <https://www.rand.org/pubs/papers/P3576.html>

■ Herman Kahn (1922 - 1983)

Estadounidense, futurista de RAND Corporation y estratega militar. Desarrolló modelos estratégicos para anticiparse a lo impensable durante la guerra fría que derivó como un fundamento de la planificación por escenarios. Sus investigaciones se basan en la teoría de juegos y de sistemas aplicados al plano militar y a la economía.

Artículos y paper's

1. Doxiadis, C., Ward, B., Hamamsy, L., Lambo, T., Mead, M., Kahn, H., Isomura, E., Deutsch, K., Chenery, H., Meyerson, M., Anderson, R., Gullander, W., Waddington, C. H., Llewellyn-Davies, Lord, Erikson, E., Merton, R., Gribbs, R., & Sharon, A. (1972). Toward removing global inequalities. *Ekistics*, 34(203), 270–277. <http://www.jstor.org/stable/43618044>

2. Kahn, H. (1957). Techniques of systems analysis (RM-1829-1-PR; June). www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2006/RM1829-1.pdf

3. Kahn, H. (1960b). The Arms Race and Some of Its Hazards. *Daedalus*, 89(4), 744–780. <https://www.jstor.org/stable/20026614>

4. Kahn, H. (1970). Issues of Thermonuclear War Termination. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 392(Nov), 133–172. <http://www.jstor.com/stable/1039578>

5. Kahn, H., & Wiener, A. (1967). The Next Thirty-Three Years: A Framework for Speculation. *Daedalus*, 96(3), 705–732. <https://www.jstor.org/stable/20027066>

6. Kahnt, H. (1966). Nuclear Proliferation and Rules of Retaliation. *The Yale Law*

Journal, 76(1), 77–91. <https://www.jstor.org/stable/794852>

Libros

1. **Kahn, H. (1960a).** On Thermonuclear War. Transaction Publishers.
 2. **Kahn, H. (1962).** Thinking about the unthinkable. Horizon Press.
 3. **Kahn, H. (1965).** On escalation: Metaphors and scenarios (First ed.). Penguin Books.
 4. **Kahn, H. (1976).** The next 200 years. William Morrow and Company.
 5. **Kahn, H. (1979).** World Economic Development 1979 and Beyond. Westview Press / Boulder, Colorado.
 6. **Kahn, H., & Briggs, B. (1972).** Things to come thinking about the 70's and 80's (First ed.). The Maxmillan Company.
 7. **Simon, J., & Kahn, H. (1984).** The Resourceful Earth a Response to Global 2000 (J. Simon & H. Kahn (eds.); First ed.). Basil Blackwell.
-

■ Joseph Coates (1929 - 2014)

Destacado futurólogo y consultor, su interés por el futuro de la tecnología, las políticas públicas y la industria lo llevó a escribir más de 300 artículos. Ayudó al establecimiento de US Office of Technology Assessment (OTA) que se fijó en analizar tendencias tecnológicas y señales débiles emergentes.

Artículos y paper's

1. **Coates, J. (1974).** Some Methods and Techniques for Comprehensive impact assessment. Technological Forecasting & Social Change, 6, 341–357. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(74\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0040-1625(74)90035-3)
2. **Coates, J. (1976a).** Why Think about The Future: Some Administrative-Political Perspectives. Public Administration Review, 36(5), 580–585. <https://www.jstor.org/stable/974240>
3. **Coates, J. (1976b).** The role of formal models in technology assessment. Technological Forecasting and Social Change, 9(1–2), 139–190. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(76\)90048-2](https://doi.org/10.1016/0040-1625(76)90048-2)

- 4. Coates, J. (1977a).** Technological change and future growth: Issues and opportunities. *Technological Forecasting and Social Change*, 11(1), 49–74. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(77\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0040-1625(77)90016-6)
- 5. Coates, J. (1977b).** Aspects of innovation: Public policy issues in telecommunications development. *Telecommunications Policy*, 1(3), 196–206. [https://doi.org/10.1016/0308-5961\(77\)90023-4](https://doi.org/10.1016/0308-5961(77)90023-4)
- 6. Coates, J. (1982).** What is Technology Assessment? *Impact Assessment*, 1(1), 20–24. <https://doi.org/10.1080/07349165.1982.9725925>
- 7. Coates, J. (1989).** Forecasting and planning today plus or minus twenty years. *Technological Forecasting and Social Change*, 36(1–2), 15–20. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(89\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0040-1625(89)90004-8)
- 8. Coates, J. (1991).** Science, Technology, and Human Rights. *Technological Forecasting and Social Change*, 40(4), 389–391. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(91\)90015-8](https://doi.org/10.1016/0040-1625(91)90015-8)
- 9. Coates, J. (1995).** Work and pay in the twenty-first century: An impending crisis. *Employment Relations Today*, 22(1), 17–22. <https://doi.org/10.1002/ert.3910220104>
- 10. Coates, J. (1996a).** The Highly Probable Future. In A. Inzelt & R. Coenen (Eds.), *Knowledge, Technology Transfer and Foresight* (Vol. 8, pp. 173–180). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0351-7_12
- 11. Coates, J. (1996b).** Law and technology in the twenty-first century. *Technological Forecasting and Social Change*, 52(2–3), 255–268. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(96\)00004-2](https://doi.org/10.1016/0040-1625(96)00004-2)
- 12. Coates, J. (1996c).** Herman Kahn: an appreciation. *Futures*, 28(8), 787–789. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(96\)84174-7](https://doi.org/10.1016/0016-3287(96)84174-7)
- 13. Coates, J. (1997).** Historical lessons from technological disruptions: Will the storm always pass? *Technological Forecasting and Social Change*, 54(1), 111–117. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(97\)87501-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)87501-4)
- 14. Coates, J. (1998).** Readyng children for the future. *Technological Forecasting and Social Change*, 57(1–2), 157–165. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(97\)00086-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00086-3)
- 15. Coates, J. (1999).** Looking Ahead: Opportunities and Consequences in Science

and Technology. Research-Technology Management, 42(1), 36–41. <https://doi.org/10.1080/08956308.1999.11671258>

16. Coates, J. (2000). Innovation in the future of Engineering Design. Technological Forecasting and Social Change, 64(2–3), 121–132. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00106-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00106-7)

Capítulos de libro

1. Coates, J. (2003). Future Innovations in Science and Technology. In L. Shavinina (Ed.), Teh international handbook on innovation (First ed., pp. 1073–1093). Pergamon. Libros

1. Coates, J., & Jarratt, J. (1989). What futurists believe. Lomond Publications, Inc. www.lapro prospective.fr/dyn/francais/memoire/texte_fondamentaux/what-futurists-believe-j-f-coates.pdf

■ Spyros Makridakis

Experto mundial de forecasting, profesor emérito en ciencias de la decisión e investigador distinguido, asesor de numerosas organizaciones internacionales. Ha investigado en el IIM de Berlín, profesor visitante del MIT y Harvard. Sus intereses académicos se centran en cómo las tecnologías en el futuro afectan a las empresas y cuáles estrategias serán recurrentes para sacar el máximo provecho de las tendencias emergentes.

Artículos y paper's

1. Hogarth, R., & Makridakis, S. (1981). Forecasting and Planning: An Evaluation. Management Science, 27(2), 115–138. <https://doi.org/10.1287/mnsc.27.2.115>

2. Makridakis, S. (1993). Accuracy measures: theoretical and practical concerns. International Journal of Forecasting, 9(4), 527–529. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(93\)90079-3](https://doi.org/10.1016/0169-2070(93)90079-3)

3. Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. Futures, 90(2017), 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>

4. Makridakis, S., & Hibon, M. (2000). The M3-Competition: results, conclusions and implications. International Journal of Forecasting, 16(4), 451–476. <https://doi.org/10.1016/>

5. Makridakis, S., Hibon, M., & Moser, C. (1979). Accuracy of Forecasting: An Empirical Investigation. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 142(2), 97. <https://doi.org/10.2307/2345077>

6. Makridakis, S., Hogarth, R., & Gaba, A. (2009). Forecasting and uncertainty in the economic and business world. *International Journal of Forecasting*, 25(4), 794–812. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2009.05.012>

7. Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PLOS ONE*, 13(3), e0194889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889>

8. Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2020). The M4 Competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods. *International Journal of Forecasting*, 36(1), 54–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.014>

9. Petropoulos, F., Apiletti, D., Assimakopoulos, V., Babai, M., Barrow, D., Ben Taieb, S., Bergmeir, C., Bessa, R., Bijak, J., Boylan, J., Browell, J., Carnevale, C., Castle, J., Cirillo, P., Clements, M., Cordeiro, C., Cyrino, F., De Baets, S., Dokumentov, A., ... Ziel, F. (2022). Forecasting: theory and practice. *International Journal of Forecasting*, 38(3), 705–871. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.11.001>

10. Wichern, D., Makridakis, S., & Wheelwright, S. (1979). Forecasting: Methods and Applications. *Journal of the American Statistical Association*, 74(367), 733. <https://doi.org/10.2307/2287014>

Libros

1. Makridakis, S. (1990). Forecasting, Planning, and Strategies for the 21st Century. Free Press.

2. Makridakis, S., Wheelwright, S., & McGee, V. (1983). Forecasting: Methods and Applications. Wiley.

3. Makridakis, S., & Wheelwright, S. (2009). Metodos de pronosticos: Forecasting Methods For Management. Editorial Limusa.

4. Hamoudia, M., Makridakis, S., & Spiliotis, E. (2023). Forecasting with Artificial Intelligence (M. Hamoudia, S. Makridakis, & E. Spiliotis (eds.); First ed.). Springer

■ Joseph P. Martino (1931 - 2022)

Escritor, orador, experto en política y ciencia ficción, se graduó en la universidad de Miami en 1953 en Física, realizó su doctorado en matemáticas en Ohio. Fue investigador de la Universidad de Dayton, profesor visitante de la Universidad de Marmara en Estambul y del Instituto de análisis de sistemas aplicados de Viena, Austria. Además, fue miembro de la Asociación Americana para el avance de la Ciencia.

Artículos y paper's

1. Martino, J. (1968). An experiment with the Delphi procedure for long-range forecasting. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-15(3), 138–144. <https://doi.org/10.1109/TEM.1968.6447022>

2. Martino, J. (1971). Citation indexing for research and development management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-18(4), 146–151. <https://doi.org/10.1109/TEM.1971.6448353>

3. Martino, J. (1972). Forecasting the Progress of Technology. In J. Martino (Ed.), *An Introduction to Technological Forecasting* (First ed.). Gordon & Breach.

4. Martino, J. (1980). Technological Forecasting—An Overview. *Management Science*, 26(1), 28–33. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.1.28>

5. Martino, J. (1987). Using precursors as leading indicators of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 32(4), 341–360. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(87\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(87)90051-5)

6. Martino, J. (1992b). Probabilistic technological forecasts using precursor events. *Technological Forecasting and Social Change*, 42(2), 121–131. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(92\)90003-C](https://doi.org/10.1016/0040-1625(92)90003-C)

7. Martino, J. (1993). A comparison of two composite measures of technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 44(2), 147–159. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(93\)90024-2](https://doi.org/10.1016/0040-1625(93)90024-2)

8. Martino, J. (1999). Thirty years of change and stability. *Technological Forecasting and Social Change*, 62(1–2), 13–18. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00011-6)

9. Martino, J. (2003). A review of selected recent advances in technological forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 70(8), 719–733. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(02\)00375-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(02)00375-X)

10. Martino, J. (2010). Some recent advances in technology foresight. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 6(1/2/3), 79. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2010.032667>

11. Martino, J. P., & Chen, K. (1978). Cluster analysis of cross impact model scenarios. *Technological Forecasting and Social Change*, 12(1), 61–71. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(78\)90035-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(78)90035-5)

Libro

1. Martino, J. (1992a). *Technological Forecasting for Decision Making* (Third ed.). McGraw-Hill.

■ Robert Underwood Ayres (1932 - 2023)

Físico de la universidad de Chicago, Doctor en matemáticas del King's College de Londres, se dedicó a promover la sostenibilidad en el medio ambiente y el uso de la tecnología responsable. Contribuyó a Technology forecasting y los estudios de futuro en general ya que la mayor parte de su obra fue interdisciplinaria. Pionero en el campo de la ecología industrial.

Artículos y paper's

1. Ayres, R. (1995). Life cycle analysis: A critique. *Resources, Conservation and Recycling*, 14(3–4), 199–223. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(95\)00017-D](https://doi.org/10.1016/0921-3449(95)00017-D)

2. Ayres, R. (1998). Eco-thermodynamics: economics and the second law. *Ecological Economics*, 26(2), 189–209. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00101-8)

3. Ayres, R. (2008). Sustainability economics: Where do we stand? *Ecological Economics*, 67(2), 281–310. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.009>

4. Ayres, R., Ferrer, G., & Van Leynseele, T. (1997). Eco-efficiency, asset recovery and remanufacturing. *European Management Journal*, 15(5), 557–574. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(97\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(97)00035-2)

5. Ayres, R., Turton, H., & Casten, T. (2007). Energy efficiency, sustainability and

economic growth. *Energy*, 32(5), 634–648. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.06.005>

6. Ayres, R., van den Bergh, J., & Villalba, G. (2025). System Complexity Versus Environmental Sustainability: Theory and Policy. *Complexity*, 2025(1). <https://doi.org/10.1155/cplx/1213388>

7. Ayres, R., & Warr, B. (2005). Accounting for growth: the role of physical work. *Structural Change and Economic Dynamics*, 16(2), 181–209. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2003.10.003>

Capítulos de libro

1. Ayres, R. (2023). The Future of Economics and the Economics of the Future. In R. Ayres (Ed.), *The History and Future of Economics* (pp. 325–354). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26208-1_17

2. Ayres, R. (2021). Machine Computation and Digitization. In R. Ayres (Ed.), *The History and Future of Technology* (pp. 469–517). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71393-5_19

3. Ayres, R., & Kneese, A. (2012). Production, Consumption, and Externalities. In R. Ayres & A. Kneese (Eds.), *The Roots of Logistics* (pp. 363–388). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27922-5_24

Libros

1. Ayres, R. (1969). Technological forecasting and long - range planning. MINCIENCIAS COLOMBIA. <https://repositorio.minciencias.gov.co/handle/20.500.14143/47090> 237 Páginas

2. Ayres, R., & Simonis, U. (1994). Industrial metabolism: restructuring for sustainable development. United Nations University Press.

■ Fabiana Scapolo

Investigadora. Ha participado en estudios de prospectiva para facilitar la innovación, competitividad, seguridad alimentaria y el futuro de las eco industrias. Su tema de investigación primordial está basado en la aplicación de la prospectiva como un instrumento en la formulación de políticas. Actualmente es la jefa de unidad de Societal Resilience and Security, Demography and Migration de la comisión europea.

Artículos y paper's

1. **Boden, M., Johnston, R., & Scapolo, F. (2012).** The role of FTA in responding to grand challenges: ¿A new approach for STI policy? *Science and Public Policy*, 39(2), 135–139. <https://doi.org/10.1093/scipol/scs026>
2. **Gavigan, J., & Scapolo, F. (1999).** A comparison of national foresight exercises. *Foresight*, 1(6), 495–517. <https://doi.org/10.1108/14636689910802368>
3. **Gavigan, J., Zappacosta, M., Ducatel, K., Scapolo, F., & di Pietrogiacomo, P. (2001).** Challenges and priorities for European research: a foresight review. *Foresight*, 3(4), 261–271. <https://doi.org/10.1108/14636680110803265>
4. **Georghiou, L., Harper, J., & Scapolo, F. (2011).** From priority-setting to societal challenges in future-oriented technology analysis. *Futures*, 43(3), 229–231. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.001>
5. **Haegeman, K., Marinelli, E., Scapolo, F., Ricci, A., & Sokolov, A. (2013).** Quantitative and qualitative approaches in future-oriented Technology Analysis (FTA): From combination to integration? *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.002>
6. **Könnölä, T., Scapolo, F., Desruelle, P., & Mu, R. (2011).** Foresight tackling societal challenges: Impacts and implications on policy-making. *Futures*, 43(3), 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.004>
7. **Pólvora, A., Nascimento, S., Lourenço, J., & Scapolo, F. (2020).** Blockchain for industrial transformations: A forward-looking approach with multi-stakeholder engagement for policy advice. *Technological Forecasting and Social Change*, 157, 120091. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120091>
8. **Scapolo, F. (2005).** New horizons and challenges for future-oriented technology analysis—The 2004 EU–US seminar. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(9), 1059–1063. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.02.002>

Libros

1. **Asikainen, T., Bitat, A., Bol, E., Czako, V., Marmier, A., Muench, S., Murauskaite, L., Scapolo, F., & Stoermer, E. (2021).** The future of jobs is green. European Commission. <https://doi.org/10.2760/218792>
2. **Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M., & Scapolo, F. (2022).**

Towards a Green & Digital Future. European Union. <https://doi.org/10.2760/54>

3. Vesnic, L., Stoermer, E., Rudkin, J., Scapolo, F., & Kimbell, L. (2019). The Future of Government 2030+: A Citizen-Centric Perspective on New Government Models. In International Journal. European Union. <https://doi.org/10.2307/40197692>

Capítulos de libro

1. Maggio, A., Scapolo, F., van Criekinge, T., & Serraj, R. (2018). Global Drivers and Megatrends in Agri-Food Systems. In R. Serraj & P. Pingali (Eds.), Agriculture & Food Systems To 2050: Global Trends, Challenges And Opportunities (Issue January, pp. 47–83). https://doi.org/10.1142/9789813278356_0002

■ Matthias Weber

Ingeniero de procesos y Cientista político, PhD. en economía de la Universidad de Stuttgart, investigador de la comisión europea y de la Universidad de Manchester. Su investigación se basa en la transformación de sistemas sociotécnicos urbanísticos, gobernanza y la incorporación de Foresight en la formulación de políticas públicas. Además, es director del centro de sistemas y políticas de innovación de Austrian Institute of Technology (AIT).

Artículos y paper's

1. Aguirre, C., & Weber, M. (2018). Foresight for shaping national innovation systems in developing economies. Technological Forecasting and Social Change, 128, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.025>

2. Budde, B., Alkemade, F., & Weber, M. (2012). Expectations as a key to understanding actor strategies in the field of fuel cell and hydrogen vehicles. Technological Forecasting and Social Change, 79(6), 1072–1083. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.12.012>

3. Eriksson, A., & Weber, M. (2008). Adaptive Foresight: Navigating the complex landscape of policy strategies. Technological Forecasting and Social Change, 75(4), 462–482. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.02.006>

4. Gallouj, F., Weber, M., Stare, M., & Rubalcaba, L. (2015). The futures of the service economy in Europe: A foresight analysis. Technological Forecasting and Social Change, 94, 80–96. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.06.009>

5. Havas, A., Schartinger, D., & Weber, M. (2010). The impact of foresight on innovation

policy-making: recent experiences and future perspectives. *Research Evaluation*, 19(2), 91–104. <https://doi.org/10.3152/095820210X510133>

6. Weber, Matthias, & Rohrer, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. *Research Policy*, 41(6), 1037–1047. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.10.015>

7. Weber, Matthias, & Truffer, B. (2017). Moving innovation systems research to the next level: towards an integrative agenda. *Oxford Review of Economic Policy*, 33(1), 101–121. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grx002>

Capítulos de libro

1. Wanzenböck, I., Wesseling, J., Frenken, K., Hekkert, M., & Weber, M. (2020). A framework for mission-oriented innovation policy: Alternative pathways through the problem–solution space. *Science and Public Policy*. <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa027>

2. Weber, Matthias, & Hemmelskamp, J. (2005). Towards Environmental Innovation Systems (Matthias Weber & J. Hemmelskamp (eds.)). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/b138889>

Libros

1. Weber, M., Hoogman, R., Lane, B., & Schot, J. (1999). Experimenting with sustainable transport innovations : a workbook for strategic niche management (Universite).

■ Alan Porter

Profesor emérito de ingeniería industrial, sistemas y políticas públicas en Georgia Tech. Autor o Coautor de 230 libros y artículos. Su investigación actualmente se centra en el análisis de tecnologías emergentes basados en la elaboración de perfiles de I+D, analizando recopilaciones de registros empíricos de bases de datos como Web of Science y Derwent Patents.

Artículos y paper's

1. Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H., Pistorius, C., & Porter, A. (2001). On The Future of Technological Forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 67(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)

- 2. Porter, A., Cohen, A., David, J., & Perreault, M. (2007).** Measuring researcher interdisciplinarity. *Scientometrics*, 72(1), 117–147. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1700-5>
- 3. Porter, A., Cunningham, S., Banks, J., Roper, A., Mason, T., & Rossini, F. (2011).** *Forecasting and Management of Technology* (Second ed.). Wiley. <https://users.sussex.ac.uk/~ir28/docs/porter-rafols-2009.pdf>
- 4. Porter, A., & Detampel, M. (1995).** Technology opportunities analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 49(3), 237–255. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(95\)00022-3](https://doi.org/10.1016/0040-1625(95)00022-3)
- 5. Porter, A., Roessner, D., Cohen, A., & Perreault, M. (2006).** Interdisciplinary research: meaning, metrics and nurture. *Research Evaluation*, 15(3), 187–196. <https://doi.org/10.3152/147154406781775841>
- 6. Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H., Pistorius, C., & Porter, A. (2001).** On the Future of Technological Forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 67(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)
- 7. Porter, A., & Cunningham, S. (2005).** *Tech Mining: exploiting new technologies for competitive advantage*. Wiley.
- 8. Porter, A., Cunningham, S., Banks, J., Roper, A., Mason, T., & Rossini, F. (2011).** *Forecasting and Management of Technology* (Second ed.). Wiley. <https://users.sussex.ac.uk/~ir28/docs/porter-rafols-2009.pdf>
- 9. Porter, A., & Detampel, M. (1995).** Technology opportunities analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 49(3), 237–255. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(95\)00022-3](https://doi.org/10.1016/0040-1625(95)00022-3)
- 10. Porter, A., Roessner, D., Cohen, A., & Perreault, M. (2006).** Interdisciplinary research: meaning, metrics and nurture. *Research Evaluation*, 15(3), 187–196. <https://doi.org/10.3152/147154406781775841>
- 11. Porter, A., Rossini, F., Carpentier, S., & Roper, A. (1980).** *A Guidebook for technology assessment and impact analysis*. Elsevier Science Ltd.
- 12. Porter, A., Youtie, J., Shapira, P., & Schoeneck, D. (2008).** Refining search terms for nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(5), 715–728. <https://doi.org/10.1007/s11051-008-9388-8>

13. Qiao, Y., Porter, A., Huang, Y., Xu, H., & Wang, X. (2025). Comparing examiner citations and applicant citations: insights into technology evolution. *Scientometrics*, 130(2), 537–563. <https://doi.org/10.1007/s11192-025-05245-x>

14. Rafols, I., Porter, A., & Leydesdorff, L. (2010). Science overlay maps: A new tool for research policy and library management. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(9), 1871–1887. <https://doi.org/10.1002/asi.21368>

15. Watts, R., & Porter, A. (1997). Innovation forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 56(1), 25–47. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(97\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00050-4)

16. Wu, M., Zhang, Y., Markley, M., Cassidy, C., Newman, N., & Porter, A. (2024). COVID-19 knowledge deconstruction and retrieval: an intelligent bibliometric solution. *Scientometrics*, 129(11), 7229–7259. <https://doi.org/10.1007/s11192-023-04747-w>

Libros

1. Porter, A., & Cunningham, S. (2005). *Tech Mining: exploiting new technologies for competitive advantage*. Wiley.

2. Porter, A., Rossini, F., Carpentier, S., & Roper, A. (1980). *A Guidebook for technology assessment and impact analysis*. Elsevier Science Ltd.

■ Thomas H. Davenport

Estadounidense, profesor distinguido en tecnologías de la información y gestión de Gabson College, asesor senior y miembro de Massachusetts Institute of Technology (MIT). Dirige programas de inteligencia artificial (IA) y analítica, gestión del conocimiento, gestión de procesos e innovación. Trabaja como consultor en diversas empresas y startups en el campo de la analítica y la IA.

Artículos y paper's

1. Davenport, T. (1998b). Putting the enterprise into the enterprise system. *Harvard Business Review*, 76(4), 121–131. [http://facweb.cs.depaul.edu/jnowotarski/is425/hbr/enterprise systems davenport 1998 jul-aug.pdf](http://facweb.cs.depaul.edu/jnowotarski/is425/hbr/enterprise%20systems%20davenport%201998%20jul-aug.pdf)

2. Davenport, T. (2018). Artificial Intelligence for the Real World. <https://hbr.org/webinar/2018/02/artificial-intelligence-for-the-real-world>

3. Davenport, T., & Beck, J. (2018). The Attention economy. Ubiquity, 2001(May). <https://doi.org/10.1145/376625.376626>

4. Davenport, T., De Long, D., & Beers, M. (1998). Successful Knowledge Management projects. Sloan Management Review, 39(2), 43–57. <https://www.proquest.com/openview/w/76ca6820cf905f6422a30b881ac0c9ea/1?cbl=26142&pq-origsite=gscholar>

5. Davenport, T., & Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. Future Healthcare Journal, 6(2), 94–98. <https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94>

6. Grewal, D., Saturnino, C., Davenport, T., & Guha, A. (2024). How generative AI is shaping the future of marketing. Journal of the Academy of Marketing Science. <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01064-3>

7. Kokina, J., Blanchette, S., Davenport, T., & Pachamanova, D. (2025). Challenges and opportunities for artificial intelligence in auditing: Evidence from the field. International Journal of Accounting Information Systems, 56, 100734. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2025.100734>

Capítulos de libro

1. Davenport, T., & Short, J. (1990). The new industrial engineering information technology and business process redesign (No. 213; Sloan WP No. 3190-90). <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/48613/newindustrialeng00dave.pdf>

Libros

1. Davenport, T. (1992). Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology. Harvard Business Review Press.

2. Davenport, T. (1997). Information ecology: why technology is not enough for success in the information age. Oxford University Press.

3. Davenport, T. (1998a). Conhecimento empresarial. Campus.

4. Davenport, T., & Harris, J. (2017). Competing on analytics: the new science of winning. Harvard Business Press.

5. Davenport, T., & Prusak, L. (1998). Working knowledge (First ed.). Harvard Business School.

■ Ian Miles

Psicólogo de la universidad de Manchester. Sus investigaciones son variadas, pero se han centrado en innovación tecnológica y sectores de servicios como fuentes de creación. Sus intereses más amplios refieren a las consecuencias sociales de los cambios tecnológicos y los métodos prácticos de Foresight. Ian forma parte de los consejos editoriales de las revistas *Technological Forecasting and Social Change*, *Foresight* e *International Journal of Foresight and Innovation Policy*. Sus intereses investigativos en la actualidad incluyen estudios de innovación, Foresight, sociedad de la información e indicadores sociales.

Artículos y paper's

- 1. Coombs, R., & Miles, I. (2000).** Innovation, Measurement and Services: The New Problematique. In *Innovation Systems in the Service Economy. Economics of Science, Technology and Innovation* (pp. 85–103). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4425-8_5
- 2. Djellal, F., Gallouj, F., & Miles, I. (2013).** Two decades of research on innovation in services: Which place for public services? *Structural Change and Economic Dynamics*, 27, 98–117. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2013.06.005>
- 3. Kim, J., He, N., & Miles, I. (2023).** Live Commerce Platforms: A New Paradigm for E-Commerce Platform Economy. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 18(2), 959–975. <https://doi.org/10.3390/jtaer18020049>
- 4. Miles, I. (2008).** Patterns of innovation in service industries. *IBM Systems Journal*, 47(1), 115–128. <https://doi.org/10.1147/sj.471.0115>
- 5. Miles, Ian. (1993).** Services in the new industrial economy. *Futures*, 25(6), 653–672. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90106-4](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90106-4)
- 6. Miles, Ian. (2000).** Services innovation: coming of age in the knowledge-based economy. *International Journal of Innovation Management*, 04(04), 371–389. <https://doi.org/10.1142/S1363919600000202>
- 7. Miles, Ian. (2005).** Knowledge intensive business services: prospects and policies. *Foresight*, 7(6), 39–63. <https://doi.org/10.1108/14636680510630939>

Capítulos de libro

1. Miles, Ian. (1995). Innovation in Services. In M. Dogson & R. Rothwell (Eds.), The handbook of industrial innovation. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781781954201.00025>

Libros

1. Metcalfe, S., & Miles, I. (1999). Innovation systems in the service economy: measurement and case study analysis. Springer Science & Business Media

2. Miles, Ian, & Green, L. (2008). Hidden Innovation in the Creative Industries. https://e-space.mmu.ac.uk/624532/1/hidden_innovation_creative_industries_report.pdf

3. Miles, Ian, Kastrinos, N., Flanagan, K., Bilderbeek, R., den Hertog, P., Huntink, W., & Bouman, M. (1995). Knowledge-intensive business services. European Commission. https://research.manchester.ac.uk/files/32800224/FULL_TEXT.PDF

Descubrir para anticipar. Elementos y aplicaciones de la prospectiva tecnológica ofrece una revisión integral de la evolución, fundamentos, métodos y aplicaciones de la prospectiva tecnológica como disciplina para orientar la innovación y la toma de decisiones estratégicas en contextos de alta incertidumbre.

La obra examina los principales enfoques del campo -Technology Foresight, Technology Forecasting, Technology Futures Analysis y la Dinámica de Sistemas-, destacando sus aportes, diferencias y complementariedades. Asimismo, presenta los métodos más utilizados para anticipar trayectorias tecnológicas, identifica aplicaciones en sectores estratégicos y desarrolla un análisis bibliométrico de la producción científica internacional entre 1992 y 2025, identificando autores, revistas y temas emergentes.

Finalmente, ofrece un panorama de la prospectiva tecnológica en América Latina y subraya el papel de las nuevas tecnologías, la inteligencia artificial, la vigilancia tecnológica y el análisis de señales débiles para fortalecer las capacidades prospectivas, el diseño de políticas públicas y la gestión de la innovación en gobiernos, empresas y organizaciones.



**CENTRO DE ESTUDIOS PROSPECTIVO
DE CUYO**

ISBN 978-631-90402-8-9

