

Análisis metodológico de los estudios prospectivos que exploran el futuro de la bioeconomía

A methodological analysis of foresight studies on bioeconomy's future

Marco Aurelio Jaso-Sánchez ¹  <https://orcid.org/0000-0002-0537-1690>

¹ Departamento de Estudios Institucionales, Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Cuajimalpa, ✉ marco_jaso@yahoo.com

© Universidad De La Salle Bajío (México)

Recibido: 22 – 11 – 2019 / Aceptado: 01 – 02 – 2020

Resumen

Introducción: La innovación basada en ciencias de la vida aspira a hacer frente a las metas ambientales y de desarrollo. En este contexto nos proponemos caracterizar las metodologías para explorar el futuro de la bioeconomía. En virtud de que la prospectiva tecnológica incorpora diversas herramientas para hacer frente a la complejidad tecnológica y social, nos interesa identificar cuáles han predominado en la investigación académica y cómo se han complementado para explorar el desarrollo del sector y diseñar escenarios de futuro.

Método: Condujimos una investigación documental, basada en revistas académicas indizadas en Scopus. Emprendimos un análisis bibliométrico sobre una base de 31 artículos de investigación publicados entre 2015 y 2019. Continuamos con una revisión de la literatura con el propósito de codificar variables sobre el alcance y la metodología, a fin de estar en condiciones de comparar nuestros resultados con las mejores prácticas desprendidas del Diamante de Popper. Clasificamos las herramientas de prospectiva encontradas conforme a su dependencia de fuentes de “evidencia”, “experticia”, “interacción social” y “creatividad”. Finalmente, realizamos un análisis de la red de complementariedades entre enfoques y herramientas en el programa Gephi 0.9.2.

Resultados: Con relación al alcance, predominó la exploración de futuros con escenarios hacia el 2030 (33%) y 2050 (5%), con preferencia por la escala nacional (43%), por encima de la internacional (38%) y subnacional (20%), en temas relacionados con la factibilidad ambiental y económica de la energía y la biomasa, y en menor medida sobre el análisis de la bioeconomía en su conjunto. En términos de enfoque metodológico, prevalecieron las herramientas basadas en evidencia cuantitativa (71%) y en la opinión de expertos (21%); marginando la incorporación de la opinión de diversos actores sociales (8%) y el uso de herramientas basadas en creatividad (0%).

De un total de 33 herramientas de uso común en la práctica prospectiva, se emplearon 11, optando por la incorporación de 1 a 2 por ejercicio (1.3 en promedio).

Conclusión: Nuestros hallazgos se distinguen de estudios previos sobre ejercicios prospectivos que habían documentado la escasa relevancia del sector de estudio en la elección de las herramientas y mostraban la prevalencia de herramientas cualitativas. Por otro lado, corroboran otros estudios que han comenzado a documentar el surgimiento de nuevos campos de aplicación y nuevas combinaciones de herramientas. Para el sector de bioeconomía, consideramos que la cantidad de enfoques, y el nivel de combinación de herramientas empleadas, resulta limitado para explorar la transición hacia un sistema económico sustentable apoyado por la innovación en ciencias de la vida. El análisis de tendencias tecnológicas necesita retroalimentarse de la opinión de actores sociales clave e incorporar elementos creativos en correspondencia con la multiplicidad de factores que explican la adopción de nuevas tecnologías por amplios colectivos sociales.

Palabras clave: metodología prospectiva; diamante de Popper; bioeconomía; gephi

Abstract

Introduction: Innovation based on life sciences aims to meet environmental and development goals. Consequently, this paper aims to characterize the methodologies employed to explore bioeconomy's future. Relying on the technology foresight's capacity to combine tools to deal with technical and social complexity, we are interested in identifying which ones have predominated in scholarly research and how they supplement each other to explore the sector's development and to design future scenarios.

Method: We conducted documentary research based on scholarly journals indexed at Scopus. Firstly, we performed a bibliometric analysis based on a dataset of 31 research articles published between 2015 and 2019. Secondly, we carried out a literature review in order to codify scope and methodology variables, so as to compare our results against the best practices as depicted by the Poppers' Diamond. Found foresight tools were classified according to their reliance on "evidence", "expertise", "social interaction" and "creativity" sources. Finally, a network analysis and depiction of the complementarities among approaches and tools was performed in Gephi 0.9.2 software.

Results: Regarding the scope, we found an interest to explore scenarios towards 2030 (33%) and 2050 (5%), as well as a preference for national scale (43%), above international (38%) and subnational (20%) jurisdictions. Themes related energy and biomass's environmental and

economic feasibility, and to a minor extent, on bioeconomy as a whole. Concerning the methodological approaches, we found a strong prevalence on quantitative evidence (71%) and on experts' opinion (21%) tools, neglecting the use of social interaction (8%) and creativity (0%) tools. 11 out of 33 customary tools were used in the foresight research articles, incorporating between 1 and 2 in each exercise (1.3 in average).

Conclusion: Our findings are distinguished from previous studies on prospective exercises that had documented the low relevance of the study sector in the choice of tools and showed the prevalence of qualitative tools. On the other hand, our results corroborate other studies that have detected the emergence of new fields of application and new combinations of tools. Within the bioeconomy's case, by comparing the resulting approaches and tools against recommendations gathered from foresight literature, we find that both the number of tools employed as their level of combination become limited to explore transitions towards a new sustainable economic system supported by innovation resulting from life sciences. We contend that the analysis of technological trends needs to be supplemented by the analysis coming out from social interaction and creativity tools, in correspondence with the multiplicity of factors explaining the adoption of new technologies by broad social groups.

Keywords: foresight methodologies; popper's diamond; bioeconomy; gephi

Introducción

La bioeconomía se vislumbra como un paradigma promisorio para hacer frente a una creciente demanda mundial por alimentos, medicinas, energía y materias primas renovables o biodegradables, en correspondencia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU planteados en el año 2015 (Daar *et al.*, 2003, Sachs *et al.*, 2015). Sin embargo, la transición a una economía basada en la innovación en las ciencias de la vida, no se ha dado en la escala ni con la velocidad deseada (Yuan *et al.*, 2011). Frente a un horizonte incierto, que no deja claro cuándo o cómo las capacidades de investigación y desarrollo en este campo se traducirán en nuevas industrias y sistemas de consumo, o si por el contrario, los retos ambientales y sociales sobrepasarán la capacidad de los sistemas de ciencia y tecnología para encontrar soluciones (Schot y Steinmueller, 2016), resulta indispensable preguntarnos cómo las comunidades académicas exploran estos futuros.

Luego de revisar estudios clásicos y contemporáneos sobre la disciplina prospectiva (Berger, 1957; Godet, 1982; Georghiou *et al.*, 2008 y Piirainen y Gonzalez, 2015, entre otros), nos hemos formado la convicción que la capacidad de diagnosticar nuestro pasado y presente, así como de identificar amenazas y oportunidades en aras de visualizar escenarios de futuro, es un tema que se puede abordar desde dos lecturas. Una de ellas es de naturaleza filosófica e implica el análisis de la toma de consciencia del sujeto(s) con respecto a su papel social y posibilidades de incidir en ciertos aspectos de su futuro (Berger, 1957; Godet, 1982); mientras que una segunda lectura es de naturaleza operativa, y se relaciona con los métodos e instrumentos para elaborar diagnósticos, ordenar y sintetizar información, construir consensos y coordinar acciones en el contexto de la planeación estratégica (Medina *et al.*, 2006; Baena, 2015). Si bien ambas son fundamentales y se correlacionan, en este artículo nos concentramos en la segunda lectura.

En este sentido, compartimos la opinión de Cuhls, *et al.*, (2015) sobre el hecho de que la capacidad de comprender la dinámica de un sector como la bioeconomía, describir sus tendencias y construir escenarios de futuro, depende de manera importante de las herramientas empleadas para complementar el conocimiento, lidiar con la complejidad en la interacción de variables ambientales, sociales, económicas, políticas y tecnológicas Medina y Ortegón (2006). Por estas razones, ante el desafío de la sustentabilidad, consideramos pertinente identificar con qué herramientas trazamos tendencias y construimos consensos, pues la calidad de los mismos impactará tanto en la toma de consciencia en materia de retos y oportunidades, como en la construcción de planes y acciones, y aun de manera más importante: en nuestra capacidad de trascender inercias y construir nuevos sistemas de pensamiento, producción y consumo.

Identificar el camino que conduce de una aspiración basada en ciencia y tecnología a un sistema económico y social que la implemente, no es un asunto trivial. Para apoyar esta finalidad, la prospectiva científica y tecnológica ha madurado sus metodologías y herramientas (Gándara y Osorio, 2014; Jaso, 2016). En virtud del interés de académicos por fomentar la bioeconomía como paradigma alternativo, en este artículo nos proponemos como objetivos identificar en primer lugar, en qué medida esta comunidad se ha apoyado en ejercicios de prospectiva formales, mediante la evaluación de su alcance temático, espacial y temporal, caracterizando sus enfoques y herramientas. En segunda instancia, valoramos si en los ejercicios de prospectiva identificados se combinan las herramientas atendiendo a las mejores prácticas que la teoría y metodología prospectiva proponen en la actualidad (Popper, 2008a).

Si bien no hemos revisado la totalidad de ejercicios prospectivos sobre bioeconomía, sino que nos hemos concentrado intencionalmente en la muestra de ejercicios académicos que usan este término de manera expresa, tal nivel de especificidad ha permitido que nuestros hallazgos controviertan conclusiones de Popper (2008b), quien en una amplia revisión multisectorial encontró una predominancia de herramientas cualitativas y que no existía correlación entre la selección de herramientas prospectivas y los sectores objeto de estudio. El análisis de nuestra muestra reveló que en el caso de la bioeconomía, la convergencia de las tradiciones disciplinarias de la biología y la economía sí influyó en la selección de herramientas basadas en la modelación cuantitativa, las cuales resultaron predominantes. Lo relevante del hallazgo radica en que este sesgo contraviene las recomendaciones metodológicas para la realización de ejercicios prospectivos en favor de un equilibrio metodológico entre herramientas cuantitativas y cualitativas. En este sentido, nuestros resultados se enmarcan en los hallazgos de Saritas y Burmaoglu (2015) quien detectó que el incremento de estudios prospectivos sobre ciencias ambientales y ecología se correlacionaba con la modelación dinámica, sin haber identificado disciplinas específicas o comunidades de práctica, tal como sí lo hemos hecho nosotros.

Buenas prácticas de métodos prospectivos

Teóricos de la prospectiva como Godet (1982), Loveridge (2008), y Piirainen y González (2015), coinciden en identificar dos efectos derivados de su práctica: el primero consiste en la generación de conocimiento relacionado con la comprensión de un campo de la actividad socioeconómica y sus consecuentes descripciones del futuro; mientras que el segundo radica en la construcción de nuevas habilidades derivadas del proceso mismo de generación del conocimiento, éstas dependen del uso de enfoques y herramientas específicas. Dichas habilidades resultan tanto de la interacción entre actores alejados física y cognitivamente, así como de la combinación de fuentes de información de naturaleza disímil y complementaria. Este doble efecto pone de relieve la necesidad de estudiar cómo se conducen los ejercicios prospectivos y con qué métodos se puede obtener el mayor beneficio de ellos. Esto se puede comprender revisando a continuación el proceso por el cual se han desarrollado (Popper, 2008b; EFMN, 2009).

En sus orígenes, entre las décadas de 1960 y 1970, los ejercicios prospectivos tendieron a apoyarse en dos fuentes de datos principales. Una de ellas se basó en el aprovechamiento de datos cuantitativos, con lo cual era factible extrapolar series, modelar el comportamiento de variables,

analizar tendencias bibliométricas y patentométricas, e incorporar esos datos a la construcción de indicadores. Se podía así monitorear tecnologías clave, analizar las mejores prácticas o identificar mapas de desarrollo tecnológico (Zeraoui y Balbi, 2011). En cambio, la segunda fuente estaba basada en el aprovechamiento de información cualitativa obtenida de expertos, recabada mediante entrevistas, cuestionarios, paneles, ensayos, conferencias y otros instrumentos de observación. Sin embargo, conforme se diversificaron los campos de conocimiento y se dinamizó la interacción económica, política y social en las décadas siguientes, se generaron nuevas fuentes de incertidumbre que rebasaron la capacidad de anticipación de ambas fuentes (Loveridge, 2008).

Por esa razón, partir de 1980 y 1990, los prospectivistas ensayaron la incorporación de otras dos fuentes de datos. La tercera está basada en la interacción entre actores sociales heterogéneos y no únicamente expertos académicos. Así, las opiniones y preferencias de consumidores, representantes políticos y ciudadanos, empresarios, funcionarios públicos, activistas y líderes de opinión fueron recabadas mediante foros, congresos, talleres y paneles ciudadanos, incorporándolas al análisis de partes interesadas, sistemas de sondeo y votación, matrices de actores y análisis morfológico entre otras herramientas. De esta manera, las variables científicas y tecnológicas pudieron ser contextualizadas con variables sociales, ideológicas y políticas que han resultado determinantes para explicar el apoyo o reticencia a ciertas tecnologías (Georghiou *et al.*, 2008). Por su parte, la cuarta fuente de datos está basada en la creatividad, y responde a la necesidad de ensayar combinaciones originales de la información y conocimiento existente, incorporando la intuición, la genialidad y la creatividad de individuos, permitiendo romper con el pensamiento rutinario y sus inercias. Así, los métodos prospectivos han incorporado ensayos de ciencia ficción, juegos de roles, pronósticos geniales, la identificación de eventos poco probables pero de gran impacto¹, entre algunas herramientas para generar eventos y contextos difíciles de concebir por los métodos anteriores, enriqueciendo la construcción de escenarios (Giaoutzi y Sapio, 2013).

Rafael Popper (2008a) ha acomodado las 33 herramientas más usuales al interior de un polígono de cuatro ángulos, conocido como el Diamante de Popper. Su esquema tiene la virtud de posicionar las herramientas de acuerdo a su dependencia de alguna de las cuatro fuentes de información ya descritas. Ha colocado en las esquinas las herramientas más representativas de cada fuente, mientras que en el centro se ubican las que permiten reflexionar y procesar información.

¹ La identificación de este tipo de eventos fue trabajada bajo una herramienta conocida en la literatura especializada como *Wildcards* (Hiltunen, 2006).

Las limitaciones de tiempo y recursos que enfrenta cualquier ejercicio prospectivo vuelven idealista emplear todas las herramientas simultáneamente; sin embargo, incluir al menos una de cada fuente o sector ha demostrado ser una práctica conveniente por las razones que explicaremos a continuación. La modelación, el análisis de series de tiempo u otras herramientas basadas predominantemente en información cuantitativa tienen como fortaleza arrojar inferencias basadas en evidencia objetiva; sin embargo, las variables y datos disponibles no siempre capturan la complejidad tecnológica del sector bajo estudio (Bijker *et al.*, 1987), de ahí que sea indispensable complementarlas con las herramientas basadas en la experticia. La opinión de los expertos (por lo regular heterogénea), recabada mediante entrevistas o paneles servirá para interpretar, valorar, corroborar, corregir, matizar, discriminar y profundizar los reportes estadísticos. La retroalimentación continua entre ambos tipos de herramientas puede ser muy provechosa (Denzin *et al.*, 2005; Neuman, 2014).

No obstante las virtudes anteriores, las conclusiones resultantes de la interacción entre académicos suelen tener la carga de los sesgos cognitivos, preferencias diversas e intereses particulares o de grupo, sean estos conscientes o inconscientes; por lo cual algunos de sus pronósticos pueden verse limitados. El devenir de una tecnología embrionaria suele construirse a partir de la interacción de numerosos actores sociales, algunos de los cuales la apoyarán u objetarán a partir de sus posiciones éticas o ideológicas, otros en función de la defensa de sus intereses económicos o políticos, algunos más por la manera en la que la incorporarán a su vida cotidiana (Latour, 2005; Stirling, 2008). De ahí que sea muy útil rescatar las necesidades, opiniones y visiones de actores que, aunque alejados de la práctica de la investigación y desarrollo, resultan clave para la configuración de nuevos mercados y su respaldo institucional. En este sentido las herramientas basadas en la interacción social, como los paneles o talleres con tomadores de decisiones, líderes de opinión y ciudadanos, se convierten en una especie de útil simulador que evalúa potenciales innovaciones en un contexto social (Magruk, 2011; Neuman, 2014).

Hasta aquí, las herramientas anteriores permitieron a los prospectivistas lidiar con la abundancia y heterogeneidad de la información, generando parámetros de certidumbre e incertidumbre. Necesitan ahora encontrar soluciones a problemas complejos, hallar combinaciones inéditas del conocimiento existente, anticipar riesgos y generar innovaciones radicales. Se abre entonces un espacio para la creatividad. Entran en escena los ensayos de ciencia ficción, los pronósticos basados en la genialidad, la identificación de eventos poco probables pero de gran

impacto, entre otros. Estos nos ayudarán a cristalizar la información generada en escenarios específicos (Manu, 2007; Zhukovskaya, 2015).

Es importante advertir que si bien hemos dado una secuencia a la combinación de herramientas con la final de justificar su complementariedad, en realidad, pueden emplearse en cualquier otro orden. Describamos a continuación algunos de los principales retos, oportunidades y conceptualizaciones sobre la bioeconomía, área sobre la cual han comenzado a ensayarse estudios prospectivos.

Medio ambiente y concepto de bioeconomía

Las expectativas sobre la capacidad de la bioeconomía para enfrentar retos ambientales y las necesidades del crecimiento poblacional y el desarrollo, son muy amplias. Las vinculadas con la alimentación² y la sustitución del plástico convencional por plástico bio-basado y biodegradable³ son tan solo dos ilustraciones de un abanico muy amplio de aspiraciones. En este contexto, académicos y funcionarios han discutido sobre las áreas de conocimiento que sustentan este desarrollo tecnológico y el tipo de impactos deseados. De esta manera, se ha transitado de visiones más estrechas de crecimiento económico basado en industrias intensivas en biotecnología, hacia visiones que enfatizan el uso de recursos biológicos renovables o bien el uso sustentable del conocimiento y la innovación (Bugge, Hansen y Klitkou, 2016).

Las definiciones sobre qué deberíamos entender por bioeconomía se renuevan y compiten entre sí. Sin embargo, a nivel nacional e internacional emerge un consenso creciente sobre su ámbito y lo que se espera de ella.

Las agencias del gobierno estadounidense, por ejemplo, convinieron en definir a la bioeconomía como: “La conversión global industrial de la utilización sustentable de biomasa acuática o terrestre en energía, productos intermedios y finales para el beneficio económico, ambiental y de seguridad nacional” (DoE *et al.*, 2016, 9). En tanto que la Comisión Europea

² Se espera que la población mundial actual de 7,700 millones de personas se convierta en 9,700 millones para el 2050 (ONU, 2019). De Chant (2012) ilustró que si los países en vías de desarrollo aspiraran a emular el patrón de consumo de sociedades con mayor ingreso, rebasaríamos claramente la capacidad del planeta para sostenernos; vivir bajo el patrón de consumo de Costa Rica requeriría 1.4 planetas Tierra, mientras que vivir con el estilo de consumo de los Estados Unidos demandaría que el planeta se multiplique por 4.1.

³ Diversos estudios han documentado que entre el 75% y 95% de la contaminación de las costas y mares es originada por plásticos (Bergman *et al.*, 2015; Litterbase, 2019). Como respuesta, la investigación y desarrollo (I+D) biotecnológica ha dado lugar a la innovación radical de los bioplásticos biodegradables. Se estima que a nivel global el volumen de bioplásticos en el mercado del plástico representa el 2% (Chinthapalli *et al.*, 2019, 3), con una tasa de crecimiento media anual esperada del 17% entre 2017 y 2021 (Technavio, 2017).

ejemplifica los esfuerzos internacionales por arribar a consensos. Actualmente define por bioeconomía “...la producción de recursos renovables y su conversión en comida, alimento, productos bio-basados y bio-energía. Incluye la agricultura, la silvicultura, la pesca, la ganadería, la producción de pulpa y papel, así como secciones de las industrias química, biotecnológica y energía” (EC, 2012, 3). Sin embargo, la bioeconomía es mucho más que un agregado de industrias; desde un enfoque sistémico implica la construcción de nuevos acuerdos sociales para entender el crecimiento y el desarrollo, la reorientación de patrones de producción y consumo, la reorganización de equilibrios políticos y la co-evolución de un sistema de generación de conocimiento e innovación. Mathijs *et al.* (2015, 16) lo sintetizan así: “A transition to a sustainable bioeconomy is a process that cannot be governed only by markets and technology. It requires a constant monitoring of these principles and a strong strategic orientation based on a clear definition of societal challenges, a holistic view, reflexive governance and a sound base of empirical evidence”.

Método

En un campo tan amplio como el descrito anteriormente, nos ha interesado identificar cómo las comunidades académicas que han decidido enmarcar su trabajo dentro del término “bioeconomía”, exploran escenarios de futuro. Para ello, se adoptó una estrategia de investigación documental, principalmente bibliométrica, operacionalizada de la siguiente manera (Diagrama 1). En el portal de Scopus, se realizó una búsqueda de artículos que abordaran el futuro de la bioeconomía desde un enfoque prospectivo, ya sea por su conceptualización o por el empleo de alguna de sus herramientas. Se utilizó la sintaxis de búsqueda: “*Bioeconomy AND (Foresight OR Future OR Scenario)*” para el campo de tema (título, resumen y palabras clave). Se incluyeron guiones y truncamientos para ampliar la cobertura de dicha sintaxis. La selección de documentos se delimitó al periodo 2015-2019 en razón del debate europeo iniciado en 2014 para fijar metas de política ambiental de largo plazo (Donat *et al.* 2015). De un total de 323 documentos se eligió una submuestra de artículos de acceso abierto dado nuestro interés por analizar en profundidad el contenido del documento, encontrándose 72 artículos. Después de revisar el abstract se depuró la muestra para retener aquellos que efectivamente contuvieran alguna de las variantes del análisis

prospectivo aplicado a la bioeconomía. La base definitiva de análisis contuvo 31 artículos publicados entre el 2015 y 2019.⁴

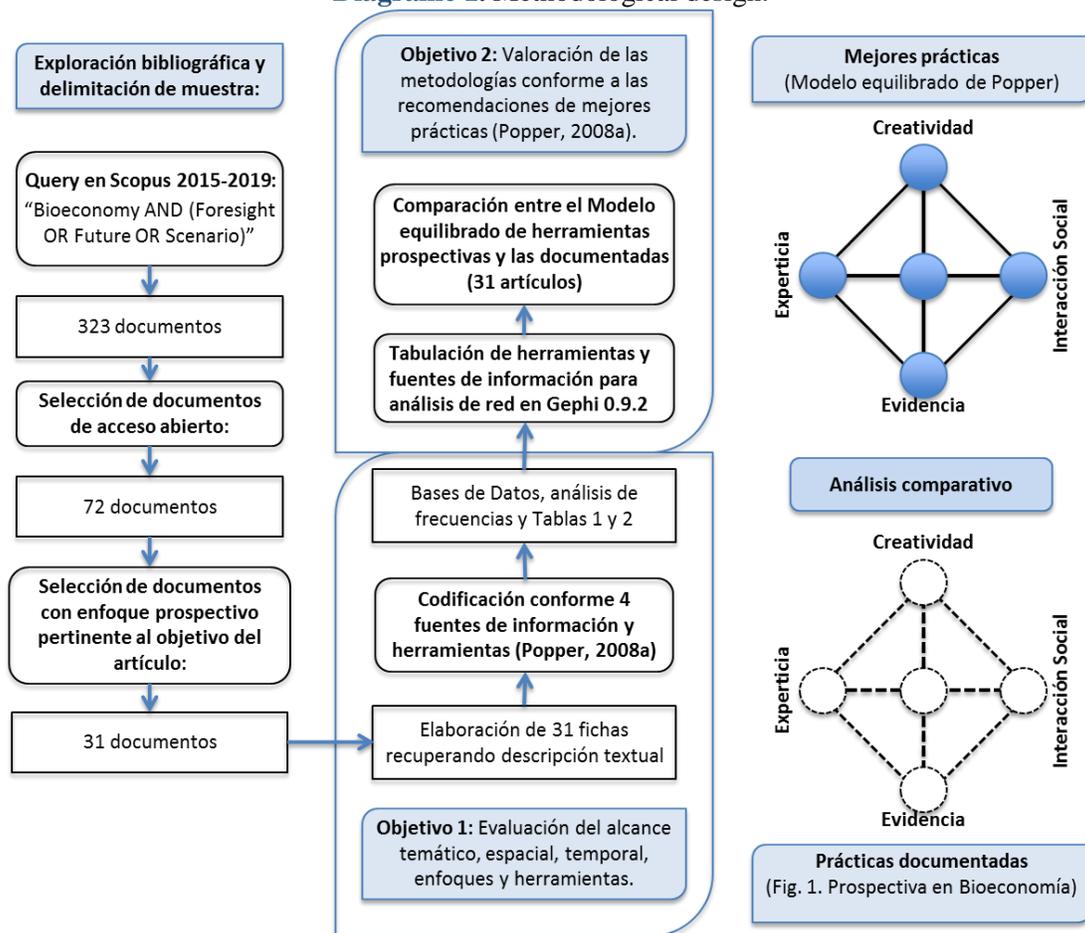
En términos de visibilidad, nuestra muestra de 31 artículos tuvo 11 artículos aparecidos en los dos últimos años con cero citas; 7 artículos tuvieron de 1 a 5 citas; 8 tuvieron entre 6 y 15 citas, 5 tuvieron entre 16 y 50 citas, mientras que uno de los artículos publicado en 2015 se destacó por tener 218 citas.

Para solventar el primero de los objetivos del artículo: la evaluación del alcance temático, espacial y temporal, así como la caracterización de sus enfoques y herramientas; se construyeron 31 fichas resumen que permitieron alimentar una base de datos con los siguientes campos principales: referencia, área temática, alcance geográfico, horizonte temporal, enfoque metodológico, fuente de información (Cfr. Diamante de Popper), y herramientas. Los extractos textuales fueron codificados sucesivamente para obtener categorías y una primera relación de estudios prospectivos y su alcance (**Tabla 1**). Complementariamente se elaboró una segunda relación entre el enfoque general de los artículos (por ejemplo, modelación cuantitativa, análisis institucional, análisis tecnológico, etc.) y el pilar de su estrategia metodológica (por ejemplo, modelo de equilibrio general, modelo de recursos forestales, análisis de ciclo de vida, análisis ideológico y conceptual, etc.) (**Tabla 2**). Para profundizar en su estrategia metodológica, el uso de sus herramientas y su contrastación con la sección de buenas prácticas prospectivas, se construyó una tercera relación. En ella, se codificó la fuente de los datos (evidencia, experticia, interacción social y creatividad), vinculándolas matricialmente con las principales herramientas empleadas en cada ejercicio. Esta relación se graficó en forma de red, manteniendo como nodo origen alguna de las 4 fuentes, y como nodo destino cualquiera de las 33 herramientas del Diamante de Popper. Dado su carácter de red capacitada, el grosor de las aristas representó el grado de salida (número de veces en que se empleó una fuente), mientras que el diámetro del nodo representó el grado de entrada (número de veces en que se empleó una herramienta). El análisis gráfico se realizó en el programa Gephi 0.9.2 (**Figura 1**) (Bastian *et al.* 2009). Finalmente, para abordar el segundo

⁴ En términos geográficos, los 38 autores provinieron de 17 países, principalmente de Alemania (16%), Finlandia (13%), Italia (11%) y Suecia (11%). Los autores de Austria, Países Bajos, Reino Unido y Estados Unidos participaron con 8% cada uno. Otros 7 países participaron con un autor únicamente. Por lo que respecta a la distribución disciplinaria, los artículos se clasificaron en 14 áreas pertenecientes a las ciencias naturales, ingenierías, humanidades y categorías transdisciplinarias. Sobresalen las Ciencias Ambientales (25%); Energía (21%), Ciencias Sociales (16%) y Agricultura (9%). El 30% restante se distribuye en 10 áreas diferentes.

objetivo se contrastó esta gráfica de red con el Diamante de Popper, el cual muestra el equilibrio entre herramientas que se apoyan en 4 fuentes de evidencia principales.

Diagrama 1. Diseño metodológico.
Diagrame 1. Methodological design.



Fuente: Elaboración propia.
Source: Own elaboration.

Resultados

Para contextualizar nuestro primer objetivo, comenzamos por mapear el alcance temporal, temático y espacial de los 31 estudios prospectivos analizados. Encontramos que 21 de ellos se elaboraron con miras a un horizonte temporal definido, predominando los escenarios hacia el 2030 (33%) y 2050 (5%), lo cual coincide con los años meta de la política climática de la Unión Europea (Donat *et al.* 2015). Estas fechas ilustran la intención de los autores por ofrecer resultados útiles y compatibles con las metas de política regional, con lo cual se disminuye la brecha entre las

necesidades de los tomadores de decisión y los escenarios generados por los prospectivas, respondiendo así a la crítica expresada por la European Environmental Agency en su reporte del 2009: "...there is little compelling evidence to support the significant claims often made regarding the potential benefits of using scenarios" (EEA, 2009, 5). En contraste, otros 10 ejercicios modelaron tecnologías clave con base en factores de cambio sin la intención de caracterizar un escenario para algún año en específico.

Como se puede observar en la **Tabla 1**, dentro de la muestra de estudios que sí se planteó elaborar escenarios para un año en particular, identificamos que se realizaron ejercicios prospectivos sobre 9 temas de la bioeconomía (8 de ellos asociados a sectores y 1 más que mantuvo a la bioeconomía como tema genérico). Se destaca que el grupo mayoritario se relaciona con la energía, en específico 5 se enfocaron en la bioenergía, analizando el potencial de cultivos de distintas generaciones biotecnológicas para la producción de combustibles. En segundo lugar, 4 estudios abordaron la bioeconomía en su conjunto, ya sea estudiando sus distintos subsectores o manejándola como concepto social o de políticas. En tercer lugar se encontraron los estudios sobre la disponibilidad de la biomasa y las condiciones ambientales, tecnológicas y de mercado para hacer frente a su mayor demanda. Vale la pena mencionar el hallazgo de varios estudios relacionados con el sector de la madera, los recursos forestales y la construcción, elaborados en el norte de Europa. La mayoría de los estudios tuvieron un alcance nacional (43%), otros abordaron el ámbito internacional (38%), ya sea analizando al menos dos países, un continente o bien la escala mundial. El alcance subnacional estuvo presente en estudios para países de Europa (20%).

Tabla 1. Alcance temático y especial de los estudios prospectivos.

Table 1. Foresight exercises' thematic and spatial scope.

Tema/Alcance	Internacional	Nacional	Subnacional	Total
Bioenergía	1	2	2	5
Bioeconomía	4			4
Biomasa	2	1		3
Madera		2	1	3
Construcción	1	1		2
Forestal		1		1
Energía y Química		1		1
Energía		1		1
Biomateriales			1	1
Total	8	9	4	21

Fuente: Elaboración propia con base en artículos de Scopus (2015-2019).

Source: Own elaboration based on data from Scopus (2015-2019).

La dominancia de los temas energéticos refleja por un lado la preocupación de los prospectivistas académicos por vincular el potencial de la investigación biotecnológica para atenuar sacudidas

macroeconómicas asociadas a las altas y bajas de los precios del petróleo; mientras que por otro, ilustra el interés por construir eslabones de proveeduría de materias primas renovables y favorecer la autonomía y desarrollo local. La investigación sobre biomateriales (p. ej. bioplásticos) es aún muy incipiente, y requiere estimaciones más precisas de tendencias de fomento, regulación y consumo a escala global; pues hasta el momento, la posibilidad de que las alternativas biotecnológicas compitan con materias primas basadas en combustibles fósiles requieren el aprovechamiento de economías de escala en grandes mercados internacionales.

Nuestro primer objetivo implica identificar los enfoques y las herramientas con las que se diagnostica el sector y se explora el futuro. En esta línea de indagación se identificaron 10 enfoques generales que sirvieron para aproximarse al tema de la bioeconomía. En la Tabla 2 se puede observar un claro predominio de la modelación cuantitativa, basada en sistemas de ecuaciones de equilibrio general o parcial, de optimización o de recursos forestales, principalmente. La mayoría de los estudios adaptó metodologías de terceros, reconocidas en su propio ámbito, y alimentó programas de cómputo especializado con variables de bases de datos nacionales o internacionales con variables de mercado y de recursos naturales. En cambio, únicamente 5 documentos buscaron trascender este enfoque en aras de incorporar un mayor número de variables sociales, tecnológicas y ambientales, en lo que denominamos una evaluación integral, con un abordaje prospectivo más explícito y conducido a través de la construcción de escenarios.

Los 17 documentos restantes se subdividieron en las 8 clasificaciones que se muestran en la **Tabla 2**, evidenciando un enfoque preferente, algunos puramente técnicos, económicos o estadísticos, mientras que 4 prefirieron un abordaje de elementos institucionales, incorporando elementos ideológicos, de construcción del discurso y de las preferencias de actores sociales (distintos tipos de empresarios y consumidores). Llama la atención que únicamente estos 4 estudios rescataron elementos cualitativos como enfoque central. En resumen, de los 31 estudios analizados, 26 eligieron un enfoque especializado, mientras que 5 optaron por un enfoque integrador.

Tabla 2. Enfoque metodológico de los documentos prospectivos.
Table 2. Foresight exercises' methodological approach.

Enfoque	Pilar metodológico	Cantidad de documentos	Referencias
Modelación cuantitativa	A. Equilibrio Gral./Parcial	3	A [Börjesson, H. et al. (2016); Haddad, S. et al. (2019); Philippidis, G., et al. (2019)] B [Bartolini, F. et al. (2015); Tsiropoulos, I., et al. (2017)] C [Jonsson, R. et al. (2016); Lundholm, A. et al. (2019)] D [Choi, H. S. et al. (2019); Peñaloza, D. et al. (2018)]
	B. Optimización	2	
	C. Recursos Forestales	2	
	D. Otros	2	
	Total	9	
Evaluación Integral	E. Análisis de Escenarios	4	E [Foster, G. (2019); Hagemann, N. et al. (2016); Jasinevičius, G. et al. (2017); Junginger, H. M. et al. (2019)] F [Blanc, S. et al. (2019)]
	F. Ciclo Vida, Costo, Externalidades	1	
	Total	5	
Análisis Tecnológico	G. Análisis de Trayectorias Tecnológicas	3	G [Koukios, E. et al. (2018); Poz, M. et al. (2017); Wietschel, L. et al. (2019)] H [Aro, E. (2016)]
	H. Análisis de Tecnologías Clave	1	
	Total	4	
Análisis Institucional	I. Análisis Ideológico y Conceptual	3	I [Hausknot, D. et al. (2017); Heimann, T. (2019); Peltomaa, J. (2018)] J [Hansen, L., & Bjørkhaug, H. (2017).]
	J. Análisis de Actores Clave	1	
	Total	4	
Análisis Tecno-Económico	K. Meta-Análisis	1	K [Rogers, J. et al. (2017)] L [Farzad, S., et al. (2017)]
	L. Análisis de Tasa Interna de Retorno	1	
	Total	2	
Análisis Económico	M. Análisis del Mercado	1	M [Toppinen, A., et al. (2018)] N [Grubor, A. et al. (2018)]
	N. Análisis de la Demanda	1	
	Total	2	
Análisis de Políticas	O. Valoración de Impacto	1	O [Scarlat, N. et al. (2015)] P [Salter, B. et al. (2016)]
	P. Análisis de Diseño de Políticas	1	
	Total	2	
Análisis Estadístico	Q. Análisis de Componentes Principales	1	Q [Wen, X., et al. (2019)]
Análisis de Riesgo	R. Análisis de Riesgo Sanitario	1	R [Longhurst, P. et al. (2019)]
Valoración de potencial	S. Ensayo de Opinión	1	S [Jiménez-Sánchez, G., & Philp, J. (2015)]

Fuente: Elaboración propia con base en artículos de Scopus (2015-2019).

Source: Own elaboration based on data from Scopus (2015-2019).

Nuestro segundo objetivo requirió valorar si la elaboración de escenarios de futuro se ha beneficiado de las mejores prácticas que el campo de la prospectiva ha generado a lo largo de su historia. Como se documentó en la sección teórica, las estrategias metodológicas han ganado capacidad de comprensión y anticipación en la medida en que han sumado fuentes de información provenientes de la evidencia, la experticia, la interacción social y la creatividad; así como de la integración de la información con el apoyo de herramientas ubicadas en la parte central del Diamante de Popper. Con dicha finalidad analizamos la metodología de los 31 ejercicios de nuestra muestra para determinar cuál de las 4 fuentes de información es predominante, y en segundo lugar qué herramientas empleó, lo cual nos permitió construir una matriz de relaciones entre fuentes y herramientas.

Para analizar gráficamente la correlación entre fuentes y herramientas, las caracterizamos como nodos origen y destino respectivamente. Como se puede observar en la Figura 1, el diámetro del nodo está relacionado con su utilización relativa. Por su parte, asignamos a las aristas que los vinculan el valor de la cantidad de ocasiones en que fue empleada cada herramienta por cada fuente, permitiendo que el grosor refleje la utilización relativa de cada herramienta. La evaluación es posible colocando a las fuentes y las herramientas en la posición aproximada que les asigna el Diamante de Popper, y comparándolas con tal diagrama tal y como se ilustra en la **Diagrama 1**, con lo cual llegamos a los siguientes resultados:

1.- Análisis de fuentes.- De los 31 estudios, 27 se apoyaron en *evidencia* (71%), 8 en *experticia* (21%), 3 en *interacción social* (8%) y ninguno en *creatividad*. 4 estudios combinaron *evidencia* y *experticia*, y 3 *evidencia* con *interacción*. Dentro de *evidencia* quedaron clasificados los ejercicios que emplearon bases de datos sobre recursos naturales, indicadores ambientales, publicaciones e información de mercado, generalmente obtenida de terceros; mientras que bajo *experticia* se clasificaron aquellos que se basaron en las opiniones y análisis de expertos, recabados de forma ex profesa para el estudio en cuestión. En tanto que calificaron como *interacción social*, aquellos que rescataron opiniones de distintos actores sociales, no únicamente académicos, tratándose principalmente de empresarios y tomadores de decisión. Por lo que respecta a la *creatividad*, ningún ejercicio se apoyó en las herramientas asociadas a esta fuente.

2.- Análisis de herramientas.- Los 31 estudios emplearon 11 herramientas de uso común en la práctica prospectiva, lo cual corresponde a una tercera parte de las referidas en el Diamante de Popper. Éstas fueron empleadas en 50 ocasiones, predominando la modelación cuantitativa (15, 30%), la revisión de la literatura (13, 26%), y las entrevistas (5, 10%). En segundo lugar, las encuestas, el mapeo tecnológico y el análisis de tecnologías críticas compartieron su empleo en 2 ocasiones (4%); y finalmente, el análisis de escenarios, la bibliometría, la patentometría, los ejercicios Delphi y el análisis de series de tiempo compartieron su empleo en 1 ocasión (2%). Generamos el rubro *otras*, dado que nos pareció importante evidenciar el empleo de herramientas relevantes para el estudio de la sustentabilidad como los “análisis del ciclo de vida” y costos, “análisis de narrativas”, externalidades y “senderos socioeconómicos compartidos”.

3.- Análisis de complementariedad.- Es relevante para nuestro objetivo identificar la complementariedad entre fuentes y herramientas. De las 12 herramientas identificadas, 5 fueron empleadas exclusivamente por una fuente, mientras que 7 fueron herramientas de uso común en

más de una fuente, tal es el caso de revisión de la literatura, encuestas, entrevistas, modelación, análisis de tecnologías críticas, el mapeo tecnológico y otras, lo cual quedó evidenciado como nodos intermediarios en la red de la **Fig. 1**.

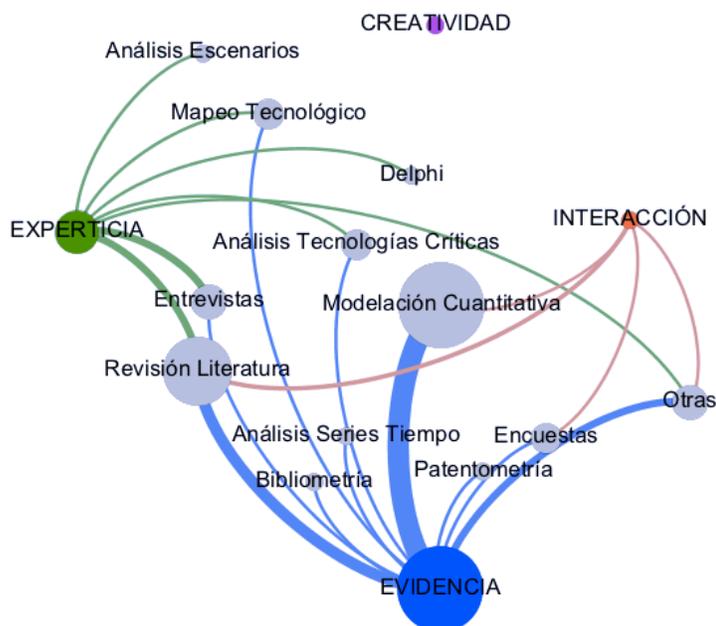


Fig. 1. Fuentes y herramientas prospectivas empleadas.

Fuente: Adaptación del Diamante de Popper (2008a, 79), con base en artículos de Scopus (2015-2019).

Fig. 1. Employed foresight sources and tools.

Fuente: Adapted from Popper's Diamond (2008a, 79), with articles from Scopus (2015-2019).

Conclusiones

Nuestros objetivos de investigación partieron de la necesidad de estudiar la manera en que la comunidad académica interesada en el desarrollo de la bioeconomía ha elaborado escenarios de futuro, y se fundamentaron en el siguiente supuesto. La capacidad para planear la transición a una economía sustentable dependen en buena medida de la forma en la cual los ejercicios prospectivos incorporan en su diseño metodológico, aquellas herramientas que permiten hacer diagnósticos profundos, identificar tendencias, corregir sesgos cognitivos, recoger la opinión de actores sociales diversos y capitalizar la creatividad (Godet, 1982; Baena, 2015). Bajo esta premisa, fue necesario atender un primer objetivo relacionado con la evaluación del nivel de empleo de ejercicios prospectivos entre los académicos interesados en el estudio del futuro de la bioeconomía, analizando su alcance temático, espacial y temporal, caracterizando sus enfoques y herramientas; y en una siguiente instancia nos planteamos el objetivo de valorar la combinación de herramientas

empleadas en los ejercicios en el tenor de las mejoras prácticas y recomendaciones que la teoría y metodología prospectiva han acumulado a lo largo de su desarrollo.

La respuesta a nuestro primer objetivo se resume en los siguientes resultados. La muestra de 31 estudios analizada indica el interés reciente (2015-2019) de la comunidad académica por encarar el tema de la sustentabilidad desde las ciencias de la vida a partir de dos puntos de encuentro: su identificación bajo el término bioeconomía, y la necesidad de analizar su viabilidad tecnológica, económica, social y ambiental respaldados con metodologías para la exploración formal de escenarios de futuro. Los ejercicios pretendieron manejar horizontes de presente, corto, mediano y largo plazo, aventurando el análisis al año 2117. Sin embargo, solo una pequeña muestra de 4 artículos evaluó el sector en su conjunto, mientras que el resto se avocaron a la también necesaria tarea de abordar áreas específicas como la bioenergía, la biomasa y los recursos forestales, en donde consideraron necesario dilucidar las condiciones de equilibrio entre disponibilidad de recursos y dinámica de mercado. En general, los especialistas mostraron una ligera predilección por la escala nacional con relación a las escalas internacional y subnacional, con la aspiración de retroalimentar el diseño de políticas; si bien el interés predominante provino de autores europeos.

El análisis de los enfoques metodológicos reveló una preferencia por las herramientas orientadas al procesamiento de información cuantitativa (modelos de equilibrio general y parcial), aquellas que en la sección teórica asociamos a las fuentes basadas en evidencia. En segundo lugar, los estudios se orientaron al análisis de tecnologías relevantes con el apoyo de revisiones de literatura y la opinión de especialistas, aquellas a las que nos referimos como fuentes basadas en la experticia. La fuerte preferencia por la modelación cuantitativa y la valoración experta contrasta con la muy baja utilización de herramientas que se benefician de la interacción de actores sociales, así como con el nulo empleo de herramientas basadas en la creatividad.

La respuesta a nuestro segundo objetivo se sintetizó en los siguientes hallazgos. El uso complementario de herramientas basadas en evidencia, experticia, interacción social y creatividad integradas en una misma estrategia metodológica aún no se observa en la prospectiva para la bioeconomía, no obstante la apremiante necesidad por desarrollar innovaciones radicales y enfrentar problemas complejos del desarrollo sustentable despegándose de las inercias del pensamiento y entendimiento convencionales. Giaoutzi y Sapiro (2013, 3) sintetizan así el imperativo del trabajo multidisciplinario “estudiar el futuro no es la simple proyección económica,

el análisis sociológico o el pronóstico tecnológico, sino la examinación multidisciplinaria del cambio en las principales áreas de la vida para encontrar la dinámica interactiva que está gestando la siguiente era”. Consideramos que la cantidad de enfoques, y el nivel de combinación de herramientas empleadas hasta ahora, resulta limitado para explorar la transición hacia un sistema económico apoyado por la innovación en ciencias de la vida. El análisis de tendencias tecnológicas necesita retroalimentarse de la opinión de actores sociales clave e incorporar elementos creativos en correspondencia con la multiplicidad de factores que explican la adopción de nuevas tecnologías por amplios colectivos sociales.

Posibles explicaciones para las preferencias identificadas podrían encontrarse en el costo asociado al empleo de un mayor número de herramientas, así como en la insuficiente interacción entre la comunidad interesada en la bioeconomía y los especialistas en prospectiva.

Para discutir nuestros resultados en el contexto de estudios previos sobre el empleo de herramientas prospectivas, así como valorar nuestros aportes al campo de las metodologías prospectivas, es útil rescatar las revisiones de la literatura enfocadas en el mapeo metodológico de estudios prospectivos.

La primer revisión amplia corresponde a Popper (2008b), quien sobre el análisis de 886 ejercicios prospectivos, recolectados de múltiples fuentes alrededor del mundo, encontró que no había una correlación significativa entre la selección de herramientas empleadas y el sector de estudio. Al enfocar nuestro estudio en el sector de la bioeconomía, pudimos comprobar que las aplicaciones en los campos que lo componen (energía, biomasa, mercados, entre otros) sí recogen las tradiciones metodológicas de sus campos de origen: la cuantificación de la eficacia y la eficiencia, la modelación de la dinámica de poblaciones y el análisis de los mecanismos de precios para equilibrar oferta y demanda ante variaciones de política. De esta manera sustentan sus análisis prospectivos fundamentalmente en enfoques cuantitativos y en herramientas que privilegian el análisis de evidencia. Siendo ésta otra diferencia con relación a los resultados encontrados por Popper (2008b), quien identificó la predominancia de herramientas cualitativas como los paneles de expertos y el diseño de escenarios. Llama la atención, sin embargo, un hallazgo en común: el muy escaso uso de herramientas de creatividad.

La revisión metodológica amplia más reciente corresponde a Saritas y Burmaoglu (2015), quienes a partir de un estudio bibliométrico en la base de Web of Science, lograron identificar que el surgimiento de nuevas áreas de aplicación de estudios prospectivos en campos como la economía

y los negocios, las ciencias ambientales y la ecología, coincidía con el nuevas combinaciones en el uso de herramientas, diferentes a las documentadas por Popper (2008b). En su revisión de ejercicios desarrollados entre 1991 y 2015 encontraron que a partir del 2010, las herramientas basadas en modelos dinámicos y de simulación complementan las herramientas tradicionales como Delphi en escenarios. Nuestros resultados ilustran, corroboran y explican dichos resultados, documentando las áreas de aplicación específicas.

El alcance de nuestras conclusiones se acota por las siguientes limitaciones. Nuestra base de artículos se enfocó a la base de datos de Scopus y a la selección de artículos de acceso abierto. Esto la ha sesgado a los artículos académicos escritos en inglés, dejando de lado artículos no indizados en dicha base, así como los reportes de consultorías o de otras organizaciones públicas y civiles no comunicadas en dichos formatos. En segundo lugar, nos concentramos en las publicaciones generadas a partir del 2015 en la medida en que nos interesaba analizar la reacción de la academia ante los compromisos de política ambiental de la Unión Europea acordados en el 2014; sin embargo, un periodo más amplio podría matizar nuestros resultados. En tercer lugar, los artículos se seleccionaron en función de nuestra sintaxis de búsqueda “*Bioeconomy AND (Foresight OR Future OR Scenario)*”, mientras que incluir áreas científicas y técnicas constitutivas de la bioeconomía, así como el nombre de herramientas específicas, ampliaría nuestra base de análisis.

Aun así, nuestro resultados nos invitan a profundizar el presente diagnóstico ampliando la muestra de estudios con palabras clave que den cuenta del campo de la bioeconomía en su conjunto, así como incluyendo reportes y documentos de política, no exclusivamente artículos académicos. En tanto, sirvan estos hallazgos para recomendar la mayor combinación de enfoques y herramientas para la exploración y construcción de escenarios para un futuro sustentable.

Nuestros resultados abren una agenda de investigación con tres avenidas principales, el análisis de las capacidades para la conducción de ejercicios prospectivos y el uso de diferentes herramientas en distintas comunidades y grupos de actores; la valoración de la prospectiva en la agenda de la política pública ambiental; así como la evaluación de la utilidad de los ejercicios prospectivos para la toma de decisiones en ámbitos públicos y con horizontes de largo plazo. Esta última necesidad ha sido resaltada de manera particular por la Agencia Ambienta Europea en su reporte del 2009, en donde muestra su escepticismo con relación a los escenarios de futuro generados hasta la fecha (EEA, 2009).

Tanto nuestros resultados como la agenda de investigación antes expuesta cobran relevancia para diversas áreas de la política pública como la salud, la alimentación o la seguridad, entre otras, que enfrentan entornos complejos, retos que solo se resuelven en el largo plazo y que han cifrado sus expectativas de mejora en la innovación desarrollada en campos específicos de la ciencia y la tecnología.

Agradecimientos

Se agradece la retroalimentación de los colegas del Departamento de Estudios Institucionales (DESIN), del Posgrado en Economía, Gestión y Políticas de Innovación (MEGI) de la Universidad Autónoma Metropolitana, así como de la Strategic Network Bioeconomy (BECY) con sede en Hohenheim, Alemania.

Referencias

- Aro, E. (2016). From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio*, 45, 24-31. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0730-0>
- Baena, G. (2015). El antiazar: la planeación prospectiva estratégica. En Planeación prospectiva estratégica: Teorías, metodologías y buenas prácticas en América Latina. Coordinado por Guillermina Baena, 29-52, Ciudad de México: UNAM. https://www2.politicas.unam.mx/publicaciones/wp-content/uploads/2015/08/Libro-PPE_interactivo1.pdf (17 de septiembre de 2019).
- Bartolini, F., Angelini, L. G., Brunori, G., & Gava, O. (2015). Impacts of the CAP 2014-2020 on the agroenergy sector in Tuscany, Italy. *Energies*, 8(2), 1058-1079. <https://doi.org/10.3390/en8021058>
- Bastian, M., Heymann, S. & Jacomy. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. Ponencia presentada en el Third International ICWSM Conference en San Jose, California. <https://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154/1009> (17 de agosto de 2019).
- Berger, Gaston. (1957). Sciences humaines et prévision. *Revue des Deux Mondes*, 1(3), 417-426. <https://www.revuedesdeuxmondes.fr/wp-content/uploads/2016/11/c4e2f60bd0b6fe6e2acc7470a2702460.pdf> (20 de enero de 2020).

- Bergmann, Melanie *et al.* (Eds.). (2015). *Marine Anthropogenic Litter*. Switzerland: Springer.
- Bijker, Wiebe. y Trevor Pinch. (1987). *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*. Londres: The MIT Press.
- Blanc, S., Massaglia, S., Brun, F., Peano, C., Mosso, A., & Giuggioli, N. R. (2019). Use of bio-based plastics in the fruit supply chain: An integrated approach to assess environmental, economic, and social sustainability. *Sustainability* (Switzerland), 11(9) <https://doi.org/10.3390/su11092475>
- Börjesson Hagberg, M., Pettersson, K., & Ahlgren, E. O. (2016). Bioenergy futures in Sweden - modeling integration scenarios for biofuel production. *Energy*, 109, 1026-1039. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.044>
- Bugge, M.M.; Hansen, T.; Klitkou, A. (2016). What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, 8(7), 691-713. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Chinthapalli, R., *et al.* (2019). *Bio-based Building Blocks and Polymers: Global Capacities, Production and Trends 2018-2023* (versión abreviada). Hürt: Nova Institute. https://european-biotechnology.com/fileadmin/Content/NewsAndStories/2019/Nova_exec.pdf (24 de agosto de 2019).
- Choi, H. S., Grethe, H., Entenmann, S. K., Wiesmeth, M., Blesl, M., & Wagner, M. (2019). Potential trade-offs of employing perennial biomass crops for the bioeconomy in the EU by 2050: Impacts on agricultural markets in the EU and the world. *GCB Bioenergy*, 11(3), 483-504. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12596>
- Cuhls, K., Kayser, V., Grandt, S., Hamm, U., Reisch, L., & Daniel H. (2015). *Global visions for the bioeconomy – An international Delphi-study*. Berlin: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research & German Bioeconomy Council. https://biooekonomierat.de/en/publications/?tx_rsmpublications_pi1%5Bpublication%5D=97&tx_rsmpublications_pi1%5Baction%5D=show&tx_rsmpublications_pi1%5Bcontroller%5D=Publication&cHash=a38d2f444b6269d2c2aaf7d1d3408626 (20 de enero de 2020).
- Daar, A. S., Singer, P. A., & Acharya, T. (2003). Biotechnology and the UN's millennium development goals. *Nature Biotechnology*, 21(12), 1434-1436. <https://doi.org/10.1038/nbt1203-1434>

- De Chant, Tim. (2002). Per square mile. <https://persquaremile.com/2012/08/08/if-the-worlds-population-lived-like/> (23 de agosto de 2019).
- Denzin, Norman & Yvonna Lincoln. (2005). Introduction: The discipline and practice of qualitative research. En *The Sage Handbook of Qualitative Research*, 1-32. compilado por Denzin, Norman & Yvonna Lincoln. London: SAGE.
- Department of Energy (DoE) *et al.* (2016). Federal Activities Report on the Bioeconomy Biomass R&D Board. http://www.biomassboard.gov/pdfs/farb_2_18_16.pdf (20 de agosto de 2019).
- Donat, Lena; Görlach, Benjamin; Evans, Nick. (2015). Report on the CECILIA2050 Final Conference Brussels, 30 June 2015. Deliverable D7.7. Berlin: Ecologic Institute. <https://cecilia2050.eu/publications/285> (24 de agosto de 2019).
- European Commission (EC). (2012). La innovación al servicio del crecimiento sostenible: Una bioeconomía para Europa. Commission Staff Working Document. Brussels: European Commission. <https://doi.org/10.2777/6462>
- European Environment Agency (EEA). (2009). Looking back on looking forward: a review of evaluative scenario literature, Technical Report No. 3. Copenhagen: EEA. <https://www.eea.europa.eu/publications/looking-back-on-looking-forward-a-review-of-evaluative-scenario-literature> (23 de octubre del 2019).
- European Foresight Monitoring Network (EFMN). (2009). Mapping Foresight: Revealing how Europe and other world regions navigate into the future. Brussels: European Commission. <http://www.eurosfair.prdd.fr/7pc/bibliotheque/consulter.php?id=1743> (24 de agosto de 2019).
- Farzad, S., Mandegari, M. A., Guo, M., Haigh, K. F., Shah, N., & Görgens, J. F. (2017). Multi-product biorefineries from lignocelluloses: A pathway to revitalisation of the sugar industry? *Biotechnology for Biofuels*, 10(87), 2-24. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0761-9>
- Foster, G. (2019). Low-carbon futures for bioethylene in the United States. *Energies*, 12(10), 2-20. <https://doi.org/10.3390/en12101958>
- Gándara, Guillermo y Francisco Javier Osorio Vera. (Coords.). (2014). Métodos Prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro. México: Paidós.
- Georghiou, Luke *et al.* (2008). The handbook of technology foresight: Concepts and practice.

London: Edward Elgar Publishing.

- Giaoutzi, Maria y Bartolomeo Sapio (Eds). (2013). *Recent Developments in Foresight Methodologies*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5215-7>
- Godet, Michel. (1982). From forecasting to La Prospective: a new way of looking at futures. *Journal of Forecasting*, 1, 293-301. <https://doi.org/10.1002/for.3980010308>
- Grubor, A., Milicevic, N., & Djokic, N. (2018). Serbian organic food consumer research and bioeconomy development. *Sustainability* (Switzerland), 10(12), 4820-4832. <https://doi.org/10.3390/su10124820>
- Haddad, S., Britz, W., & Börner, J. (2019). Economic impacts and land use change from increasing demand for forest products in the European bioeconomy: A general equilibrium based sensitivity analysis. *Forests*, 10(1), 52-79. <https://doi.org/10.3390/f10010052>
- Hagemann, N., Gawel, E., Purkus, A., Pannicke, N., & Hauck, J. (2016). Possible futures towards a wood-based bioeconomy: A scenario analysis for germany. *Sustainability* (Switzerland), 8(1), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su8010098>
- Hansen, L., & Bjørkhaug, H. (2017). Visions and expectations for the norwegian bioeconomy. *Sustainability* (Switzerland), 9(3), 341-358. <https://doi.org/10.3390/su9030341>
- Hausknost, D., Schriefl, E., Lauk, C., & Kalt, G. (2017). A transition to which bioeconomy? an exploration of diverging techno-political choices. *Sustainability* (Switzerland), 9(4), 669-691. <https://doi.org/10.3390/su9040669>
- Heimann, T. (2019). Bioeconomy and SDGs: Does the bioeconomy support the achievement of the SDGs? *Earth's Future*, 7(1), 43-57. <https://doi.org/10.1029/2018EF001014>
- Hiltunen, E. (2006). Was it a Wild Card or Just Our Blindness to Gradual Change?, *Journal of Future Studies*, November, 11(2), 61-74. <https://jfsdigital.org/wp-content/uploads/2014/01/112-A04.pdf> (20 de enero de 2020).
- Jasinevičius, G., Lindner, M., Verkerk, P. J., & Aleinikovas, M. (2017). Assessing impacts of wood utilisation scenarios for a Lithuanian bioeconomy: Impacts on carbon in forests and harvested wood products and on the socio-economic performance of the forest-based sector. *Forests*, 8(4), 133-150. <https://doi.org/10.3390/f8040133>
- Jaso-Sánchez, Marco A. (2016). La prospectiva tecnológica en la planeación de la CTI en Argentina, Colombia, México y Perú: Una revisión desde el institucionalismo ideacional. En *Mirada iberoamericana a las políticas de ciencia, tecnología e innovación: Perspectivas*

- comparadas, coordinado por Rosalba Casas, Tiago Santos y Alexis Mercado, 135-160. Buenos Aires: CLACSO.
- Jonsson, R., Rinaldi, F., Rätty, M., & Sallnäs, O. (2016). Integrating forest-based industry and forest resource modeling. *IForest*, 9(5), 743-750. <https://doi.org/10.3832/ifor1961-009>
- Junginger, H. M., Mai-Moulin, T., Daiglou, V., Fritsche, U., Guisson, R., Hennig, C., Wild, M. (2019). The future of biomass and bioenergy deployment and trade: A synthesis of 15 years IEA bioenergy task 40 on sustainable bioenergy trade. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(2), 247-266. <https://doi.org/10.1002/bbb.1993>
- Koukios, E., & Sacio-Szymańska, A. (2018). Assessing the emergence of bioeconomy by the Radical Technology Inquirer tool. *European Journal of Futures Research*, 6(1), 23-33. <https://doi.org/10.1186/s40309-018-0152-x>
- Latour, Bruno. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford: Oxford University Press. <http://www.bruno-latour.fr/node/70.html> (20 de enero de 2020).
- Litterbase. (2019). Distribution of litter types in different realms (916 publications), Alfred-Wegener Institut. Bremerhaven: AWI-Litterbase. https://litterbase.awi.de/litter_graph, (18 de febrero de 2019).
- Longhurst, P. J., Tompkins, D., Pollard, S. J. T., Hough, R. L., Chambers, B., Gale, P., . . . Sweet, N. (2019). Risk assessments for quality-assured, source-segregated composts and anaerobic digestates for a circular bioeconomy in the UK. *Environment International*, 127, 253-266. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.044>
- Loveridge, Denis. (2008). *Forsight: The art and science of anticipating the future*. New York: Rutledge. <https://bidi.uam.mx:6990/10.4324/9780203894156>
- Lundholm, A., Corrigan, E., & Nieuwenhuis, M. (2019). Implementing climate change and associated future timber price trends in a decision support system designed for Irish forest management and applied to Ireland's western peatland forests. *Forests*, 10(3), 270-295. <https://doi.org/10.3390/f10030270>
- Magruk, Andrzej. (2011). Innovativ classification of technology foresight methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 700-715. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2011.649912>

- Manu, Alexander. (2007). *The Imagination Challenge. Strategic Foresight and Innovation in the Global Economy*. Berkeley: New Readers-Pearson Education. <https://www.bookdepository.com/es/Imagination-Challenge-Alexander-Manu/9780321413659?ref=grid-view> (20 de enero de 2020).
- Mathijs, Erik *et al.* (2015). *Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy: A Challenge for Europe*. Brussels: European Commission – SCAR. <https://ec.europa.eu/research/scar/pdf/ki-01-15-295-enn.pdf> (27 de julio de 2019).
- Medina, Javier y Ortegón Edgar. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL e Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5490-manual-prospectiva-decision-estrategica-bases-teoricas-instrumentos-america> (17 de enero de 2020).
- Neuman, Lawrence. (2014). *Basics of Social Research: Qualitative & Quantitative Approaches*. Edinburgh: Pearson. <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Neuman-Social-Research-Methods-Qualitative-and-Quantitative-Approaches-7th-Edition/PGM74573.html> (20 de enero de 2020).
- ONU. (2019). *Perspectivas demográficas mundiales de la ONU, revisión 2019*. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html> (17 de agosto de 2019).
- Peltomaa, J. (2018). Drumming the barrels of hope? bioeconomy narratives in the media. *Sustainability* (Switzerland), 10(11),4278-4292, <https://doi.org/10.3390/su10114278>
- Peñaloza, D., Erlandsson, M., Berlin, J., Wålinder, M., & Falk, A. (2018). Future scenarios for climate mitigation of new construction in Sweden: Effects of different technological pathways. *Journal of Cleaner Production*, 187, 1025-1035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.285>
- Philippidis, G., Bartelings, H., Helming, J., M'barek, R., Smeets, E., & van Meijl, H. (2019). Levelling the playing field for EU biomass usage. *Economic Systems Research*, 31(2), 158-177. <https://doi.org/10.1080/09535314.2018.1564020>
- Piirainen, Kalle y Gonzalez, Rafael. (2015). Theory of and within foresight-What does a theory of foresight even mean?, *Technological Forecasting and Social Change*, (96). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.03.003>

- Popper, Rafael. (2008a). Foresight Methodology. En *The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice*, editado por Luke Georgiouh, Jennfer Cassingena-Harper, Michael Keenan, Ian miles, y Rafael Popper, 44-89. London: Edward Elgar.
- Popper, Rafael. (2008b). How are foresight methods selected?, *Foresight*, 10(6), 62-89. <http://dx.doi.org/10.1108/14636680810918586>
- Poz, M. E. D., da Silveira, J. M. F. J., Bueno, C. S., & Rocha, L. A. (2017). Bio-based energy scenarios: Looking for waste. *Procedia Manufacturing*, 7, 478-489. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.048>
- Rogers, J. N., Stokes, B., Dunn, J., Cai, H., Wu, M., Haq, Z., & Baumes, H. (2017). An assessment of the potential products and economic and environmental impacts resulting from a Billion Ton Bioeconomy. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 11(1), 110-128. <https://doi.org/10.1002/bbb.1728>
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., & Fuller, G. (2015). Sustainable Development Report 2019. New York: Bertelsmann Stiftung and sustainable Development Solutions Network (SDSN). <https://www.sdgindex.org/> (18 de enero de 2020).
- Salter, B., Zhou, Y., Datta, S., & Salter, C. (2016). Bioinformatics and the politics of innovation in the life sciences: Science and the state in the United Kingdom, China, and India. *Science Technology and Human Values*, 41(5), 793-826. <https://doi.org/10.1177/0162243916631022>
- Saritas, O. y Burmaoglu, S. (2015). The evolution of the use of Foresight methods: a scientometric analysis of global FTA research output. *Scientometrics*, 105(1): 497-508. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1671-x>
- Scarlat, N., Dallemand, J., Monforti-Ferrario, F., & Nita, V. (2015). The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 15, 3-34. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.006>
- Schot J. & Steinmueller, E. (2016). Framing Innovation Policy For Transformative Change: Innovation Policy 3.3, SPRU, Reino Unido. <http://www.johanschot.com/wordpress/wp-content/uploads/2016/09/Framing-Innovation-Policy-for-Transformative-Change-Innovation-Policy-3.0-2016.pdf> (23 de agosto de 2019).

- Stirling, Andy. (2008). “Opening Up” and “Closing Down”: Power, Participation, and Pluralism in the Social Appraisal of Technology. *Science, Technology, & Human Values*, 33(2), 262–294. <https://doi.org/10.1177/0162243907311265>
- Technavio. (2017). Global Biopolymers Market 2017-2021. Londres: Infinity Research, Ltd. https://www.technavio.com/report/global-plastics-polymers-and-elastomers-global-biopolymers-market-2017-2021#utm_source=T5&utm_campaign=Media&utm_medium=BW (11 de marzo del 2019).
- Toppinen, A., Röhr, A., Pätäri, S., Lähtinen, K., & Toivonen, R. (2018). The future of wooden multistory construction in the forest bioeconomy – A Delphi study from Finland and Sweden. *Journal of Forest Economics*, 31, 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.05.001>
- Tsiropoulos, I., Hoefnagels, R., van den Broek, M., Patel, M. K., & Faaij, A. P. C. (2017). The role of bioenergy and biochemicals in CO2 mitigation through the energy system – a scenario analysis for the Netherlands. *GCB Bioenergy*, 9(9), 1489-1509. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12447>
- Wen, X., Quacoe, D., Quacoe, D., Appiah, K., & Danso, B. A. (2019). Analysis on bioeconomy's contribution to GDP: Evidence from Japan. *Sustainability* (Switzerland), 11(3), 712-729. <https://doi.org/10.3390/su11030712>
- Wietschel, L., Thorenz, A., & Tuma, A. (2019). Spatially explicit forecast of feedstock potentials for second generation bioconversion industry from the EU agricultural sector until the year 2030. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1533-1544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.072>
- Yuan, D., Bassie, L., Sabalza, M., Miralpeix, B., Dashevskaya, S., Farre, G., . . . Christou, P. (2011). The potential impact of plant biotechnology on the Millennium Development Goals. *Plant Cell Reports*, 30(3), 249-265. <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0987-5>
- Zeraoui, Zidane y Eduardo Balbi (Coords.). (2011). Introducción a la prospectiva. Puebla: ITESM y Montiel & Soriano Editores. <http://catalogo.uces.edu.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10465> (20 de enero de 2020).
- Zhukovskaya, Maya. (2015). Everything Connects: How to Transform and Lead in the Age of Creativity, Innovation and Sustainability. *Foresight*, 17(1), 88-90. <https://doi.org/10.1108/fs-12-2014-0083>