

Innovación en la función pública: gestión basada en datos, ecosistemas productivos, sectores impulsores y el optimizador

Public Service Innovation: Data-driven Management, Productive ecosystems, Driving Sectors and the Optimizer

Osvaldo Alvarado

Universidad de Costa Rica, Sede del Pacífico, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Puntarenas, Costa Rica.

osvaldo.alvaradobolivar@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0001-5033-379X>

Jhon Fonseca

Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Administración Pública, San José, Costa Rica.

jhon.fonseca@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0004-1912-6583>

Referencia/ reference:

Alvarado, O. y Fonseca, J. (2024). Innovación en la función pública: gestión basada en datos, ecosistemas productivos, sectores impulsores y el optimizador. *Yulök Revista de Innovación Académica*, Vol.8 (1), 10-30. <https://doi.org/10.47633/2yvhyf42>

Recibido: 3 de setiembre 2023

Aceptado: 10 de enero 2024

Resumen

En los últimos años se han producido avances significativos en la comprensión de los ecosistemas productivos que han puesto de relieve su complejidad y la importancia de los factores locales en su funcionamiento. Sin embargo, aún quedan áreas inexploradas, especialmente desde la perspectiva de los responsables de las políticas públicas. Este artículo pretende entender los requerimientos de los ecosistemas productivos e identificar elementos clave para el surgimiento y éxito de empresas o sectores en regiones específicas, a través del uso eficiente de cada área en contraste con las características de las regiones y comunidades, y la identificación de áreas propicias para el desarrollo sectorial. También aborda la implementación de políticas públicas, para priorizar el “rescate del talento” como catalizador de efectos positivos más amplios, inclusive la innovación y el desarrollo sostenible. La metodología utilizada incluye una exhaustiva revisión bibliográfica para conocer los tratamientos previos de los ecosistemas productivos. Se presenta el Optimizador de Ecosistemas Productivos (Opt-EP), un algoritmo heurístico basado en Monte Carlo que identifica actividades productivas con alto potencial e impacto en una región. Los resultados presentan a Opt-EP como una herramienta avanzada de inteligencia artificial especializada en analizar el “ADN Productivo” de las regiones. Mediante algoritmos heurísticos, Opt-EP profundiza en las dinámicas socioeconómicas, culturales, medioambientales y económicas, descomponiendo las medidas para obtener una visión más detallada. La integración del concepto de ADN Productivo proporciona una base sólida para diseñar políticas públicas adaptadas a las características únicas de cada región, subrayando la importancia de identificar y nutrir las capacidades intrínsecas de cada zona para lograr un desarrollo económico auténtico y sostenible.

Palabras clave: Ecosistemas productivos, sectores impulsores, bienestar, talento humano, economía del conocimiento.

Abstract

Recent years have seen significant advances in the understanding of productive ecosystems, highlighting their complexity and the importance of local factors in their functioning. However, there are still unexplored areas, especially from the perspective of public policy makers. This article aims to understand the requirements of productive ecosystems and identify key elements for the emergence and success of companies or sectors in specific regions, seeking an efficient use of each area by contrasting it with the characteristics of regions and communities, identifying areas conducive to sectoral development. It also addresses the implementation of public policies, prioritizing the “rescue of talent” as a catalyst for broader positive effects, including innovation and sustainable development. The methodology used includes an exhaustive literature review to understand previous treatments of productive ecosystems. The Optimizer of Productive Ecosystems (Opt-EP), a Monte Carlo-based heuristic algorithm that identifies productive activities with high potential and impact in a region, is presented. The results present Opt-EP as an advanced artificial intelligence tool specialized in analyzing the “Productive DNA” of regions. Using heuristic algorithms, Opt-EP delves into socio-economic, cultural, environmental, and economic dynamics, decomposing measurements to obtain a more detailed view. The integration of the Productive DNA concept provides a solid basis for designing public policies tailored to the unique characteristics of each region, underscoring the importance of identifying and nurturing the intrinsic capabilities of each area to achieve authentic and sustainable economic development.

Keywords: Productive ecosystems, driving sectors, well-being, human talent, knowledge economy.

Introducción

En el ámbito de la administración de políticas públicas, los ecosistemas productivos son entendidos como conglomerados interconectados donde empresas, instituciones y la fuerza laboral colaboran y compiten, para impulsar el desarrollo económico y social. La eficiencia en la gestión de estos ecosistemas es crítica, especialmente cuando se considera el rescate del talento como un pilar fundamental para el progreso. La ausencia de políticas que integren efectivamente las relaciones entre estos actores puede llevar a la suboptimización de recursos, desequilibrios en el desarrollo regional y, en última instancia, a la atrofia de la innovación y el crecimiento económico.

Una política pública puede definirse como una serie de acciones emprendidas por un gobierno, las cuales están orientadas hacia un objetivo específico y afectan a un sector público más amplio. Estas políticas son la respuesta a problemas identificados y son formuladas e implementadas con la intención de alcanzar mejoras en la sociedad. Las políticas públicas eficaces en el contexto de los ecosistemas productivos reconocen la importancia de cultivar y aprovechar el talento humano, bajo el entendido que este es un recurso clave para la innovación y la ventaja competitiva.

La falta de estrategias enfocadas en la captación y desarrollo del talento puede resultar en una fuga de cerebros, donde los individuos más capacitados buscan oportunidades fuera de su región o país, lo cual debilita el potencial endógeno del ecosistema. La gestión eficiente del talento a través de políticas públicas adecuadas, que incluyan educación, formación profesional y la creación de oportunidades de trabajo de alta calidad, es fundamental para mantener la competitividad y fomentar un ciclo virtuoso de crecimiento y desarrollo. Además, el diseño de políticas que no consideren las complejas relaciones dentro de los ecosistemas productivos puede generar oligopolios, inhibir la entrada de nuevos actores y, en última instancia, estancar la dinámica de mercado. Por tanto, es vital que las políticas públicas promuevan la diversificación económica y la inclusión, para asegurar que todos los niveles de talento dentro de la sociedad tengan la oportunidad de contribuir y beneficiarse del crecimiento económico.

La implementación de políticas públicas en el contexto de ecosistemas productivos exige una comprensión profunda de las relaciones interdependientes que existen entre empresas, instituciones y la fuerza laboral. Al priorizar el “rescate del talento”, las políticas pueden desencadenar una serie de efectos positivos que se extienden más allá de la generación de empleo y el crecimiento económico, que impulse la innovación y el desarrollo sostenible.

La metodología de Optimización Multiobjetivo (MOO) se presenta como un marco analítico avanzado capaz de captar y optimizar la interacción entre estos factores. En el corazón de los ecosistemas productivos, la MOO no solo identifica el mejor uso del talento humano en función de las necesidades económicas actuales, sino que también considera la sostenibilidad y la equidad social. Esta metodología permite a los responsables políticos equilibrar con precisión las necesidades de desarrollo económico con la justicia social y la conservación ambiental, para abordar así los desafíos multidimensionales que enfrentan los ecosistemas productivos modernos.

La MOO ayuda a evitar la trampa de las políticas unidimensionales que pueden conducir a la formación de oligopolios o monopolios, o al descuido de sectores emergentes y startups. Al incorporar una variedad de objetivos y restricciones, la MOO fomenta un enfoque más equitativo y diversificado en el desarrollo de políticas, donde diferentes actores y sectores pueden prosperar juntos. Esto es esencial para promover un ecosistema productivo vibrante y resiliente, donde la competencia y la colaboración coexisten para el beneficio mutuo. Además, al considerar la distribución equitativa del talento como un recurso clave, las políticas que se derivan de la MOO pueden dirigirse eficazmente a combatir la desigualdad. Esto no solo mejora la cohesión social, sino que también amplía la base de innovación, ya que un espectro más amplio de la población tiene la oportunidad de contribuir al desarrollo económico. De esta manera, las políticas públicas pueden efectivamente “rescatar” y potenciar el talento en todos los niveles de la sociedad, maximizar así el potencial humano en su totalidad.

Es crucial reconocer que las políticas públicas bien diseñadas, informadas por la MOO, requieren un compromiso continuo con la evaluación y la adaptación. La retroalimentación y los datos emergentes deben guiar la evolución de las políticas para asegurar que sigan siendo relevantes y efectivas. Este enfoque dinámico es lo que permitirá a los ecosistemas productivos no solo adaptarse a los cambios, sino también anticiparse y moldear el futuro económico de una manera que beneficie a todos los miembros de la comunidad.

Ahora bien, el problema que se presenta es, ¿cómo se identifican los ecosistemas productivos? y más aún, ¿cómo detectar cuáles son las condiciones y requerimientos que cada uno necesita para crecer y desarrollarse, sin que ello implique crear un enclave económico? Para responder esta pregunta se observan los sectores productivos para conocer sus requerimientos y contrastarlos con las características de regiones y comunidades, para detectar las que tienen la mayor cantidad de interrelaciones y, por tanto, condiciones para el desarrollo de uno u otro sector.

De esta manera, se definen conceptos importantes para el entendimiento de los ecosistemas productivos tales como ADN productivo, cadenas productivas, vocación y fenotipo productivos. Además, se propone la composición de estos y su relación con el talento humano en la búsqueda del bienestar de los actores. También, se presenta el modelo de la Triple Hélice como forma de gobernanza del ecosistema y mecanismo para potenciarlos.

Finalmente, se conjugan herramientas de análisis de datos de última generación con una visión teórico-práctica más inclusiva del comercio internacional para la creación de un Optimizador de Ecosistemas Productivos que permite encontrar para qué puede ser utilizada cada región de forma más eficiente.

Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica con el fin de conocer los diferentes tratamientos y aplicaciones que se han desarrollado del concepto de ecosistemas productivos. Se propone una nueva perspectiva, la de los ecosistemas productivos para una identificación de lo que se define luego como ADN y vocación productiva.

Asimismo, se propone la utilización de algoritmos heurísticos para la detección de las características productivas claves, estos son, a grandes rasgos, mecanismos matemáticos basados en Montecarlo, mediante los cuales se identifican las actividades productivas que tienen mayor potencial e impacto en una zona geográfica. Esta herramienta consta de tres partes bien diferenciadas: 1) Red Neuronal de Entrada la cual descubre el patrón subyacente que describen los datos de entrada, 2) Núcleo Optimizador de Búsqueda que se encarga de la búsqueda multiobjetivo y 3) Visualizador de Soluciones en la que se visualizan los resultados.

El sistema construye el frente de Pareto de las características, lo cual equivale a buscar los lugares en los que se dan de mejor forma los genes productivos para un sector. La idea se basó en encontrar posibles “hubs” de desarrollo con base en una metodología cuantitativa no estándar. La intuición fundamental que impulsó esta metodología es tener una manera de utilizar toda la información que se encuentra en las escalas y que se pierde cuando se utilizan los métodos basados en promedios ponderados.

Estado del Arte

Los ecosistemas productivos han sido estudiados por diversos actores desde diferentes perspectivas, por lo que se hace necesario conocerlas. Tsujimoto et al. (2018) hace una revisión bibliográfica de artículos que estudian y teorizan sobre este tema aplicados a la gestión con el

fin de tratar de encontrar una definición que permita englobar a la gran mayoría. Cabe destacar que se coloca el acento del estudio en descubrir cuáles son las dinámicas que hacen que un ecosistema se desarrolle y al igual que los naturales, qué factores decisivos lo pueden hacer entrar en un desequilibrio destructivo; este punto de vista es especialmente útil porque se plantea que, a pesar de las precauciones que toman los elementos constituyentes siempre existen consecuencias imprevistas a las decisiones del ecosistema que podrían terminar con un desastre ecológico, lo que en nuestros términos sería el declive del sistema productivo. Para esto, realiza un análisis exhaustivo de más de 150 escritos, e intenta responder a estas tres preguntas: ¿cuáles son las principales definiciones de ecosistema?, ¿Cuáles son las grandes corrientes de investigación?, por último, ¿El concepto de ecosistema agrega algún tipo de valor agregado a las investigaciones de gerencia?

Se han logrado identificar cuatro tipos principales de perspectivas de ecosistemas utilizando los 4 elementos de clasificación propuestos, para lo cual se definen 4 coordenadas de análisis para el concepto de ecosistema: (1) Análisis de las conexiones: se estudian las relaciones que se producen a nivel de ecosistema: competencia por los recursos, depredación, parasitismos e incluso la destrucción de todo el sistema. (2) Análisis de los roles: Se asume que cada actor tiene diferentes atributos, propósitos y principios para la toma de decisiones. Todos estos elementos crean un nivel de consecuencias inesperadas. (3) La delimitación del ecosistema, cabe anotar que las fronteras administrativas formales no son las que determinan los alcances reales del ecosistema. (4) La metodología para el estudio de los ecosistemas, tomando en cuenta que son sistemas dinámicos. Cabe mencionar que el elemento principal de categorización es la teoría explicativa, pero también se consideran conceptos clave como la metodología analítica, los actores y las relaciones entre los actores:

La perspectiva de la ecología industrial (IEP)

Se basa en el concepto de ecosistema natural como analogía para la comprensión y transformación del sistema industrial. La mayoría de las investigaciones existentes sobre ecosistemas industriales han utilizado análisis de flujo de energía o materiales, donde se amplía el modelo conceptual al aplicar dinámicas de sistemas o técnicas de ingeniería química para optimizar la simbiosis, la estabilidad y la resiliencia del ecosistema industrial. Esta perspectiva plantea la hipótesis de que las industrias y la sociedad se beneficiarían de la explotación de estos principios naturales, tanto en términos de economía como de sostenibilidad.

La perspectiva del ecosistema empresarial (BEP)

Se centra en el estudio del contexto empresarial y trata de establecer cuáles son los mecanismos de captura de valor o la creación de propuestas de valor como variables centrales. Los autores logran diferenciar cinco tipos de ecosistemas empresariales: (1) ecosistemas digitales, (2) ecosistemas complementarios (subsector industrial), (3) ecosistemas de proveedores, (4) ecosistemas de grupos empresariales, (5) ecosistemas profesionales globales.

El primer grupo de la perspectiva BE se basa en la definición de “fronteras organizacionales” de la Teoría General de la Gestión Estratégica, que ha desarrollado cuatro conceptos explicativos principales: eficiencia, poder, competencia e identidad. La concepción de ecosistema empresarial varía según cada tipo, de esta forma, las primeras definiciones se concentraron en las redes de actores empresariales y los mecanismos que sostenían su funcionamiento. Estos estudios no se centraron en la plataforma sino en las complejas relaciones de las empresas en un ecosistema digital.

El segundo grupo, se encuentra centrado en el concepto de sistema complementario (subsector industrial). Este describe el esquema genérico de un ecosistema como el sistema formado de proveedores, empresas locales, complementadores y los clientes. Por lo tanto, las fronteras del ecosistema se encuentran a nivel del subsector industrial, incluidos los complementadores y se centra en descubrir sus patrones dinámicos.

La tercera vertiente se enfoca en los ecosistemas formados por los proveedores y en resolver el problema de la selección de estos, la cual lleva como principal componente la creación de redes cooperativas y a su vez debe lidiar con el mantenimiento de la diversidad de proveedores.

El cuarto grupo considera el ecosistema como una empresa aglomerada conectada por fusiones y adquisiciones. De esta manera, analizan los cambios dinámicos en los grupos empresariales y su relación con el crecimiento económico. Por último, los ecosistemas profesionales globales se centran en la red global de talento humano STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) como fuente para el ecosistema de innovación global.

El ecosistema consta de actores comerciales: la perspectiva de gestión de plataforma (PMP)

Esta perspectiva se enfoca en el dinamismo de las plataformas y su principal objetivo es describir los mecanismos de crecimiento y declive. Esta estrategia se observa

particularmente clara en la industria de TI, esto se debe a las características tecnológicas de alta modularidad, que permite relegar a otras empresas la fabricación de partes. El análisis muestra que el ecosistema tiene una estructura multicapa, pero teniendo un actor que cumple el papel de agregador que integra a la plataforma a los otros jugadores, mientras construyen la siguiente capa.

También identifica el mecanismo de “apalancamiento arquitectónico”, este concepto se refiere al hecho de ejercer una influencia que es desproporcionada mayor en relación con el poder individual. En el contexto de plataformas el apalancamiento se logra mediante el desarrollo de activos compartidos, diseños y estándares, que se pueden recombinar sin restricciones lo que facilita la coordinación y la gobernanza dentro y entre las empresas que comparten una plataforma determinada. Arquitectura se entiende como un sistema de elementos y sus relaciones, que representan el resultado de decisiones deliberadas, aunque a veces dependientes de los otros elementos que conforman la plataforma. El mecanismo permite integrar los avances conceptuales de plataformas, para explicar de manera efectiva su dinámica evolutiva. Los integradores de cada capa apalancan el crecimiento de la plataforma compartiendo diseños, invenciones y estándares a los otros integrantes. El conocimiento es el flujo vital que estructura la evolución de los ecosistemas de plataforma.

Otra fuerza que determina la evolución de los ecosistemas se encuentra en el equilibrio entre fuerzas que son contrarias: estabilidad-variabilidad, homogeneidad-heterogeneidad. En general se identifican tres tensiones sobresalientes que los caracterizan: estandarización-variedad, control-autonomía y colectivo-individual.

La perspectiva de Red Multi actor (MNP)

Esta perspectiva, al igual que la de ecosistema empresarial (BEP) se centra en las complejas redes y relaciones de las empresas privadas; sin embargo, en esta perspectiva se analizan las redes dinámicas entre actores con atributos diferentes a las empresas privadas, estos actores se dividen en cinco grupos: (1) empresarios e inversionistas privados, (2) innovadores que están fuera de los canales de la empresa, (3) usuarios/comunidades de usuarios, (4) burócratas gubernamentales/diseñadores de políticas y (5) consorcios.

A partir del análisis de las perspectivas de ecosistemas se puede notar respecto del concepto de ecosistema, que se determina un producto/servicio específico y se explora la red económica a la que pertenece, incluso anota que estas formas de ecosistema podrían no circunscribirse a una zona geográfica determinada, o sea, que a la hora de esta-

blecer los ecosistemas, las fronteras no son un elemento que marque el inicio o el final de un ecosistema (Tsumito et al, 2018, Kapoor et al, 2021), esto debido a que en los ecosistemas productivos al igual que en biológicos es difícil hacer una delimitación del mismo, por lo que para efectos de estudio se proponen límites conceptuales con el fin de identificar los diferentes tipos de ecosistema (Cobben et al., 2022). Aunque en este aspecto hay una diferencia con la noción de ecosistema que se propone, y que podría estar más cerca de Kapoor (2021), en términos de que este intenta ampliar el concepto a partir de una industria o servicio y tratar de observar el impacto que este tiene en las redes sociales en las que se encuentra inmerso, cuando el ecosistema está determinado por los niveles técnicos, inclusive todos los elementos que forman el núcleo técnico de una organización, el nivel de la misión de la organización, y los actores que están relacionados como consumidores o proveedores, y por último propone la gobernanza a la que tiene que obedecer.

El problema de esta visión, al igual que todas las encontradas, es que parten de un elemento abstracto como una industria y a partir de allí, ven las relaciones que tiene con otras industrias y la comunidad. Este tipo de gerencia asume de fondo que todos los seres humanos tienen las mismas cualidades y talentos, o en el mejor de los casos, que, mediante entrenamiento, se pueden reproducir todas las características necesarias para cada ecosistema; o sea, que es una especie de algoritmo que es independiente del hardware, como en las computadoras, el hardware no es más que las regiones en las que están y en los seres humanos específicos que viven en ellas. Algo que viene a ser problemático desde cualquier punto de vista, sólo por anotar un elemento a manera de ejemplo: no es igual la cultura asiática, altamente jerárquica (Páez et al, 2002), que la cultura occidental, mucho más horizontal. Estas definiciones o perspectivas no toman en cuenta que el concepto de ecosistema lleva inserto en sí mismo la interacción con los medios específicos.

Aunque es relativamente esperable que se parta de este extremo de la cuerda, ya que son investigaciones en gerencia, y lo que se busca es aumentar la competitividad de la organización determinada. Esto nos lleva a un problema fundamental sobre el que hay que hacer una mención especial: existe una enorme diferencia en los objetivos del administrador de una empresa y los de un hacedor de política pública.

Para el administrador de una empresa, como ya se mencionó, es primordial la creación de valor y el aumento de la competitividad. Asumamos que esta organización existe en un medio económico con competencia perfecta, lo que significa ser más competitivo, es el acrecentar la cuota de mercado a la que la empresa tiene acceso, lo que

le permite incrementar su valor. Pensemos por un momento lo que representa este punto, cuando las fuerzas de un mercado están en equilibrio, todos los oferentes tendrán una cuota de mercado que depende de la cantidad de consumidores a los que su producto puede “seducir”. Para aumentar la riqueza/ganancia, o lo que generalmente agrega el valor de la empresa se puede lograr de dos formas: por un lado, a través de una disminución de los costos de producción, vía una mejora tecnológica, o bien diferenciando su producto. Con estas premisas, lo esperable es que un mejoramiento en la eficiencia tecnológica que lleva a una eficiencia en los costos o el recibir algún tipo de beneficio fiscal, esto se traslade al usuario final en la forma de una reducción de precio que aumente su cuota de mercado y por consiguiente la ganancia. En términos generales, esto significa que si se posee una ventaja que la competencia no posee, esto lleva ineludiblemente a tener la preferencia de los consumidores. Es por esto, cuando en las investigaciones de negocios el principal objetivo es el aumento de la competitividad, o sea, tratar de encontrar aquellas ventajas que aumentan la cuota de mercado, es decir, disminuir la cuota de mercado de los otros competidores; en otras palabras, esta fuerza va en contra de la competencia. Precisamente cuando el mercado no es competitivo, estos mismos elementos llevan a una concentración que destruye la dinámica, o sea, el bajar los costos no implica una disminución de precio, ya que el oferente no puede aumentar la cuota de mercado o es poco significativa en términos de ganancia. Así el ahorro en coste se traslada directamente a la ganancia del oferente.

Por otro lado, la misión de los hacedores de política pública es buscar el aumento de la diversidad en los ecosistemas, es decir, fomentar la competencia en los mercados, de tal forma que esté repartido lo máximo posible. Esto porque por definición la competencia es la capacidad que tiene el mercado para que las decisiones sean tomadas por los consumidores y no por los oferentes, también, competencia es la capacidad de un mercado de que ningún oferente pueda tomar decisiones significativas que afecten el mercado en el que está. Cuando esta regla se rompe, un oferente obtiene el poder de tomar decisiones que determinan el comportamiento del mercado, lo que le permite velar por acciones que le beneficien. De manera que, la máxima competitividad se produciría en el momento que un oferente es monopolístico u oligopólico coludido, así tendría un mercado cautivo.

En consecuencia, existen dos polos importantes que tienen objetivos contrarios, por un lado, los que deben aumentar la competitividad de las empresas, o sea, destruir a los competidores, y, por otro lado, el aumento de la competencia.

Hallazgos y propuesta

Descripción de los ecosistemas Productivos

Explorar la fascinante analogía entre los ecosistemas naturales y los elementos del sistema productivo de una región, alude a nuestro estudio y se adentra en la comparación de las dinámicas de transferencia existentes en ambos sistemas. Así como en los ecosistemas naturales observamos una transferencia de materia y energía a través de las cadenas tróficas, en los ecosistemas productivos se propone una transferencia paralela de capital, capital humano y materias primas. Esta perspectiva biomimética ofrece una comprensión más profunda de cómo los elementos interconectados en los sistemas productivos pueden fomentar el desarrollo y la innovación con un reflejo de patrones similares a los que encontramos en la naturaleza. Este enfoque no solo enriquece nuestra comprensión de los sistemas económicos, sino que también abre nuevas vías para estrategias de desarrollo regional sostenible y eficiente.

En el ecosistema productivo, las empresas funcionan como organismos vivos dentro de una región geográfica específica; no solo nacen, crecen y se desarrollan, sino que también interactúan con otros organismos complejos tales como otras empresas, instituciones públicas y académicas, así como con la sociedad civil. Estas interacciones se realizan a través de elementos del medio ambiente, como la infraestructura física y tecnológica, que representan los componentes abióticos del sistema. De esta manera, se establece un paralelismo entre los elementos bióticos y abióticos de los ecosistemas naturales y los componentes activos y pasivos del entorno productivo.

En los ecosistemas biológicos, la interacción entre los componentes vivos y abióticos, a través de flujos de nutrientes y energía, define su unicidad. De manera similar, en el ecosistema productivo, las empresas interactúan con otros actores, donde destaca especialmente el flujo de capital humano. Las empresas no sólo obtienen talento y conocimiento de las instituciones académicas, sino que también adquieren servicios y tributan al Estado, para generar un impacto económico y social significativo. Estas interacciones, que abarcan flujos de personas, recursos e insumos, varían según el sector empresarial y la comunidad. Este fenómeno subraya la especificidad y diversidad de cada ecosistema productivo, análogo a la variedad en los sistemas biológicos. Cabe resaltar que el flujo de capital humano es crucial, pues implica la transferencia de habilidades, conocimientos y experiencias, esenciales para la innovación y el crecimiento en los entornos productivos. Así, el intercambio dinámico de capital humano entre empresas, instituciones y la comunidad moldea el carácter y la eficacia del ecosistema productivo,

similar a como los flujos de energía y nutrientes definen los ecosistemas naturales.

Las relaciones de mayor relevancia son aquellas en que se intercambian elementos que son fundamentales para la supervivencia. En los ecosistemas biológicos, son las cadenas alimenticias que transfieren energía y materia. En contraste, los sistemas productivos presentan una mayor diversidad en sus flujos de intercambio, no limitados solo a materia y energía, sino que incluye elementos como capital financiero, capital humano y materias primas. Estos elementos en los sistemas productivos equivalen a la energía y materia en los ecosistemas biológicos, por ejemplo, el capital humano aporta mucho más que simple mano de obra; también transmite conocimientos y experiencias valiosas (Spencer, 2008), así contribuye a un patrimonio intangible que enriquece el ecosistema empresarial. Esta transferencia de saberes y la capacidad de adaptarse a diversas culturas dotan a las corporaciones multinacionales de una ventaja competitiva significativa, la cual permite operar eficazmente en una amplia gama de mercados globales. Así como el capital financiero ayuda a catalizar los procesos productivos, como la adquisición de nuevas tecnologías o materias primas, la gestión eficiente de estos flujos es fundamental para la optimización de recursos en cada ecosistema, ajustada a las regulaciones y las necesidades específicas de cada región.

Por otro lado, la cultura y las inclinaciones de la población de la región influyen significativamente en la calidad y tipo de talento humano disponible, aspecto que no es modificable a través de legislación, por ejemplo, en un territorio su población podría sentirse a gusto con cierto tipo de tareas que son culturalmente compatibles, así por ejemplo, habrán regiones donde sus pobladores estén más inclinados a la matemática y la ciencia, mientras que en otras, sus intereses estén en entender y mejorar los procesos sociales y familiares. Este enfoque holístico hacia los flujos en sistemas productivos refleja una complejidad y diversidad mayor en comparación con los sistemas biológicos, resaltando la unicidad y la especificidad de cada ecosistema productivo.

El primer nivel trófico en ecosistemas productivos, similar a las plantas en los ecosistemas biológicos, es donde se inyecta la riqueza, esencial para la dinámica del sistema, cuando se refiere a riqueza no es exactamente a la cantidad de moneda, sino los elementos de valor que genera una sociedad. En los sistemas biológicos, las plantas transforman la energía solar, con lo que se inicia la cadena alimenticia. De forma paralela, en los ecosistemas productivos, la riqueza es la energía que se transfiere e impulsa todas las actividades. Esta riqueza generada y movilizada según la Ley de Say (1821) es finita y debe

ser administrada eficientemente, es por esta característica fundamental que existe la economía, en tanto que estudia la forma en que esa riqueza, que es recurso escaso, puede servir para mover los flujos en todo el ecosistema. La disponibilidad de riqueza dicta la diversidad y la capacidad del ecosistema, la cual afecta la supervivencia y prosperidad de la comunidad, ya que es una forma de medir la energía disponible que tiene un ecosistema humano, entre más energía disponible más diversos son los propósitos que se le dan. Este primer nivel, formado por los agregados de la Ley de Say, refleja cómo la creación y circulación de riqueza es fundamental para mantener el ecosistema productivo.

La Ley de Say (1821) dice que el hecho de encontrar productos terminados (oferta), nos permite decir que existe o se ha creado una demanda más o menos del mismo valor, dicho en términos operativos, para que una economía empiece a funcionar se requiere que los miembros de la comunidad tengan algún bien con valor para la comercialización, por ejemplo, cuando se habla de sistemas primitivos y se describen las primeras formas de comercio como el trueque, hay que poner atención al acto fundamental de que las personas debieron convertir algo, ya sea para el consumo propio para el intercambio propiamente dicho, o sea, tuvieron primero que trabajar y transformar la materia; esto en mercados más complejos lo que nos indica es que cuando se logra constatar la existencia de un objeto para vender o comerciar (oferta), ya se puede contar con la existencia de un valor similar de demanda y con las personas que se les pagó por el trabajo o incluso que sean ellas mismas las que lo comercializan. Como se observa se encontró que, el nivel en que convergen la oferta y la demanda es el nivel en el que el trabajo produce un bien comercializable y además todo individuo con un valor equivalente para poder intercambiarlo por otros bienes que necesite, es el punto de inyección de riqueza al sistema, semejante a las plantas de los sistemas biológicos.

De este modo, se han establecido las leyes de las interacciones dentro de los ecosistemas productivos, así como las restricciones a las cuales se somete, principalmente por la ley de Say y por su consecuente la ley de Walras, que describen los análogos a la ley de conservación de energía que constriñen a los sistemas biológicos. Además, podemos suponer que una forma de generar una red exitosa de interrelaciones es aquella configuración que minimiza la tensión entre el medio social y la generación de riqueza, mientras que aquellos sistemas o actores del ecosistema productivo que no aprovechan la vocación de la región tenderán a aumentar sus costos y en un escenario de competencia, a desaparecer. De ahí que, determinar la vocación productiva es trascendental para un desarrollo armonioso y que permita una evolución a sistemas de

mayor valor agregado en tiempos razonables e inversión social sostenible.

Interconexión entre talento y ecosistemas productivos

La concepción del “aprovechamiento eficiente del talento” dentro de los ecosistemas productivos es una analogía fascinante y reveladora que se alinea con los hallazgos de investigadores como Strenze, Stewart, y otros. Esta noción propone que, al igual que en un ecosistema natural, donde cada componente tiene un papel vital, en los ecosistemas productivos, la asignación y utilización óptima del talento humano es fundamental para el funcionamiento y éxito del sistema.

En el ecosistema productivo, la distribución eficiente del talento se refiere a la asignación adecuada de personas talentosas a ocupaciones que no solo requieren, sino que también desafían y utilizan plenamente sus habilidades. Strenze (2013) destaca que las sociedades que logran esta sinergia entre talento y complejidad laboral tienden a exhibir un crecimiento económico más robusto. Esta relación es crucial porque capitaliza las habilidades individuales de manera que maximiza la productividad y la innovación. Como en un ecosistema natural donde la eficiencia energética y la utilización de recursos dictan la salud del sistema, en los ecosistemas productivos, la eficiencia en la asignación del talento dicta la productividad y el crecimiento económico.

El aprovechamiento del talento no solo influye en la eficiencia productiva, sino que también juega un papel determinante en el desarrollo económico y social más amplio de una sociedad. Las investigaciones sugieren que las sociedades que emergen de la pobreza y utilizan eficazmente sus talentos humanos, junto con los recursos naturales, pueden acelerar su desarrollo económico. Este enfoque trasciende la mera generación de riqueza y abarca un desarrollo holístico, al considerar factores sociales y culturales que contribuyen a una sociedad más equitativa y próspera.

La idea del “rescate del talento” en todas las capas sociales apunta a una democratización de las oportunidades y a una distribución más equitativa del talento humano. Al reconocer que el talento se distribuye normalmente en todas las esferas sociales, es esencial que los sistemas socioeconómicos permitan el florecimiento de este talento, independientemente del origen socioeconómico, ya que no solo se fomenta una mayor equidad y se reduce la desigualdad, sino que también se mejora la competitividad y la capacidad innovadora del sistema. Este enfoque es esencial para la construcción de ecosistemas productivos

inclusivos y sostenibles, donde cada individuo puede contribuir efectivamente al desarrollo económico y social.

Al igual que en un ecosistema natural, donde cada especie juega un papel específico y esencial, en los ecosistemas productivos, cada individuo y su conjunto único de habilidades y conocimientos contribuyen al bienestar y al crecimiento del sistema económico en su conjunto. Estas ideas subrayan la importancia de políticas y estrategias que fomenten una distribución equitativa del talento y promuevan oportunidades para que todos los miembros de la sociedad desarrollen y utilicen plenamente sus habilidades.

Fuerzas dentro y fuera del entorno del ecosistema

Los ecosistemas productivos están inmersos en un entorno complejo que está conformado por una parte *soft* y una parte *hard*, las cuales a su vez se conforman por distintos elementos que son los que juntos en un balance adecuado dan vida al ecosistema.

Parte Soft

La parte *soft* del ecosistema productivo se compone de dos elementos: gobernabilidad y competencia.

Gobernabilidad La gobernabilidad “trasciende la acepción primitiva de ‘control de los conflictos sociales’, y abarca la capacidad de un gobierno de concertar con diferentes actores sociales y económicos y desarrollar políticas públicas orientadas a satisfacer sus demandas” (PNUD, 2009, p. 12). Además, “mejorar la gobernabilidad es un poderoso instrumento para mejorar los indicadores sociales y el crecimiento” (PNUD, 2009, p. 12). Por ende, es de suma importancia optimizar la gobernabilidad para promover el desarrollo económico y social.

Se sostiene que un sistema es gobernable cuando está estructurado sociopolíticamente, de modo tal que todos los actores estratégicos se interrelacionan para tomar decisiones colectivas y resolver sus conflictos, según un sistema de reglas y de procedimientos formales o informales — con diversos niveles de institucionalización—, dentro del cual formulan sus expectativas y estrategias. La existencia de la democracia es condición necesaria, pero no suficiente, para la gobernabilidad, la que trasciende el ámbito del gobierno y abarca a las instituciones de la sociedad y del sector privado (PNUD, 2009, p. 12). De acuerdo con lo anterior, se puede decir que un ecosistema productivo es gobernable cuando está bien estructurado y sus actores (empresas, gobierno, universidades, entre otras) interactúan para tomar decisiones colectivas para el bien de todo el ecosistema.

Cabe, además, hacer la diferenciación del término gobernabilidad con el concepto de gobernanza el cual se define como un

“sistema de valores, políticas e instituciones a través de las cuales una sociedad maneja sus asuntos económicos, políticos y sociales en interacciones entre el Estado, la sociedad civil y el sector privado. Es la manera en que la sociedad se organiza a sí misma para tomar e implementar decisiones, logrando la comprensión, el acuerdo y la acción colectiva” (PNUD, 2009, p. 12).

Generalmente, en los ecosistemas productivos, la gobernanza de este recae en una empresa líder que se encarga de regular las conexiones entre los miembros, dar forma y mejorar la salud del ecosistema. No obstante, esta visión nos parece insuficiente, por lo que en nuestro modelo de ecosistemas productivos proponemos la gobernanza basada en el modelo de triple hélice.

El modelo de la Triple Hélice es para nosotros no solo la forma de gobernanza del ecosistema, sino que también el mecanismo para potenciarlos. Este es un triunvirato definido por la interacción de tres macro sectores: el académico, el público y el privado.

El sector privado empresarial aporta la conformación de las cadenas de producción. Por su lado, el sector público o estatal proporciona el marco jurídico, las condiciones base o reglas del juego bajo las cuales se desarrollan los ecosistemas. La Academia, además de contribuir con el talento humano, desempeña un rol fundamental al ser el macro sector capaz de introducir cambios tecnológicos (a través de investigación científica e innovación) que podrían cambiar la vocación productiva de una región, potenciar las cadenas de soporte de mayor valor agregado y constituir así en un disparador de la evolución descrita anteriormente.

Cabe mencionar que a este modelo otros autores le han agregado la cuádruple y quintuple hélice, así, la cuádruple hélice hace referencia a la sociedad civil y la quintuple hélice abarca el medio ambiente. De esta forma, el modelo busca potenciar el desarrollo sostenible a partir de la innovación en las cinco hélices (Carayannis et al., 2012).

Competencia En los mercados capitalistas, la característica fundamental es la competencia, la cual en los ecosistemas biológicos es entendida como la lucha por el uso de recursos limitados compartidos (Schowalter, 2022). Por su parte, en los ecosistemas productivos, esta se puede conceptualizar de forma sencilla, como que ningún oferente/productor pueda controlar el mercado, cuando

este principio no se cumple, pasamos de un mercado capitalista a uno mercantilista.

Los mercados mercantilistas permiten la acumulación de la riqueza por parte de una élite, su principal objetivo es perpetuar el control de los mercados por medio de carteles monopólicos u oligopólicos, al ejercer poder mediante el aparato del Estado o a través del poder de mercado a su disposición.

El papel de la competencia en el ecosistema productivo es conservar la diversidad del ecosistema, o sea que los consumidores sean los que escogen entre los diversos actores y son los que, en última instancia, les dan la vida a las empresas.

Parte Hard

La parte *hard* del ecosistema productivo está compuesta por dos elementos: competitividad y productividad.

Competitividad De acuerdo con la OCDE (1992) citado por Horta y Serrano (2008) la competitividad es

...el grado por el cual una nación puede, bajo condiciones de comercio y mercados libres, producir bienes y servicios que soporten el *test* de los mercados internacionales, mientras simultáneamente mantienen y expanden el ingreso real de la población en el largo plazo (p. 2).

Asimismo, en la visión de Michael Porter, la competitividad de una nación depende de la capacidad de su industria para innovar y mejorar y, afirma, además, que para entenderla hay que empezar por las fuentes fundamentales de la prosperidad, la cual se crea y no se hereda, sino que está determinada por la productividad de su economía que permite mantener altos salarios, una moneda fuerte y retornos de capital atractivos (Horta y Serrano, 2008, p. 2).

La implementación de acciones que favorezcan el desarrollo de la cooperación entre las firmas para permitir la especialización individual en un contexto de complementariedad y extensión del mercado es un camino que permite avanzar en la competitividad. La competitividad sistémica es el producto de un proceso colectivo y acumulativo a través del tiempo, que impacta en una mayor demanda de empleo formal y desarrollos innovativos. A su vez, son fundamentales los servicios de apoyo en transporte y logística, financiamiento, infraestructura, energía, consultoría especializada, entre otros factores, para contar con un entorno favorable a la producción (Kosacoff, 2019, párr. 4).

En los ecosistemas productivos, la competitividad no depende de las empresas, ya que es externa a estas, sino que depende del ambiente en que estas se desarrollan.

Productividad El término productividad en los ecosistemas biológicos se refiere a la eficacia con que el ecosistema convierte las materias primas en organismos vivos, de manera análoga en los ecosistemas productivos, las empresas buscan convertir la materia prima en productos finales con la menor cantidad de recursos (Iansiti & Levien, 2004). De esta forma, la productividad mide la eficiencia con la que se utilizan los insumos de producción, como la mano de obra y el capital, en una economía para generar un determinado nivel de producción, además, se considera una fuente clave de crecimiento económico y competitividad (OCDE, 2021).

Relación con otros paradigmas de desarrollo estratégico

Los ecosistemas productivos son sistemas complejos donde la sinergia entre las empresas, la fuerza laboral y las instituciones educativas y de investigación genera valor y fomenta el desarrollo económico. Este enfoque reconoce que la prosperidad económica surge de una red intrincada de interacciones y relaciones, donde cada actor juega un papel crítico. La noción de ADN productivo se refiere a las características y capacidades únicas de una región, donde incluye factores como la cultura empresarial, la infraestructura y la innovación, que pueden ser cultivados para impulsar el crecimiento y la competitividad.

Las estrategias de especialización inteligente (S3) toman una dirección más estratégica (Gañán de Molina, 2022, Prieto et al, 2015). Estas estrategias, promovidas dentro de la Unión Europea, buscan estimular el crecimiento regional a través de la especialización en áreas donde ya existe una ventaja competitiva o un potencial significativo de innovación. Las estrategias S3 implican un análisis detallado de las fortalezas regionales, pero pueden enfrentar críticas por concentrar recursos en sectores ya desarrollados, al limitar posiblemente la diversificación económica y correr el riesgo de crear monopolios u oligopolios en el mercado.

Por otro lado, los enfoques de política orientada por misiones proponen un modelo en el cual se establecen “misiones” amplias y desafiantes que buscan movilizar la innovación en múltiples sectores para abordar problemas sociales importantes. Este enfoque es menos sobre la especialización y más sobre la consecución de grandes objetivos que tienen claros beneficios públicos. A diferencia de los enfoques más regionalizados y centrados en el mercado de las estrategias S3, las políticas orientadas

por misiones promueven colaboraciones intersectoriales y buscan atraer inversiones tanto públicas como privadas. Estas políticas de misión buscan inspirar y guiar la innovación en la dirección de objetivos sociales y económicos significativos, tales como la sostenibilidad ambiental, la salud pública o la transformación digital. Los objetivos claros y ambiciosos de estas políticas actúan como catalizadores para la innovación, fomentando una gama más amplia de actividades de investigación y desarrollo y posiblemente evitando la concentración de poder económico en pocos sectores.

La clave para los ecosistemas productivos basados en el ADN productivo es un entendimiento holístico y orgánico de las dinámicas regionales. Este enfoque busca aprovechar de manera auténtica las características inherentes de una región, el cual permite un desarrollo económico que es verdaderamente representativo de su identidad y capacidades. Se centra en fomentar un crecimiento que sea sostenible y enriquecedor para todos los miembros del ecosistema, enfatizando la importancia del talento humano y la innovación. Mientras que los enfoques basados en S3 y las políticas orientadas por misiones pueden ser más adecuados para objetivos específicos de especialización y desafíos extraordinarios, los sistemas basados en el ADN productivo ofrecen una ruta hacia un desarrollo económico más integrado y representativo. Sin embargo, independientemente del enfoque, una implementación cuidadosa y la consideración de las interdependencias y el valor del talento humano son esenciales para el éxito a largo plazo.

Definición Operativa

Ahora bien, el problema que se presenta es, ¿cómo se identifican los ecosistemas productivos? y más aún, ¿cómo detectar cuáles son las condiciones y requerimientos que cada uno necesita para crecer y desarrollarse, sin que ello implique crear un enclave económico? Un biólogo se basa en largos períodos de observación para caracterizar el ecosistema de un arrecife de coral, por ejemplo. De manera análoga observamos los sectores productivos para conocer sus requerimientos y contrastarlos con las características de regiones y comunidades, detectando las que tienen la mayor cantidad de interrelaciones y, por tanto, condiciones para el desarrollo de uno u otro sector.

Este enfoque permite determinar las características de los sectores productivos, a través de las relaciones que establece con el medio, o sea, con la comunidad, el Estado y los consumidores. Como resultado, no solo hay que identificar las relaciones de alimentación (fuentes de capital, materias primas, talento humano), sino, las relaciones de competencia indirectas que se forman por la presencia

de otros sistemas productivos, competencia por recursos comunes, políticas públicas de Estado, flujo de mano de obra entre empresas. Por ejemplo, en el ecosistema donde exista una compañía transnacional, que trae procesos de manufactura y gestión más avanzados que los procesos locales; desde este punto de vista, el intercambio de la mano de obra desde la transnacional hacia las empresas locales genera una transferencia de conocimiento y aumento de la eficiencia de los procesos locales. De igual forma, la cultura local enriquece y sensibiliza a la cultura organizacional de la empresa extranjera con nuevas habilidades que le permiten entrar a nuevos mercados. Esta es una relación trófica, entre una nueva especie (transnacional) y las especies autóctonas (empresas locales).

Los sectores productivos están dotados de características que les permiten sobrevivir. La idea es encontrar aquellos elementos básicos que caracterizan el surgimiento y el éxito de una empresa o un sector productivo en una región dada. Esto permite encontrar para qué puede ser utilizada cada región de forma eficiente. Igualmente, la diferencia que existe entre ADN Productivo de una región con las características de alguna industria permite conocer las condiciones óptimas que se requeriría para desarrollarse exitosamente.

ADN Productivo

El concepto de “ADN productivo”, tal como se describe, abarca las cualidades únicas y distintivas de una población a nivel regional, influenciadas significativamente por su cultura inherente. Estas características no solo definen la identidad socioeconómica de una región, sino que también moldean las preferencias y especializaciones laborales de sus habitantes. Por ejemplo, algunas regiones pueden destacarse por su énfasis en la educación superior, para fomentar así una población con fuertes inclinaciones académicas y profesionales, mientras que otras pueden valorar más el trabajo físico, el artesanal o el artístico, lo cual se refleja en una economía y cultura locales vibrantes y distintivas.

Para ilustrar esta idea, podemos examinar el caso de las polis griegas antiguas como Esparta y Atenas, cada una con su propia orientación y valores predominantes. Esparta era célebre por su riguroso entrenamiento militar y su cultura enfocada en la disciplina y la fuerza, lo que la convertía en una potencia bélica formidable. En contraste, Atenas se destacaba por su rica vida cultural, su florecimiento en las artes, la filosofía y la democracia, siendo un faro de pensamiento avanzado y expresión creativa.

Este fenómeno se puede conceptualizar como un “primer nivel trófico” en el ámbito socioeconómico, donde las inclinaciones y competencias de una población se transfor-

man en una dinámica de oferta y demanda laboral. Lo que una comunidad valora y en lo que se especializa no solo determina su forma de subsistencia, sino que también enriquece su calidad de vida, contribuyendo a un tejido socioeconómico diverso y resiliente.

Es crucial reconocer que este “ADN productivo” no es un elemento estático, sino que está en constante evolución, similar a las especies biológicas en la naturaleza. A lo largo de las generaciones, las culturas se adaptan y transforman, para responder a cambios en el entorno, avances tecnológicos, intercambios culturales y desafíos económicos, lo que demuestra la dinámica fluida y adaptable de las sociedades humanas en su búsqueda continua de progreso y bienestar.

Al profundizar en el concepto de “ADN Productivo”, podemos considerarlo como un marco integral que encapsula las características esenciales de una región, para determinar su idoneidad y eficiencia en diversas industrias. Este marco se compone de variables críticas como la educación, la salud y el acceso a Internet, cada una aporta de manera significativa a la capacidad productiva y al desarrollo económico de la región. Por ejemplo, en una industria tecnológica avanzada, estas variables necesitarían estar en sus niveles óptimos: una educación superior robusta que nutra la innovación y la especialización, un sistema de salud sólido que garantice una fuerza laboral saludable y productiva, y un acceso a Internet de alta velocidad que facilite la conectividad global y el flujo de información. En contraste, industrias más orientadas hacia el trabajo manual o artesanal podrían requerir un nivel de educación más práctico y centrado en habilidades específicas, mantener aún una alta prioridad en la salud y, potencialmente, un menor énfasis en la conectividad digital.

Esta noción se asemeja al concepto biológico de adaptación, donde, al igual que los organismos en un ecosistema, como los peces en un arrecife de coral que están adaptados a sus condiciones específicas (respiración branquial, habilidades de natación), las regiones desarrollan un “fenotipo económico” específico, una vocación productiva que refleja sus capacidades y características intrínsecas. Esta adaptación socioeconómica no solo es un reflejo de la infraestructura física y educativa de la región, sino también de sus valores culturales, historia y orientación social, todos los cuales se entrelazan para formar un ecosistema económico único y dinámico.

Si se reconoce y evalúa este “ADN Productivo”, se pueden diseñar estrategias económicas y políticas públicas más efectivas, que no solo se alineen con las capacidades existentes de una región, sino que también potencien su

crecimiento y desarrollo a largo plazo. Esta aproximación permite una intervención más precisa y sostenible, lo cual fomenta un desarrollo que es tanto inclusivo como representativo de la identidad y fortalezas únicas de cada comunidad.

Capturar la esencia del “ADN Productivo” de una región, a pesar de su intangible naturaleza, es posible mediante un enfoque analítico y estadístico, que va más allá de los métodos tradicionales utilizados en indicadores como el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Este enfoque implica una meticulosa recopilación y análisis de datos socioeconómicos regionales, abarca un espectro amplio de variables como la educación, la salud, y la infraestructura tecnológica, entre otros. La idea es formular un conjunto de indicadores que, al ser analizados en conjunto, ofrezcan una vista panorámica del potencial productivo y económico de una región, reflejando tanto sus capacidades actuales como sus posibles trayectorias de desarrollo.

A diferencia del IDH, que se centra primordialmente en el bienestar humano y el progreso social, este enfoque para medir el “ADN Productivo” pondría un énfasis mayor en la capacidad económica, la innovación tecnológica, y la diversificación industrial. Se trataría de una herramienta analítica más orientada a la planificación económica estratégica y al diseño de políticas adaptadas a las características específicas de cada región. Al integrar indicadores que abarcan desde el acceso a Internet y la calidad de la infraestructura hasta la educación y la salud, este enfoque ofrece un marco más holístico y dinámico para entender y potenciar el desarrollo económico regional.

Sin embargo, es crucial reconocer las limitaciones inherentes a este método. Un ranking basado en datos estadísticos puede no captar completamente la riqueza y la complejidad de las culturas locales, las tradiciones, y las preferencias individuales. Además, la selección y ponderación de los indicadores pueden introducir un grado de subjetividad, lo que podría sesgar la interpretación de las necesidades y capacidades reales de la región. Por lo tanto, mientras que este enfoque ofrece una aproximación valiosa para entender y potenciar el “ADN Productivo”, también debe ser complementado con un profundo entendimiento cualitativo de las singularidades culturales y sociales de cada región.

Tradicionalmente, la caracterización del “ADN Productivo” de una región se hubiera abordado mediante la construcción de índices que amalgaman diversas medidas estadísticas en un solo valor agregado. Este enfoque, si bien útil para proporcionar una visión general y comparativa, a menudo resulta en una simplificación excesiva de realidades complejas y dinámicas, perdiendo matices y especi-

ficidades críticas que definen a cada región. Al reconocer estas limitaciones, surge la propuesta de adoptar la Optimización Multiobjetivo (MOO) como una metodología alternativa y complementaria. El MOO, con su capacidad de manejar múltiples objetivos de manera simultánea y su enfoque en la conservación de la integridad individual de cada variable, ofrece una lente analítica más matizada y detallada. Esta transición del uso de índices hacia la aplicación de MOO representa un avance significativo en la forma en que conceptualizamos y evaluamos el “ADN Productivo”, lo que permite abrazar la complejidad inherente de las regiones y ofrece *insights* más profundos y operativos para su desarrollo y planificación estratégica.

La incorporación de un enfoque de Optimización Multiobjetivo (MOO) en la evaluación del “ADN Productivo” representa un salto cualitativo en cómo entendemos y capitalizamos las fortalezas socioeconómicas de las regiones. A diferencia de los métodos convencionales que condensan datos variados en un índice unidimensional, el MOO mantiene la integridad y especificidad de cada variable, para crear un rico tapiz multidimensional. Este enfoque permite una visualización y análisis más sofisticados de las interacciones entre variables como educación, salud e infraestructura tecnológica, al revelar patrones y correlaciones ocultas en un análisis más simplificado.

Adoptar MOO significa adentrarse en un análisis más complejo, pero significativamente más informativo, donde los perfiles regionales no se reducen a un solo número, sino que se presentan como constelaciones de factores interconectados. Esta metodología abre la puerta a una comprensión más profunda de cómo las características únicas de cada región pueden influir en su desarrollo económico y productivo. Con ella, podemos identificar no solo las áreas de fortaleza y debilidad, sino también cómo interactúan estas áreas, ofreciendo una base más sólida para políticas y estrategias de desarrollo adaptadas y efectivas.

Sin embargo, este enfoque trae consigo desafíos inherentes, inclusive la complejidad en el manejo y análisis de datos multidimensionales y la necesidad de mantener la relevancia y actualización de los datos. Además, la interpretación de estos espacios multidimensionales requiere un nivel de expertise y análisis cuidadoso. A pesar de estos desafíos, la aplicación de MOO en la evaluación del “ADN Productivo” representa un avance prometedor hacia un entendimiento más holístico y dinámico del potencial de desarrollo regional.

El primer desafío en la implementación de la Optimización Multiobjetivo (MOO) sobre datos discretos, como es el caso de las escalas socioeconómicas aplicadas a re-

giones finitas, conlleva desafíos únicos, principalmente debido a las limitaciones en la flexibilidad y precisión que estos datos ofrecen. Sin embargo, una solución prometedora para superar estos desafíos es la aplicación de redes neuronales autoorganizativas, una forma de inteligencia artificial que puede facilitar el modelado y la interpolación de estos datos. Esta técnica permite transformar el conjunto de datos discretos en un modelo más fluido y continuo, proporcionando una representación más rica y matizada de las características socioeconómicas regionales. Al utilizar una red neuronal autoorganizativa, podemos no solo capturar la complejidad inherente y las sutilezas de los datos, sino también descubrir patrones y correlaciones ocultas, lo que resulta esencial para una aplicación efectiva y precisa de MOO en la evaluación y planificación del desarrollo regional.

El segundo gran desafío es la adecuada visualización de las soluciones de Pareto obtenidas a través de la Optimización Multiobjetivo (MOO), este es un elemento crucial y no debe subestimarse en su importancia. En el contexto de un modelo multidimensional, como el que se utiliza para analizar el “ADN Productivo” de regiones, una visualización efectiva es la clave para desbloquear el pleno potencial del análisis MOO. Para lograr esto, se deben emplear técnicas avanzadas de reducción de dimensionalidad, como el Análisis de Componentes Principales (PCA) o mapeos autoorganizados, que transformen el espacio complejo en representaciones más comprensibles. Las herramientas de visualización interactivas y dinámicas, que permitan a los usuarios explorar las compensaciones entre diferentes objetivos y entender las relaciones intrincadas entre las variables, son fundamentales. La claridad en la representación de *trade-offs*, el uso estratégico de colores y simbología, y la incorporación de funcionalidades de anotación y comparación, enriquecerán significativamente la experiencia del usuario. Además, la retroalimentación continua de los usuarios y *stakeholders* es esencial para asegurar que la visualización no solo sea técnicamente precisa, sino también intuitivamente comprensible y directamente aplicable a la toma de decisiones. Este enfoque holístico y centrado en el usuario para la visualización no solo hace justicia a la complejidad del modelo MOO, sino que también facilita la interpretación y aplicación práctica de sus resultados, transformando datos complejos en *insights* accionables y estratégicos.

El Optimizador de Ecosistemas Productivos (Opt-EP) representa una herramienta avanzada en el campo de la inteligencia artificial, diseñada específicamente para analizar y caracterizar el “ADN Productivo” de regiones geográficas. A través del uso de algoritmos heurísticos, Opt-EP se profundiza en la comprensión de las dinámicas

socioeconómicas, culturales, ambientales y económicas de una zona, abordando la complejidad inherente a estos sistemas. A diferencia de los métodos convencionales, que a menudo se basan en promedios ponderados y pueden perder detalles finos y matices importantes, Opt-EP descompone las mediciones en sus componentes individuales. Este enfoque detallado permite una exploración más granular de los factores que influyen el potencial productivo de una región, para proporcionar así una base de datos rica y diversa para la toma de decisiones en políticas públicas. Al analizar cada ‘hilo’ de información por separado, Opt-EP busca revelar patrones y correlaciones que podrían permanecer ocultos en análisis menos detallados, para facilitar así una visión más completa y matizada de las características únicas de cada región.

En la práctica, el papel del ser humano en el proceso de toma de decisiones con el Opt-EP es crucial, especialmente en la etapa final de interpretación de las soluciones propuestas. Aunque el Sistema Experto (SE) del Opt-EP maneja el voluminoso trabajo analítico, al identificar soluciones óptimas dentro de las condiciones dadas, es la intervención humana la que otorga contexto y relevancia a estos hallazgos. Esta colaboración entre la capacidad de procesamiento de un SE y el juicio humano asegura que las soluciones propuestas no solo sean técnicamente sólidas, sino también aplicables y pertinentes en contextos sociales y culturales reales. Esta interacción resalta la importancia de una sinergia entre la tecnología avanzada y la comprensión humana, especialmente en el ámbito del desarrollo regional y la planificación de políticas públicas, donde las decisiones tienen implicaciones profundas y de largo alcance en las comunidades.

El sistema consta de tres partes bien diferenciadas:

1. Interpolador (Red Neuronal de Entrada): Está basada en los mapas de Kohonen, también conocidos como mapas autoorganizados, son un tipo de red neuronal artificial que se puede utilizar para la visualización de datos y el reconocimiento de patrones. Son particularmente útiles para reducir conjuntos de datos de alta dimensión en mapas bidimensionales, lo que permite una fácil interpretación y análisis. Los mapas de Kohonen funcionan ajustando iterativamente los pesos de las neuronas en la red para que coincidan con los datos de entrada mediante el mecanismo de Gibbs, el cual funciona calculando la probabilidad de que cada neurona en el mapa sea la ganadora para un patrón de entrada dado. La probabilidad se calcula en función de la distancia entre el patrón de entrada y el vector de peso de cada neurona, utilizando una función de vecindad gaussiana que disminuye a medida que aumenta la distancia al ganador. La neurona con la mayor probabilidad de ganar se selecciona como ganadora

ra y su vector de peso se actualiza junto con los vectores de peso de sus vecinos, que están determinados por el tamaño del vecindario y la tasa de aprendizaje, lo que da como resultado la formación de grupos que reflejan la estructura subyacente de los datos.

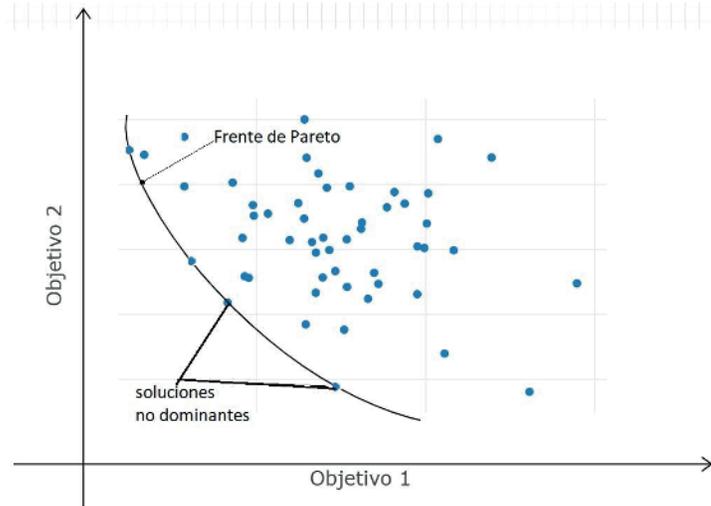
Esta etapa descubre el patrón subyacente que describe los datos de entrada. Además, aporta información importante de los puntos intermedios y los huecos en los datos, en este sentido, renderiza la información suministrada. Para realizar esta tarea se utiliza una red neuronal artificial basada en los trabajos de T. Kohonen, los mapas autoorganizados (SOM por sus siglas en inglés) e inspirados en la corteza óptica de los animales (Heskes, 1999; Kohonen, 1990; Vesanto & Alhoniemi, 2000). Los mapas autoorganizados tienen la propiedad fundamental de que es una red no supervisada, lo que garantiza el descubrimiento de los patrones de entrada sin la intervención de un ser humano disminuyendo el sesgo.

2. Núcleo Optimizador de Búsqueda: Este es el corazón del optimizador, y se encarga de la búsqueda multiobjetivo no lineal en las escalas, mediciones y en general en la información suministrada (Herrera et al., 1994; Ishida, 2004; Tanaka et al., 1995). Al ser una búsqueda multiobjetivo, se busca una aproximación de los valores óptimos de las variables decisoras. Cabe destacar que un sistema de optimización multiobjetivo (MOO) tiene como propósito encontrar el conjunto de soluciones que optimiza múltiples variables simultáneamente, la cuales están sujetas a un conjunto de restricciones.

Supongamos que tenemos un vector de decisión $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, donde cada D_i representa una variable de decisión que puede tomar un valor en algún dominio D_i . También tenemos $f_1(x)$, funciones objetivas $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$, cada una de las cuales asigna el vector de decisión \underline{p} a un valor escalar, y un conjunto de \underline{p} restricciones $g_1(x), g_2(x), \dots, g_p(x)$, que debe ser satisfecha por cualquier solución factible.

El problema es encontrar el conjunto de soluciones no dominadas, que son aquellas que no se pueden mejorar en ningún objetivo sin empeorar al menos otro objetivo. Formalmente, se dice que una solución domina a otra solución si es mejor o igual que en todos los objetivos y estrictamente mejor que en al menos un objetivo. Una solución es no dominada si no existe otra solución factible que la domine. Al conjunto de todas las soluciones no dominadas dentro del espacio de solución se le llama Frente de Pareto (Figura 1).

Figura 1
Soluciones No dominadas en el frente de Pareto.



Nota. Elaboración propia.

Matemáticamente, podemos formular el problema MOO de la siguiente manera:

Para $i = 1, 2, \dots, m$:

- Minimizar $f_i(x)$

- Sujeto a:

$$g_1(x) \leq 0, g_2(x) \leq 0, \dots, g_p(x) \leq 0$$

$$x_i \in D_i, \text{ para } i = 1, 2, \dots, n$$

Donde las funciones objetivas y las restricciones están sujetas a ciertos supuestos, como continuidad, diferenciabilidad y convexidad.

Existen muchos algoritmos y técnicas para resolver problemas MOO, incluidos algoritmos evolutivos, inteligencia de enjambre, programación genética. Estos métodos suelen generar un conjunto de soluciones óptimas de Pareto, las cuales intuitivamente son aquellas que no se pueden mejorar en un objetivo sin sacrificar el rendimiento en al menos uno de los otros objetivos. Como se mencionó con anterioridad a este conjunto se le denota como frente de Pareto (PF), en general representa las compensaciones entre los objetivos en conflicto.

La definición formal del Frente de Pareto como soluciones no dominadas es fundamental en la Optimización Multiobjetivo (MOO), especialmente al abordar la complejidad inherente a la estructura de conjuntos de soluciones en espacios multidimensionales. Esta complejidad se debe principalmente a la dificultad que tienen los seres humanos para visualizar y comprender espacios de alta dimensionalidad, un desafío que se intensifica en contextos como la evaluación del “ADN Productivo” de regiones, donde múltiples factores socioeconómicos y

culturales interactúan de maneras no lineales y a menudo impredecibles.

El Frente de Pareto, al ofrecer un conjunto de soluciones no dominadas, proporciona una representación concreta y matemáticamente rigurosa de los compromisos y compensaciones entre distintos objetivos en un modelo MOO. Sin estas definiciones formales y el marco que proporcionan, sería extraordinariamente difícil, si no imposible, identificar los puntos óptimos en un espacio de soluciones tan complejo y multidimensional. Estos puntos óptimos son esenciales para entender el “ADN Productivo”, ya que encapsulan las combinaciones más eficientes y equilibradas de las variables en estudio.

Además, la naturaleza formal y matemática del Frente de Pareto facilita el uso de herramientas analíticas y computacionales avanzadas para su identificación y análisis. Esto es crucial, ya que la intuición humana y los métodos de análisis tradicionales son a menudo insuficientes para navegar y dar sentido a estos espacios multidimensionales. La definición formal del Frente de Pareto actúa como un puente entre la compleja realidad multidimensional y las capacidades cognitivas y analíticas humanas, permitiendo no solo visualizar, sino también cuantificar y

optimizar el “ADN Productivo” en función de múltiples criterios y restricciones. Por lo tanto, estas definiciones formales no sólo son útiles, sino indispensables en la búsqueda de soluciones óptimas en entornos multidimensionales.

3. Visualizador de Soluciones: En la etapa previa se han calculado los valores óptimos de las variables de decisión. La etapa de visualización juega un papel crucial en la interpretación y comprensión de los resultados obtenidos. Aquí, los mapas de Kohonen, o Self-Organizing Maps (SOM) (Deboeck & Kohonen, 2013; Vesanto & Alhoniemi, 2000), emergen como una herramienta avanzada y efectiva. Estos mapas son redes neuronales que realizan una proyección topológica, transformando datos complejos y multidimensionales en una representación bidimensional más accesible y visualmente intuitiva. Este proceso implica que cada punto en el mapa bidimensional representa un vector de características en el espacio multidimensional original, con la proximidad en el mapa reflejando similitudes en el espacio de características. Al emplear esta técnica en el análisis del “ADN Productivo”, se facilita la identificación de patrones y agrupaciones en los conjuntos de soluciones del frente de Pareto, lo cual es crítico para entender las diversas configuraciones de variables que conforman este “ADN”.

Los mapas de Kohonen tienen una ventaja distintiva sobre otros métodos como el Análisis de Componentes Principales (PCA) o el Escalado Multidimensional (MDS). Mientras que PCA y MDS se enfocan en la preservación de la varianza y las distancias respectivamente, los SOM mantienen la topología de los datos originales. Esto es particularmente valioso cuando se trata de visualizar el frente de Pareto en MOO, dado que las relaciones no lineales y la estructura intrínseca de los datos se conservan mejor. Esta preservación de la topología asegura que las relaciones complejas entre diferentes variables decisivas y objetivos se mantengan intactas en la visualización, proporcionando una comprensión más profunda y matizada de las soluciones óptimas y sus interrelaciones.

La incorporación de mapas de Kohonen en la etapa de visualización del “ADN Productivo” estimado mediante MOO aporta significativamente a la capacidad de los decisores para discernir y comprender las complejidades de los datos. Al transformar el espacio de soluciones multidimensionales en una representación bidimensional comprensible, los SOM no solo facilitan la identificación de patrones y agrupaciones clave dentro del conjunto de soluciones del frente de Pareto, sino que también permiten una interpretación más intuitiva de estas complejas interacciones. Esta metodología avanzada de visualización, por lo tanto, juega un papel esencial en la traducción de

análisis de datos complejos en insights prácticos y aplicables para la toma de decisiones en el ámbito de la política pública y el desarrollo regional.

El concepto del “ADN Productivo” como una amalgama de características socioeconómicas, culturales y ambientales de una región, ha evolucionado significativamente con la introducción de la Optimización Multiobjetivo (MOO) y su aplicación práctica en el Optimizador de Ecosistemas Productivos (Opt-EP). Esta evolución marca un avance notable en cómo abordamos la comprensión y el fomento del desarrollo regional. A través del MOO, hemos ganado la capacidad de analizar y optimizar simultáneamente múltiples objetivos, al identificar soluciones que equilibran de manera efectiva diversas metas y restricciones. El Opt-EP, como una herramienta concreta derivada de esta metodología, representaría un salto cualitativo en la planificación y la política pública, lo cual permitiría a los decisores acceder a un análisis más profundo y detallado del potencial productivo de las regiones. Con su capacidad para manejar y visualizar complejas interacciones de datos en espacios multidimensionales, el Opt-EP no solo mejora nuestra comprensión del “ADN Productivo”, sino que también nos guía hacia intervenciones más informadas y estratégicamente sólidas, abriendo nuevas avenidas para el desarrollo regional sostenible y adaptado a las particularidades de cada comunidad.

Resultados

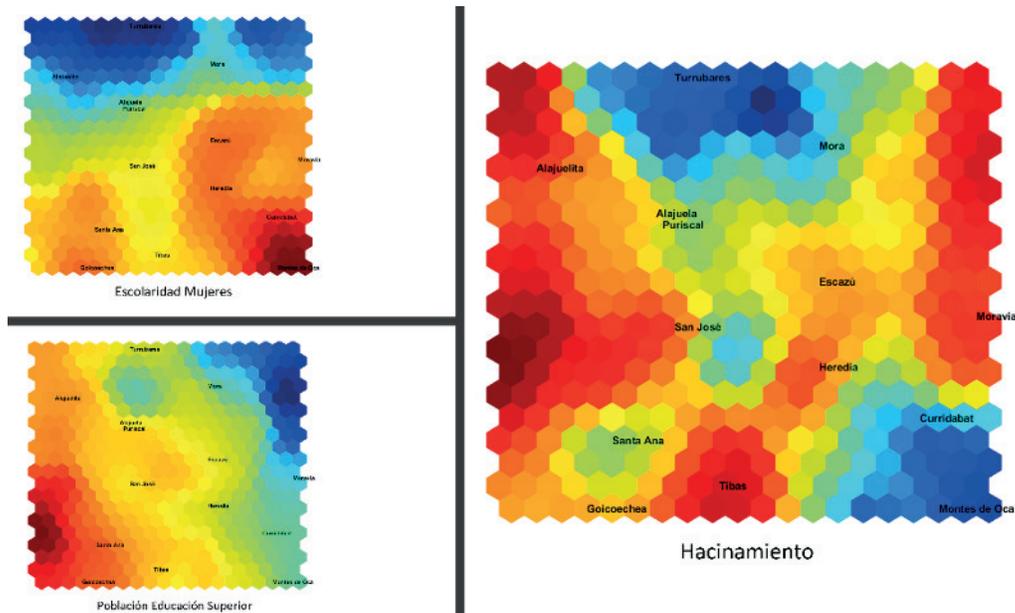
El Optimizador como herramienta de política pública

Un mapa autoorganizativo (SOM) es una herramienta de visualización y análisis de datos que traduce información compleja y multidimensional en un formato bidimensional comprensible. Al emplear un SOM, los investigadores y analistas pueden discernir patrones y tendencias ocultas dentro de grandes conjuntos de datos, para facilitar el descubrimiento de relaciones intrincadas que de otra manera serían difíciles de identificar.

Cada neurona o nodo en el SOM representa un vector de pesos, que es una combinación única de las características de los datos de entrada. Estos nodos están dispuestos en una cuadrícula, generalmente hexagonal o rectangular, y se colorean según la magnitud de las variables que representan. Los colores y gradientes en el mapa ilustran la proximidad de los datos en el espacio multidimensional, con colores similares que indican similitudes entre los datos y colores contrastantes que señalan diferencias significativas. La proximidad de los nodos es una indicación de la similitud entre los datos que representan. Nodos adyacentes sugieren datos con características parecidas, lo que puede implicar la existencia de un clúster o grupo

Figura 3

Ejemplo de componentes de la construcción del mapa auto-organizativo de la Figura 2, para las variables de Hacinamiento, Escolaridad Mujeres y Población con Educación Superior.



Nota. Elaboración propia.

mayoría de personas con instrucción técnica para realizar las instalaciones de los servicios, atención de averías por teléfono o en sitio, observando las componentes de los mapas Figura 4, formado por las variables Población con Educación superior, Población con título universitario, NINIs, población con internet y Migrantes con conocimiento, nos dice que Montes de Oca es probable que tenga una población con mayoría de personas profesionales, pero en contraste el otro clúster que se ve en la imagen el que se encuentra en la parte superior formado por Cartago, Desamparados y La Unión tiene una mayor cantidad de personas con instrucción técnica, además tiene un menor desempeño en los demás indicadores, por lo que el sistema de alguna forma sugiere que es mejor colocar la empresa en el cantón de la Unión, y que el 20% de los profesionales que se requieran viajen desde las zonas del clúster inferior, esto supone una mejoría en la calidad de vida.

Por otro lado, para ver el contraste, se supone una empresa de producción de software, que requiere de un buen acceso a la infraestructura de telecomunicaciones y su planilla esta formada en su mayoría de personas profesionales en diferentes ramos. Como observa en la Figura 5, que son los mismos mapas de componentes de la Figura 4, pero ahora tomados sobre la luz de los nuevos requerimientos, nos sugeriría que lo mejor para la industria de software sería establecerse en alguno de los cantones del

clúster inferior, o sea, Curridabat o Montes de Oca lo que facilita la utilización del ADN productivo para genera riqueza y a su vez llevaría el desarrollo a todos los rincones del país.

Componentes de mapa organizativo construido sobre los cantones Curridabat, San José, Montes de Oca, La Unión, Goicoechea, Cartago y Desamparados en las variables de tasas de Población con educación superior, Población con título universitario, porcentaje de Ninis, población con internet y migrantes con conocimiento, para el caso de una empresa de desarrollo de Software.

Discusión

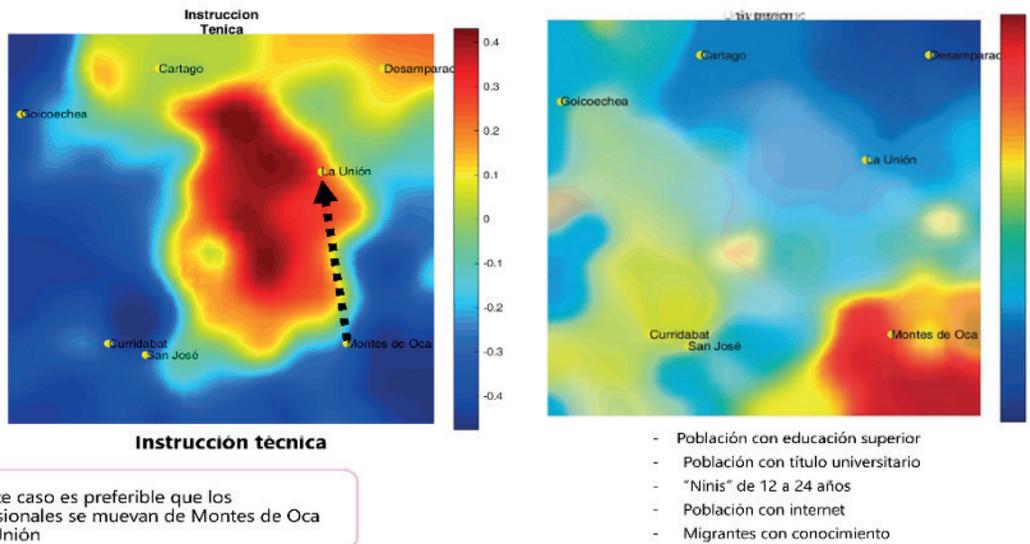
La comprensión de los ecosistemas productivos ha evolucionado significativamente en los últimos años, con un creciente reconocimiento de su complejidad y de la importancia de los factores locales en su dinámica. Estos ecosistemas análogos a los biológicos se caracterizan por la interacción entre diversos actores económicos, como empresas, instituciones y la fuerza laboral. Sin embargo, a diferencia de la administración empresarial privada, la gestión de políticas públicas en estos ecosistemas debe centrarse en el bienestar colectivo, donde se tome en cuenta las necesidades y particularidades de cada región. La abstracción excesiva, común en la investigación de ecosistemas productivos, puede ser problemática en

Figura 4

Componentes de mapa organizativo construido sobre los cantones Curridabat, San José, Montes de Oca, La Unión, Goicoechea, Cartago y Desamparados en las variables de tasas de Población con educación superior; Población con título universitario, porcentaje de Ninis, población con internet y migrantes con conocimiento, para el caso de Telco.

Empresa de telecomunicaciones requiere de:

- Buen acceso a internet
- Un 20% personal profesional y
- Un 80% personal técnicos



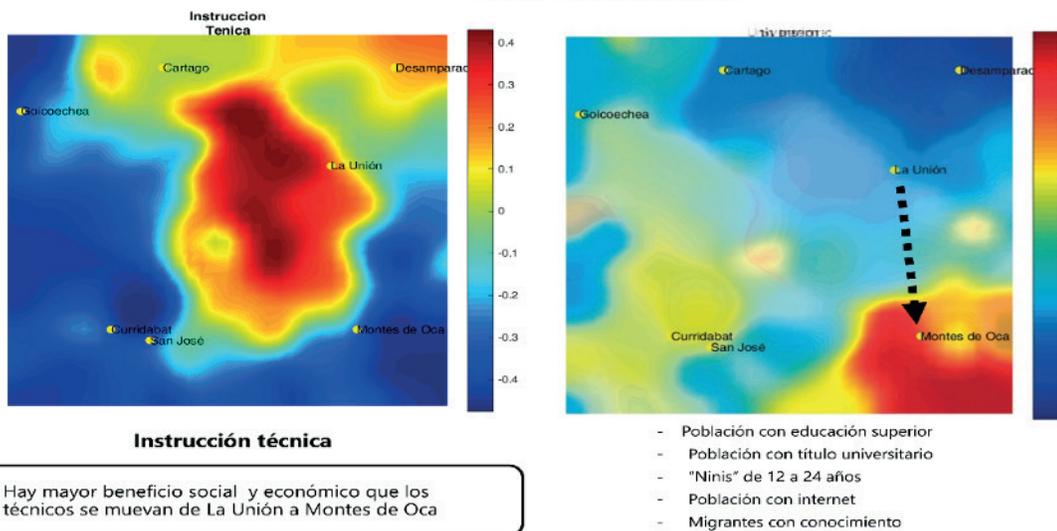
Nota. Elaboración propia.

Figura 5

Componentes de mapa organizativo construido sobre los cantones Curridabat, San José, Montes de Oca, La Unión, Goicoechea, Cartago y Desamparados en las variables de tasas de Población con educación superior; Población con título universitario, porcentaje de Ninis, población con internet y migrantes con conocimiento, para el caso de una empresa de desarrollo de Software.

Empresa de software requiere de:

- Buen acceso a internet
- Un 80% de su planilla es profesional y
- Un 20% personal técnico



Nota. Elaboración propia.

el contexto público, ya que ignora las especificidades culturales y sociales que son cruciales para el diseño de políticas efectivas.

El concepto del ADN productivo ofrece una perspectiva integral para abordar esta necesidad de contextualización. Este enfoque subraya la importancia de identificar y nutrir las características y capacidades únicas de cada región, al reconocer que el desarrollo económico exitoso depende tanto de las cualidades intrínsecas de la región como de la implementación de políticas adecuadas. La especialización en función de estos atributos únicos permite un crecimiento más auténtico y sostenible. La metodología de Optimización Multiobjetivo (MOO) se alinea bien con este enfoque, ya que proporciona un marco para equilibrar y optimizar múltiples objetivos en la gestión de políticas públicas. La MOO permite a los responsables de políticas identificar soluciones que maximicen los beneficios generales mientras minimizan los compromisos negativos, equilibrando así el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental y la equidad social.

No obstante, la diversidad cultural y regional debe ser un elemento central en cualquier enfoque de políticas públicas. La uniformidad de políticas puede resultar contraproducente, ya que las diferencias culturales y regionales pueden ser fuentes de resiliencia y adaptabilidad, especialmente en tiempos de crisis. Las políticas deben ser diseñadas para fomentar y aprovechar esta diversidad, para permitir a las empresas y a las economías regionales ser más resilientes y exitosas.

En este contexto, la gestión de la competitividad y la prevención de monopolios en los ecosistemas productivos son de suma importancia. Mantener la diversidad y la competencia saludable es esencial para evitar la formación de oligopolios o monopolios y para garantizar un mercado dinámico y un crecimiento económico inclusivo.

Finalmente, la riqueza en los ecosistemas productivos, análoga a la energía en los sistemas biológicos, debe gestionarse de manera sostenible para garantizar la viabilidad a largo plazo del ecosistema. La gestión eficaz de esta “riqueza” requiere políticas que se centren en la distribución equitativa de los recursos y que aseguren que todos los miembros de la comunidad se beneficien del desarrollo económico.

En resumen, los ecosistemas productivos son entidades dinámicas en constante evolución. La competencia dentro de estos ecosistemas desempeña un papel crucial para preservar su diversidad, asegura que las preferencias de los consumidores determinen qué empresas prosperan y cuáles no. La integración de estas perspectivas proporcio-

na una base sólida para el desarrollo de políticas públicas más efectivas y adaptadas a las necesidades y características únicas de cada región.

Referencias

- Altamirano, S. E. C., Zepeda, F. J. R., & Ceja, E. S. (2016). Cadenas productivas y cadenas de valor. *EDUCATECONCIENCIA*, 10(11).
- Carayannis, E.G., Barth, T.D. & Campbell, D.F. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *J Innov Entrep* 1, 2 (2012). <https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2>
- Challet, D., Pluchino, A., Biondo, A. E., & Rapisarda, A. (2020). The origins of extreme wealth inequality in the talent versus luck model. *Advances in Complex Systems*, 23(02), 2050004.
- Cobben, D., Ooms, W., Roijackers, N., & Radziwon, A. (2022). Ecosystem types: A systematic review on boundaries and goals. *Journal of Business Research*, 142, 138-164. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296321009607>
- Deboeck, G., y Kohonen, T. (2013) Visual explorations in finance: with self-organizing maps. Springer Science & Business Media.
- Durán Lima, J. E., & Banacloche, S. (2021). Análisis económicos a partir de matrices de insumo-producto: definiciones, indicadores y aplicaciones para América Latina.
- Gallego, J. A. (2017). La pólis griega: orígenes, estructuras, enfoques.
- Gañán de Molina, C. (2022). La conformación de territorios inteligentes a partir de enfoques de especialización basados en la cooperación y las redes.
- Herrera, F., Lozano, M., y Verdegay, J. (1995) “Algoritmos genéticos: Fundamentos, extensiones y aplicaciones”, *Arbor*, pp. 9.
- Heskes, T. (1999) “Energy functions for self-organizing maps”, *Kohonen maps*, pp. 303—316.
- Horta, R. y Serrano, M. (2008) Construyendo un Índice de Competitividad para la Economía Uruguaya. Recuperado de: https://ucu.edu.uy/sites/default/files/facultad/fce/i_competitividad/construyendo-un-indice-de-competitividad.pdf

- Iansiti, M., & Levien, R. (2004). Keystones and dominators: Framing operating and technology strategy in a business ecosystem. Harvard Business School, Boston, 3, 1-82. https://www.profligategrace.com/documents/Grant/Iansiti_Keystones_and_Dominators.pdf
- Iglesias, D. H. (2002). Cadenas de valor como estrategia: las cadenas de valor en el sector agroalimentario. *La Pampa, Argentina: Estación Experimental Agropecuaria Anguil, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- Ishida, Y (2004) Immunity-based systems: a design perspective. Springer Science & Business Media.
- Kapoor, K., Bigdeli, A. Z., Dwivedi, Y. K., Schroeder, A., Beltaoui, A., & Baines, T. (2021). A socio-technical view of platform ecosystems: Systematic review and research agenda. *Journal of Business Research*, 128, 94-108.
- Kohonen, T. (1982) "Self-organized formation of topologically correct feature maps", *Biological cybernetics*, pp. 59—69.
- Kohonen, T. (1990) "The self-organizing map", *Proceedings of the IEEE*, pp. 1464—1480.
- Kosacoff, B. (2019). Los ecosistemas productivos. *Visión Desarrollista*. Consultado en línea en: <https://www.visiondesarrollista.org/los-ecosistemas-productivos/>
- Nutz, N., & Sievers, M. (2016). Guía general para el desarrollo de cadenas de valor: cómo crear empleo y mejores condiciones de trabajo en sectores objetivos. *Ginebra, Suiza: Organización Internacional del Trabajo*.
- OECD iLibrary. (2021) Productivity. Recuperado de: <https://doi-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/10.1787/0bb009ec-en>
- Padilla, R., & Oddone, N. (2016). Manual para el fortalecimiento de cadenas de valor.
- Páez, D., Fernández, I., Basabe, N., & Grad, H. (2002). Valores culturales y motivación: creencias de autoconcepto de Singelis, actitudes de competición de Triandis, control emocional e individualismo-colectivismo vertical-horizontal. *Revista española de motivación y emoción*, 3, 169-195.
- Parra, S. (2018) El conocimiento es el nuevo dinero: tienes que seguir aprendiendo cada día. Foro Económico Mundial. Consultado en línea en: https://es.weforum.org/agenda/2018/01/el-conocimiento-es-el-nuevo-dinero-tienes-que-seguir-aprendiendo-cada-dia?utm_content=buffer6255&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer
- Plutino, A., Biondo, A., & Rapisarda, A. (2018). Talent vs Luck: the role of randomness in success and failure.
- PNUD (2009) Indicadores de Gobernabilidad Democrática (IGD) en el Paraguay. Recuperado de: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/py/Indicadores-de-Gobernabilidad-Democratica.pdf>
- Powell, W. & Snellman, K. (2004). The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology*, 30, 199–220. <http://www.jstor.org/stable/29737691>
- Prieto Gómez, L., González de la Rosa, M., Bulchand Gidumal, J., & García Rodríguez, F. J. (2015). Resumen divulgativo sobre la estrategia de especialización inteligente de Canarias (RIS3). Red Canarias Emplea.
- Riechmann, J. (2007). ¿Cómo cambiar hacia sociedades sostenibles? Reflexiones sobre biomimesis y autolimitación. *Cultura verde: ecología, cultura y comunicación*. Recuperado de: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/97552/cultura_verde-1.pdf?sequence=1
- Say, J. B. (1821). *Tratado de economía política*. F. villalpando.
- Schowalter, T. D. (2022). *Insect ecology: an ecosystem approach*. Academic press.
- Stewart, J. "The Distribution of Talent", Marilyn Zurmuehlin Working Papers in Art Education 2 (1983): 21-22
- Strenze, T. (2013). Allocation of talent in society and its effect on economic development. *Intelligence*, 41(3), 193-202.
- Tanaka, M., Watanabe, H., Furukawa, Y., y Tanino, T. (1995) "GA-based decision support system for multicriteria optimization", *Systems, Man and Cybernetics*, 1995. Intelligent Systems for the 21st Century., IEEE International Conference on, pp. 1556—1561.

Tsujimoto, M., Kajikawa, Y., Tomita, J., & Matsumoto, Y. (2018). A review of the ecosystem concept—Towards coherent ecosystem design. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 49-58.

Vesanto, J., y Alhoniemi, E. (2000) “Clustering of the self-organizing map”, *Neural Networks*, IEEE Transactions on, pp. 586—600.