

Factores críticos para la eficiencia colectiva en *clusters* de *software* y servicios informáticos mediante QCA

Nadia Giannasi¹

ngiannasi@iieess-conicet.gob.ar

Germán González¹

ghgonza@uns.edu.ar

José Diez¹

jdiez@uns.edu.ar

Resumen

En el sector de producción de *software* y servicios informáticos (SSI) resulta fundamental la dinámica de interacción entre actores, dado que muchas de las ventajas de la co-localización se sustentan en conocimientos tácitos. Esto ha dado lugar a que se estudie el sector desde la perspectiva de *clusters* y mediante estudios de caso, pero no existen trabajos centrados en comparar los desempeños individuales de experiencias diversas y sus factores determinantes. Este estudio tiene como objetivo identificar las configuraciones óptimas de condiciones que permiten a un *cluster* lograr, en su etapa de surgimiento, la eficiencia colectiva, entendida como el desarrollo de procesos de aprendizaje colectivo o generación de capacidades de innovación por parte de las empresas. A partir de la aplicación de Análisis Cualitativo Comparativo (QCA) en su variante csQCA se encuentra que resulta tanto necesaria como suficiente la existencia de centros académicos de transferencia de conocimientos al sector productivo.

1. Introducción

Si bien es indudable la relevancia de las tecnologías de la información y la comunicación y particularmente del *software* y los servicios informáticos (SSI) en el mundo actual, dicha preponderancia se consolidó a comienzos del siglo XXI, a partir de la conformación del modo de desarrollo informacional (Castells, 2004). Este paradigma tecnológico y productivo otorga al conocimiento un lugar central en el proceso productivo. En este contexto, el *software* y los servicios informáticos constituyen una de las actividades más dinámicas a nivel internacional (Girolimo, 2020).

La producción en el marco del nuevo paradigma tecnoeconómico requiere la incorporación continua de mejoras, generando demanda creciente de soluciones informáticas. Esto, combinado con los procesos de *outsourcing* y *offshoring*² llevados a cabo por empresas multinacionales permitió a numerosos países y regiones incorporarse en las cadenas globales de valor en la producción de SSI (Girolimo & Diez, 2023).

¹ Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur, Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca, Argentina.

² El *offshoring* consiste en la deslocalización de actividades de una empresa fuera del país de origen. Mientras que por *outsourcing* se entiende la terciarización de una actividad fuera de la empresa (a través de un subcontratista) dentro o fuera del país. En el sector del software ambos procesos se combinan (Gutman et al., 2018).

El sector de producción de software y servicios informáticos es intensivo en conocimiento, teniendo un rol determinante el de tipo tácito, que se encuentra embebido en las personas y se disemina a partir de contactos entre empresas u organizaciones diversas. Esos contactos suelen estar favorecidos por la proximidad, por lo que la literatura sobre aglomeraciones resulta adecuada para estudiar este sector, particularmente porque su dinámica da lugar al surgimiento de aglomeraciones de empresas e instituciones (en adelante *clusters*) delimitadas geográficamente.

Un *cluster* se define originalmente por Porter (1998) como “un grupo geográficamente denso de empresas e instituciones conexas, pertenecientes a un campo concreto, unidas por rasgos comunes y complementarias entre sí.” Esta definición establece que la proximidad geográfica de las firmas en combinación con instituciones relacionadas que brindan apoyo a la producción y la trama de vínculos que se establecen entre actores son los componentes fundamentales. Si existen en conjunto, se generan externalidades positivas que dan lugar a eficiencia colectiva. La literatura sobre aglomerados productivos y sobre desarrollo económico local enfatiza los beneficios de la aglomeración geográfica de la actividad económica tanto para el sector empresario como para el territorio (Moncaut, 2019). Particularmente en SSI muchas de las ventajas de la co-localización se sustentan en conocimientos tácitos, lo cual vuelve fundamental la dinámica de interacción entre actores.

En este contexto, las interacciones y la innovación resultan cuestiones fundamentales para el desarrollo de *clusters* que tengan efectos positivos sobre la región en la que se asientan, dando lugar a procesos de crecimiento económico y competitividad. El concepto de *cluster* enfatiza la importancia de los vínculos entre actores para lograr eficiencia colectiva, particularmente importante en las primeras etapas de surgimiento.

Si bien dada la importancia del tema existen numerosos estudios con perspectiva territorial acerca del sector de SSI, en su mayoría se trata de estudios de caso aislados o que comparan experiencias similares en cuanto a producción, desempeño o época de surgimiento, pero no existen trabajos que se centren en comparar los desempeños individuales de experiencias diversas y sus factores determinantes.

Este estudio tiene como objetivo identificar los caminos o configuraciones óptimas de condiciones que permiten a un *cluster* lograr la eficiencia colectiva, es decir, se trata de identificar factores críticos que propicien el establecimiento de vínculos entre actores de *clusters* de alta tecnología que dan lugar a eficiencia colectiva en su etapa de surgimiento. A partir de la aplicación de Análisis Cualitativo Comparativo (QCA por su sigla en inglés) (Ragin, 1989) se establecen las condiciones o combinaciones de condiciones suficientes para lograr eficiencia colectiva en *clusters* de SSI.

QCA es una metodología particularmente adecuada para identificar múltiples configuraciones o combinaciones de condiciones causales que son suficientes para un resultado dado. Basado principalmente en la aplicación de *crisp-set* QCA (csQCA), en este trabajo se analizó el impacto de ciertas precondiciones del área geográfica que de acuerdo con la literatura podrían ser determinantes para el buen desempeño de *clusters*. Se encuentra que la condición que hace referencia a la transferencia de conocimientos y capacidades de las universidades e institutos de ciencia y tecnología al medio productivo es necesaria y suficiente para el resultado. Resulta una condición causal tan importante que el resultado no se produce en su ausencia, y además es suficiente para desencadenarlo por sí sola, por lo que se encuentra presente en todas las configuraciones que componen la solución.

En la sección siguiente se presenta una breve revisión de aportes de la literatura económica sobre innovación y desarrollo territorial. Posteriormente, se describen la fuente de datos, variables y metodología empleadas. Tras discutir los resultados, la última sección ofrece las consideraciones finales.

2. Marco teórico

El sector de producción de software y servicios informáticos (SSI), que en muchos de los casos estudiados surgió de la mano de la industria electrónica y del hardware, presenta características distintivas, entre las que se cuenta que es intensivo en conocimiento y genera cambios tecnológicos que se producen y difunden rápidamente, por lo que promueve estrategias de acumulación diferentes a las de otros sectores productivos, dando lugar a reconfiguraciones productivas de algunas regiones en las que se asientan tanto empresas transnacionales como *startups* y PyMEs con algo de antigüedad (Gorenstein y Gutman, 2016). Esta concentración geográfica se da en torno a factores fundamentales para el desarrollo de la industria, como lo es principalmente el recurso humano formado en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática (STEM por su sigla en inglés).

Las teorías que estudian las aglomeraciones productivas reconocen el carácter tácito del conocimiento, enfatizando la posibilidad de transmisión a través de relaciones interpersonales o interfirma, que pueden ser de tipo informal, que no están mediadas por conocimiento codificado sino por cuestiones sociales o culturales que permiten las interacciones entre actores dentro del territorio (proximidad social). Esto constituye una de las claves de la relación entre la dimensión espacial y tecnológica (Gorenstein y Gutman, 2016). Este enfoque es particularmente útil para el caso de SSI, porque muchas de las ventajas de la co-localización se sustentan en conocimientos tácitos, lo cual vuelve fundamental la dinámica de interacción entre actores y la proximidad.

En el caso del software y los servicios informáticos, los conceptos que mejor permiten acercarse a la descripción del fenómeno de concentración geográfica son los de *cluster* de alta tecnología y *cluster* de innovación (COI por su sigla en inglés). El primero de ellos se define como la aglomeración de empresas basadas en tecnologías propias de los nuevos paradigmas tecno-productivos en un espacio geográfico determinado (Gutman et al., 2018). Por su parte, el concepto de COI, de acuerdo con Engel (2015) hace referencia a “‘puntos calientes’ económicos a nivel global donde nuevas tecnologías germinan a un ritmo asombroso y donde los recursos de capital, experiencia y talento fomentan el desarrollo de nuevas industrias y nuevas formas de hacer negocios” (p. 37).

Estos conceptos amplían la definición de Porter (1998) yendo más allá de la especialización industrial para incorporar el grado de desarrollo e innovación de los miembros del *cluster*. La innovación es una necesidad constante en SSI y está determinada en gran parte por el desarrollo de procesos de aprendizaje colectivo. De esta forma, un *cluster* innovativo se define como la red de relaciones sociales, formales e informales, entre actores (academia, gobierno, empresarios, inversores) en un área geográfica determinada que fomenta la capacidad innovativa local como fuente de externalidades positivas, mediante procesos de aprendizaje colectivo (Giuliani, 2005; Engel et al., 2018).

Así descrita, la innovación es un proceso colectivo en el que el gobierno tiene un rol de catalizador de las iniciativas locales. Puede ser muy activo en el proceso o simplemente acompañar, pero es quien debe proveer la estructura sobre la que se desarrolla el *cluster* (infraestructura, inversiones en tecnología, definición de objetivos estratégicos, etc.). Es decir que no debe solamente impulsar el desarrollo de factores “duros” (universidades, centros de investigación, infraestructura financiera), sino que debe también promover factores “blandos” tales como vínculos, comportamientos, movilidad de recursos, alineamiento de intereses y objetivos comunes (Engel et al., 2018). La existencia de los primeros no asegura que las relaciones se desarrollen de forma espontánea (aunque en algunos casos sucede). Como los resultados de este trabajo demuestran, la iniciativa estatal en la formación del conglomerado puede no resultar relevante para el éxito. La intervención estatal por sí sola no determina que el *cluster* alcance eficiencia colectiva. El rol del gobierno es importante, pero de manera indirecta, impulsando las condiciones subyacentes del área geográfica, estableciendo lineamientos generales que guíen el desarrollo del *cluster* de

acuerdo a las fortalezas locales, mejorando los vínculos entre actores, como fuente de coordinación, proveyendo recursos críticos, impulsando instituciones, etc.

La cooperación o el establecimiento de lazos diversos entre empresarios no resulta suficiente para que se desarrollen en el *cluster* las ventajas derivadas de las externalidades, sino que es importante tener en cuenta también la competitividad y el marco institucional, comprendidos en el concepto de eficiencia colectiva (Corrales, 2007). Este concepto captura las ganancias de eficiencia que obtienen las empresas del *cluster* y que no podrían alcanzar individualmente; se refiere a la ventaja competitiva derivada de economías externas y acción conjunta y se manifiesta en procesos de aprendizaje colectivo o generación de capacidades de innovación por parte de las firmas (Giuliani, 2005).

Los modelos de innovación territorial enfatizan el rol de la proximidad geográfica en los beneficios que obtienen los actores en términos de eficiencia colectiva, derivados de las interacciones que permiten apropiarse del conocimiento tácito que circula por las redes de intercambio internas a las aglomeraciones. Pero la proximidad necesaria para el establecimiento de redes de conocimientos no es sólo geográfica, sino también social y cognitiva (Huber, 2012). En general, la proximidad espacial implica también compartir un cierto contexto cultural y social que es común, en el que los actores son próximos, por lo que generalmente se acepta que la proximidad espacial implica las demás tipologías.

Se reconocen en la literatura como fuentes principales de externalidades positivas la circulación de conocimientos que propicia la proximidad geográfica. Lo que hace a los espacios geográficos altamente conductivos a derrames de conocimiento es el hecho de que permiten que el conocimiento tácito se transfiera fácilmente. Este conocimiento está embebido en las personas y es difícil de expresar mediante lenguaje codificado, por lo que necesita interacciones interpersonales para ser transmitido (Giuliani, 2005; Ter Wal & Boschma, 2011). La rotación de talentos entre firmas o la creación de nuevas empresas contribuye a conservar las ventajas competitivas del territorio, que dependen también de las instituciones, los actores locales y las interacciones entre ellos (Báscolo et al., 2012; Engel et al., 2018). Esto se debe no sólo a la proximidad geográfica de las firmas e instituciones, sino también a que comparten una base productiva (pertenecen a la misma industria), tienen intereses en común, comparten un *pool* de trabajadores calificados y una cultura común.

De acuerdo con Porter (1998), la proximidad de las firmas y las instituciones fomenta la coordinación y la confianza y representa una forma organizacional robusta que ofrece ventajas en eficiencia, efectividad y flexibilidad. A su vez, la concentración geográfica incrementa la velocidad de transmisión de información y de difusión de la innovación (Giuliani, 2005), es decir que favorece la diseminación de *know-how* entre los productores locales, particularmente importante para el caso SSI, que es un sector caracterizado por el rápido avance tecnológico, que requiere constante innovación. El *cluster* permite pasar del concepto de economías de escala internas a la empresa al de economías de escala y de alcance externas a la firma, pero internas a un espacio geográfico común (Kantis et al., 2005).

Además de las relaciones internas al *cluster*, algunos de los conglomerados analizados mantienen relaciones productivas externas, con clientes o empresas rivales con las que de alguna manera colaboran (India con la diáspora en Estados Unidos, Dalian con Japón, Israel con empresas de capital de riesgo norteamericanas, etc.). Esos contactos se materializan en información y conocimientos que circulan dentro del *cluster* gracias a la proximidad social de las empresas e instituciones que lo componen. Un beneficio de la proximidad social es que permite flujos de conocimientos con actores cognitivamente diferentes, es decir, entre empresas con capacidades, tamaño, nivel de operaciones y hasta desarrollos diferentes a nivel de producto o servicio (Huber, 2012). De esta forma, esos contactos pueden resultar beneficiosos para todo el *cluster*.

Subyace en la literatura la idea de que el desarrollo económico de una región surge de la radicación espontánea de empresas guiadas por intereses individuales (Moncaut, 2019). Sin embargo, es importante conocer las precondiciones del área geográfica que favorecen la localización de empresas, para determinar si son suficientes para que espontáneamente surja un *cluster* o si existe la posibilidad de establecer qué condiciones pueden dar lugar a procesos que favorezcan el desarrollo económico local mediante la obtención de ventajas competitivas duraderas basadas en la capacidad de innovación y de generar aprendizaje colectivo entre las empresas co-localizadas. No toda aglomeración de empresas tiene como resultado procesos de desarrollo económico local, es necesario que además de la localización de firmas se generen vínculos entre ellas y con las instituciones locales para generar eficiencia colectiva, que es la base del éxito de los *clusters* en su primera etapa y de su sostenibilidad y crecimiento en el tiempo.

Como establecen Ter Wal y Boschma (2011), la naturaleza local del intercambio de conocimiento entre firmas en los *clusters* no se puede asumir de antemano. Esto es, no todas las experiencias de *clusters* tienen como resultado procesos de aprendizaje colectivo o de generación de capacidades de innovación en sus firmas, sino que dicho resultado depende de la existencia de ciertos factores que se combinen de forma tal que permitan su consecución. Diferentes combinaciones de factores (configuraciones) dan lugar a diversas trayectorias y resultados. Es por eso que en este trabajo se examinan diferentes combinaciones de condiciones que permiten que ocurra el resultado de interés (eficiencia colectiva), para poder analizar si dichas combinaciones están presentes en una localización determinada.

3. Análisis empírico

3.1. Muestra y datos

Durante la década de 1990 y la de los 2000, la producción de software y servicios informáticos dejó de estar concentrada exclusivamente en los países desarrollados y emergieron nuevos polos en un esquema de *offshoring* y *outsourcing* global (Arora & Gambardella, 2005;). En una primera oleada de incorporación al mercado mundial surgieron los casos de India, Israel e Irlanda como centros relevantes, cada uno con un modelo diferente. En el caso de India, la estrategia consistió en ser receptor de las demandas globales de software en las etapas de menor valor agregado asociado al bajo costo de la hora programador. En Israel, en cambio, la demanda pública impulsada por necesidades de defensa contribuyó a crear capacidades en las empresas locales y a partir de una política de fomento del capital de riesgo surgieron empresas especializadas en productos de alto valor. En el caso de Irlanda, la estrategia se centró en atraer empresas transnacionales dados los beneficios fiscales y el acceso al mercado europeo que propiciaba su proximidad. Estos países, conocidos en la literatura como las 3I ingresaron a un mercado dominado originalmente por Estados Unidos y Japón. Años después, con la expansión y diversificación de la demanda internacional, se fueron sumando nuevos países, tales como China, España, Brasil y Argentina (Gutman et al., 2018).

Silicon Valley y Route 128 son pioneros y particularmente el primero es un caso paradigmático de *cluster* tecnológico con efecto positivo no sólo sobre la propia industria sino sobre el territorio. Ambos se mantuvieron en el tiempo y fueron evolucionando, dedicándose a la electrónica en un primer momento y evolucionando a SSI con el paso del tiempo y los avances tecnológicos y las necesidades del mercado mundial. Cambridge es un caso similar, que inició con producción de hardware y aproximadamente en la misma época. Son experiencias en las que predomina el desarrollo de productos con elevado valor agregado y en las que el contexto institucional estuvo involucrado en el impulso del sector.

Los países de ingreso tardío antes mencionados se incorporaron en tareas más vinculadas con su ventaja comparativa en materia de recursos humanos calificados, pero en general como prestadores de servicios a grandes empresas transnacionales.

El análisis empírico llevado a cabo en este trabajo se basa en datos recolectados mediante revisión de estudios de caso de diversos *clusters* internacionales dedicados principalmente a la producción de software y servicios informáticos. Se revisaron en principio 106 artículos relativos a los casos de interés. En cada uno se recabó información sobre las condiciones causales establecidas como relevantes (se mencionan en la siguiente sección), así como sobre el resultado de interés (eficiencia colectiva) y se descartaron aquellos trabajos que no aportaron datos concretos al respecto. Finalmente, la base de datos cualitativa se construyó con 49 artículos que abordan un total de 16 casos: *Route 128* y *Silicon Valley* en Estado Unidos, *Bangalore* y *Pune* en India, *Cambridge* (Reino Unido), *Dublin* (Irlanda), *Parque Científico Hsinchu* (Taiwán), *Porto Digital* (Brasil), *Silicon Wadi* (Israel), *Zhingguncun* y *Dalian Software Park* en China, *22@Barcelona* y *Parque Tecnológico de Andalucía* en España y *Córdoba Technology Cluster*, *Polo Tecnológico Rosario* y *Tandil* en Argentina.

3.2. Metodología

Se analizaron las variables (condiciones causales) que, de acuerdo con la literatura sobre aglomeraciones son relevantes para que los *clusters* logren desarrollarse y obtener buen desempeño en sus primeras etapas, desde el momento inicial de surgimiento y durante sus primeros años de funcionamiento (etapa de consolidación). En ese momento resulta fundamental establecer y desarrollar relaciones entre actores que permitan alcanzar los potenciales beneficios derivados de la aglomeración.

Como variable de resultado se toma **eficiencia colectiva (EC)**, dado que, durante la etapa de surgimiento, el *cluster* se considera exitoso si es capaz de utilizar las precondiciones (dotaciones iniciales del área geográfica) para generar un entorno que favorezca los vínculos entre actores, la existencia de redes de comunicación y colaboración que se materializan en la realización de proyectos conjuntos y/o circulación de conocimiento y recursos dentro del territorio.

Se considera que un *cluster* desarrolla eficiencia colectiva cuando se verifican procesos de aprendizaje colectivo entre sus miembros o si entre las empresas se generan capacidades de innovación. Aprendizaje colectivo da cuenta de la capacidad de los actores, principalmente de las empresas, de apoderarse internamente del conocimiento que circula por las redes que se establecen al interior del *cluster*. Puede ser conocimiento generado internamente o desde afuera del conglomerado, que cada empresa debe tener capacidad de absorber. De la misma forma se evalúa si las firmas son capaces de generar el aprendizaje necesario para producir innovaciones a partir del conocimiento que circula en el *cluster*. Puede ser a partir del conocimiento de experiencias de otras empresas con las que colaboran, a través de los derrames de conocimiento propios de los vínculos entre firmas o por la circulación de recursos (principalmente mano de obra calificada).

A los fines prácticos, se ha creado una variable dicotómica que toma valor 1 si la literatura consultada ha verificado aprendizaje colectivo o generación de capacidades de innovación, y 0 en el caso contrario.

Entre las condiciones causales que se identificaron como determinantes, se encuentran las siguientes:

- **Transferencia (Tf):** existencia de universidades e Institutos de investigación que dicten carreras y realicen investigación vinculada a áreas de incumbencia como ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (STEM por su sigla en inglés) y que realicen además actividades de transferencia de conocimiento al entorno. Esto aseguraría la existencia de recurso humano calificado en la región y la difusión de conocimiento y tecnología. Esta variable da cuenta de la relación entre las universidades y el tejido empresarial local. Se captan las relaciones formales, a través de vínculos de colaboración con empresas, generación de *spinoffs*, contratos de prestación de servicios, incubadoras o aceleradoras,

- etc. Toma valor 1 si se verifica la existencia de instituciones que realicen actividades de transferencia y 0 en caso contrario.
- **Productos (Pr):** da cuenta del enfoque de la producción general de las empresas del *cluster*. Toma valor 1 si se dedican mayoritariamente al desarrollo de productos y 0 si predomina la prestación de servicios (lo que se indica con ~Pr) Productos hace referencia a actividades de elevado valor agregado y mayor necesidad de innovación constante. Mientras que servicios, por el contrario, se refiere principalmente a actividades de bajo valor agregado, con menores requerimientos de innovación, que no permiten capturar rentas porque se trata de desarrollos a medida, parciales y de los cuales no se poseen los derechos de propiedad (outsourcing, venta de horas programador, etc.).
 - **Estructura financiera (EF)** desarrollada o existencia de fondos de capital de riesgo, que son fundamentales para la industria, dadas las dificultades que enfrentan las empresas (especialmente *start-ups*) para acceder a financiamiento a través de canales tradicionales. Propicia el surgimiento de firmas, el sostenimiento de las existentes y la posibilidad de ampliación y de innovación. Toma valor 1 en caso de que se verifique en la literatura consultada la existencia de instrumentos financieros acorde y valor 0 en caso de que no existan.
 - **Espontáneo (Es):** hace referencia al actor que impulsó la formación del *cluster*. Toma valor 1 en caso de que se trate de iniciativa de las empresas, es decir, si se considera que son las firmas localizadas en el territorio quienes dan el primer paso para la organización y puesta en marcha del *cluster* (espontáneos). Y adopta valor 0 si es el Estado o las Universidades quien da el primer paso para la formación del conglomerado (planificados).
 - **Vinculación de tipo triple hélice (TH)** entre el sector académico, productivo y el gobierno. Da cuenta de las relaciones formales que se establecen entre los tres actores en cuanto a la definición de objetivos estratégicos para el *cluster*, la aplicación de políticas o simplemente la colaboración mutua. Toma valor 1 en caso de que se verifique la existencia de tales relaciones y 0 en caso contrario.

El modelo propuesto es entonces:

$$EC = f(Tf;Pr;EF;Es;TH).$$

El Análisis Cualitativo Comparativo (QCA) consiste en un enfoque de conjuntos que permite realizar un análisis complejo de causalidad entre un conjunto de condiciones, de forma individual o combinadas, y un resultado específico (Ragin, 1989; 2008; Espeche et al., 2023; Garcia-Alvarez-Coque et al., 2021). Empleando álgebra booleana, esta técnica identifica aquellas configuraciones que son suficientes y/o necesarias para alcanzar un resultado de interés. Los resultados obtenidos a través de análisis QCA revelan patrones de asociación entre conjuntos de casos de observaciones, proveyendo soporte a la existencia de relaciones causales (Schneider & Wagemann, 2010). La aplicación de esta metodología al problema abordado permite identificar recetas o caminos causales de condiciones que llevan a los *clusters* a desarrollar procesos de aprendizaje colectivo o generar capacidades de innovación en las firmas.

El análisis QCA contempla tres variantes dependiendo de la especificación de las condiciones causales: *fuzzy-set* para conjuntos difusos, *crisp-set* para variables dicotómicas y *multi-value* para variables categóricas con más de dos valores. En este trabajo se ha empleado la técnica *crisp-set* (csQCA) dado que todas las variables bajo análisis son binarias. Este método utiliza condiciones categóricas basadas en una dicotomía que asigna plena pertenencia (valor 1) y plena no pertenencia (valor 0) a cada condición (Ragin, 2008).

La técnica resulta adecuada en este caso porque al tratarse de un método configuracional cada caso es considerado una combinación de condiciones causales y de resultado, siendo apropiada para el tratamiento de evidencia cualitativa en muestras de tamaño medio (por la diversidad limitada de los fenómenos sociales, que establece que sólo unas pocas configuraciones causales son realmente observables). Además, identifica diferentes combinaciones de condiciones que

pueden generar el resultado (equifinalidad) y permite situaciones de causalidad compleja (causalidad conjunta múltiple), todas ellas conclusiones apropiadas para la comprensión de fenómenos sociales (Rabadán et al., 2020; Garcia-Alvarez-Coque et al., 2021).

A través de un proceso de minimización lógica, mediante la aplicación del algoritmo de Quine-McCluskey (QMC), se obtienen tres soluciones equivalentes: compleja o conservadora, parsimoniosa e intermedia. El propósito del algoritmo QMC es encontrar la expresión más corta y simple que es equivalente a las configuraciones positivas iniciales (las que producen el resultado). La solución compleja es la menos simplificada y se basa en la utilización únicamente de los casos en los que el resultado está presente. La solución parsimoniosa, por su parte, se obtiene incluyendo en el proceso de minimización todas las combinaciones posibles de condiciones, aunque no se verifiquen empíricamente (bajo el supuesto de que, si se verificaran, llevarían al resultado). La solución intermedia, por último, permite decidir qué configuraciones se incluyen o excluyen de la minimización (Ragin, 1989; Dusa, 2023).

Los resultados que se presentan en la sección siguiente se obtuvieron empleando R y fs\QCA 4.1 (Ragin & Davey, 2022).

4. Resultados

El primer paso del análisis consiste en establecer si existen condiciones causales (o combinaciones) que sean necesarias para la ocurrencia del resultado (Schneider & Wagemann, 2010; Garcia-Alvarez-Coque et al., 2021). Una condición causal es necesaria si su presencia debe existir para que el resultado también esté presente (aunque el resultado se puede dar por otras condiciones). Para identificar condiciones necesarias se evalúa el score de consistencia, que se calcula tanto para las variables como para su negación. En este caso se estableció un umbral de 0.9, por encima del recomendado de 0.75 (Fiss, 2011; Ragin, 2006), pese a que no existe unanimidad en la literatura al respecto. De acuerdo con Rabadan, et al. (2020), una condición es considerada necesaria cuando su consistencia es especialmente alta (>0.95) y su cobertura no es muy baja; por su parte, Espeche et al. (2023) establecen que una condición es necesaria si su score de consistencia está por encima de 0.9 y “casi siempre necesaria” si está entre 0.8 y 0.9; finalmente, Garcia-Alvarez-Coque et al. (2021) coinciden en establecer el umbral de consistencia en 0.9.

Tabla 1: Análisis de necesidad

	Cons.Nec	Cov.Nec
Pr	0.5	0.833
EF	0.6	0.750
Es	0.4	0.667
Tf	1.0	0.833
TH	0.6	0.667
~Pr	0.5	0.500
~EF	0.4	0.500
~Es	0.6	0.600
~Tf	0.0	0.000
~TH	0.4	0.571

NOTA: el símbolo ~ representa negación de la característica.

FUENTE: Elaboración propia

La tabla 1 muestra los resultados de esta etapa. La única condición causal que resulta necesaria individualmente es la condición Tf, ya que presenta un score de inclusión mayor al umbral establecido. De acuerdo con la relevancia de las condiciones causales, medida a través del índice

de cobertura³, Tf muestra un coeficiente de cobertura de 0.833, indicando que además de ser una condición necesaria para el logro de la eficiencia colectiva es relevante para que dicho resultado se produzca. La condición Pr también muestra un índice de cobertura de 0.833 y EF de 0.750, dando cuenta de que son las condiciones más relevantes para el resultado, a pesar de no ser necesarias individualmente.

El paso siguiente consiste en realizar el análisis de suficiencia (Tabla 2), que es el núcleo de QCA, ya que el objetivo principal de esta metodología consiste en encontrar las mínimas configuraciones de condiciones que son suficientes para un resultado dado. Una condición suficiente garantiza que el resultado se produzca.

Tabla 2: Análisis de suficiencia

	Cons.Suf	Cov.Suf
Pr	0.833	0.5
EF	0.750	0.6
Es	0.667	0.4
Tf	0.833	1.0
TH	0.667	0.6
~Pr	0.500	0.5
~EF	0.500	0.4
~Es	0.600	0.6
~Tf	0.000	0.0
~TH	0.571	0.4

NOTA: el símbolo ~ representa negación de la característica.
FUENTE: Elaboración propia

En este caso el índice de consistencia indica qué proporción de los casos que caen en una configuración causal tienen resultado positivo. Las condiciones causales Tf y Pr tienen un *score* de consistencia superior a 0.75, por lo que se consideran condiciones suficientes de manera individual para el resultado de interés. Sólo la condición Tf tiene un *score* de cobertura (Cov.Suf) mayor a 0.8, indicando que no sólo es suficiente, sino también necesaria para el resultado.

A continuación, se determinan las combinaciones óptimas de condiciones causales que sean suficientes para el logro de la eficiencia colectiva. Para ello, se realiza un proceso de minimización lógica (Ragin, 2008) que consiste en encontrar la expresión más simple posible que está asociada con el valor explicado de un resultado. Resultado que se obtiene empleando álgebra booleana a través del algoritmo Quine-McCluskey (QMC).

La tabla 3 expone la solución compleja. Esta solución no requiere supuestos contrafactuales, sino que se basa en la evidencia empírica que efectivamente conduce al resultado de interés.

³ El índice de cobertura proporciona una medida sobre qué tan trivial es una condición necesaria para un resultado determinado y, por consiguiente, se esperan valores cercanos a la unidad cuanto más relevante es la condición.

Tabla 3: Solución compleja

Configuration	Tf	TH	Es	Pr	EF	Coverage		Consistency
						Raw	Unique	
1	●	●	○	○		0.4	0.3	0.8
2	●		○	○	●	0.2	0.1	1
3	●		●	●	●	0.4	0.4	1
4	●	○	○	●	○	0.1	0.1	1

Coverage: 1
Consistency: 0.9

NOTA: Los círculos negros indican presencia de una característica, los círculos blancos su ausencia y la ausencia de círculo significa que la característica no es una condición esencial para la pertenencia a esa configuración particular. Umbral de frecuencia 1, umbral de consistencia 0.75.

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3, la solución compleja tiene una alta consistencia (*Consistency*: 0.9), es decir que, en el 90% de los casos que presentan alguna de esas configuraciones, logran desarrollar eficiencia colectiva. El *score* de cobertura de la solución compleja también es relevante (*Coverage*: 1), significando que el 100% de los clusters que son exitosos siguen una de esas configuraciones. Como la cobertura única acumulada es 1, esto sugiere que explican todo el conjunto de resultados.

Se encontraron cuatro combinaciones posibles de condiciones causales que resultan suficientes para obtener un resultado positivo (esto es, eficiencia colectiva dentro del *cluster*):

La **configuración 1** incluye vinculación de tipo triple hélice al interior del *cluster*, existencia una estructura financiera acorde, orientación a servicios y el cluster surgió como una iniciativa del gobierno o de las universidades de la región. El *score* de consistencia implica que el 80% de los *clusters* de la muestra que comparten esta configuración logra eficiencia colectiva. Por su parte, el índice de cobertura (*Raw coverage*⁴ indica que el 40% de los casos que logran desarrollar eficiencia colectiva responde a esta combinación de condiciones causales. El *score* de cobertura única (*Unique coverage*) es algo menor, indicando que el 30% de los casos positivos se explican sólo por esta fórmula.

La **configuración 2** indica que el cluster surgió como resultado de una iniciativa estatal o de las universidades, estas universidades o centros STEM realizan transferencia, existe una estructura financiera acorde y la orientación a servicios como condiciones para el éxito. Tiene un valor de consistencia igual a la unidad y de cobertura de 0.2. Es decir, el 100% de los *clusters* con estas condiciones es exitoso y el 20% de los *clusters* que logran eficiencia colectiva surgen de manera planificada, cuentan con las condiciones mencionadas.

La **configuración 3** incluye *clusters* que surgieron por iniciativa de las empresas radicadas en la región, existen centros STEM que realizan transferencia, cuentan con una estructura financiera acorde al sector y están orientados preponderantemente a productos. El 100% de los *clusters* con esta combinación es exitoso y el 40% de los *clusters* exitosos de la muestra comparten esta combinación de condiciones causales.

La **configuración 4** tiene en cuenta la planificación estatal o universitaria en el surgimiento del *cluster*, cuentan con centros STEM que realizan transferencia y están orientadas a producto. Sin embargo, carecen de relaciones triple hélice y de una estructura financiera adecuada. El 100% de

⁴*Raw coverage*: proporción de casos positivos (del resultado) explicados por la configuración. *Unique coverage*: proporción de todos los casos positivos explicados sólo por la fórmula (Dusa, 2023).

los *clusters* con esta combinación es exitoso y el 10% de los clusters exitosos de la muestra tienen esta combinación de condiciones causales.

Los ejercicios de robustez adecuados a esta metodología se relacionan con pruebas de sensibilidad. En este trabajo se realizaron los cálculos introduciendo modificaciones en los umbrales de inclusión sin que se presentaran cambios en los resultados.

5. Consideraciones finales

De un total de 106 estudios de *clusters* internacionales y nacionales de SSI, y luego de una revisión de los factores de éxito/fracaso en los primeros años de vida, se construyó una base de datos cualitativa a partir de 49 artículos que abordan un total de 16 de esos casos relevantes. El éxito en su primera etapa se definió como el desarrollo de eficiencia colectiva, en términos de desarrollo de capacidades de innovación en las firmas radicadas en la región o generación de procesos de aprendizaje colectivo.

Mediante la aplicación de la metodología Análisis Cualitativo Comparativo (QCA) se identificaron cuatro combinaciones de condiciones causales que derivaron en el cumplimiento de esa condición de éxito. Se asume que los fenómenos sociales tienen configuraciones causales complejas, pero mientras todas las causas tienen impacto en la estructura causal, algunas son más importantes que otras. Se identificó que la existencia de centros STEM que realizan transferencia es una condición causal tanto necesaria como suficiente para que el *cluster* sea exitoso. Resulta una condición causal tan importante que la eficiencia colectiva no se produce en su ausencia, y además es suficiente para desencadenar el resultado por sí sola. Por este motivo está presente en las cuatro configuraciones establecidas como recetas suficientes para el resultado.

De todas las condiciones causales examinadas, sólo la transferencia de conocimiento del sector académico al medio productivo es una condición necesaria y suficiente individualmente para el logro de la eficiencia colectiva, las demás deben combinarse entre sí para dar lugar al resultado. A modo de síntesis, este trabajo pone énfasis en la participación de centros STEM que realicen transferencia si se pretende potenciar la formación y desarrollo de *clusters* de innovación o alta tecnología.

En futuras ampliaciones a esta investigación, se plantea la posibilidad de incluir el contexto general de cada *cluster* para controlar por el grado de desarrollo económico, y de esta forma contemplar la posibilidad de diferente grado de eficiencia en el proceso de transferencia conocimiento e información y de capacidad en los agentes receptores.

Referencias

Arora, A., & Gambardella, A. (2005). *From underdogs to tigers*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199275601.001.0001>

Báscolo, P. J., Castagna, A. I., & Woelflin, M. L. (2012). Intensidad tecnológica en la estructura productiva de Rosario: ¿Hacia una economía más intensiva en conocimiento? *Pampa (Santa Fe)*, (8), 63-88.

Castells, M. (2004). *La era de la información: economía, sociedad y cultura* (Vol. 1). Siglo XXI.

Corrales, C. (2007). Importancia del cluster en el desarrollo regional actual. *Frontera norte*, 19(37), 173-201.

Dusa, A. (2023). The QCA package. En *QCA with R*. <https://bookdown.org/dusadrian/QCAbook/QCApackage.html>

Engel, J. S., Berbegal-Mirabent, J., & Piqué, J. M. (2018). The renaissance of the city as a cluster of innovation. *Cogent Business & Management*, 5(1), 1532777. <https://doi.org/10.1080/23311975.2018.1532777>

Engel, J. S. (2015). Global clusters of innovation: Lessons from Silicon Valley. *California Management Review*, 57(2), 36-65.

Espeche, J. F. T., Sacristán-Navarro, M., Zúñiga-Vicente, J. Á., & Crespo, N. F. (2023). Innovation and internationalisation during times of economic growth, crisis, and recovery prior to Covid-19: A configurational approach comparing Spanish manufacturing family and non-family firms. *Journal of Family Business Strategy*, 14(1), 100513. <https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2022.100513>

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From national systems and "Mode 2" to a triple helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.

Fiss, P. C. (2011). Building better causal theories: A fuzzy set approach to typologies in organization research. *Academy of Management Journal*, 54(2), 393-420. <https://doi.org/10.5465/amj.2011.60263120>

García-Alvarez-Coque, J.-M., Mas-Verdú, F., & Roig-Tierno, N. (2021). Life below excellence: Exploring the links between top-ranked universities and regional competitiveness. *Studies in Higher Education*, 46(2), 369-384. <https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1637843>

Girolimo, U. (2020). *Ciudades, actores y redes: Los procesos de innovación socio-tecnológica en el sector software y servicios informáticos en Tandil y Bahía Blanca (2003-2018)*.

Girolimo, U., & Diez, J.I. (2023). Redes institucionales en el sector del software: Un análisis de la experiencia de Tandil (2003-2018). *EURE*, 49(146). <https://doi.org/10.7764/EURE.49.146.04>

Giuliani, E. (2005). Cluster absorptive capacity: Why do some clusters forge ahead and others lag behind? *European Urban and Regional Studies*, 12(3), 269-288. <https://doi.org/10.1177/0969776405056593>

Gorenstein, S. M., & Gutman, G. E. (2016). Nuevos debates sobre acumulación, desarrollo y territorio: clusters tecnológicos en la periferia.

Gutman, G., Gorenstein, S., & Robert, V. (2018). Territorios y nuevas tecnologías: Desafíos y oportunidades en Argentina. En G. Gutman, S. Gorenstein, & V. Robert (Coords.), *Territorios y nuevas tecnologías. Desafíos y oportunidades en Argentina*.

Huber, F. (2012). On the role and interrelationship of spatial, social and cognitive proximity: Personal knowledge relationships of R&D workers in the Cambridge information technology cluster. *Regional Studies*, 46(9), 1169-1182. <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.569539>

Kantis, H., Federico, J., Drucaroff, S., & Martínez, A. C. (2005). Clusters y nuevos polos emprendedores intensivos en conocimiento en Argentina. *Buenos Aires, septiembre*.

Moncaut, N. C. (2019). *Objetivos públicos y privados en el desarrollo económico territorial: El caso del clúster de software de Tandil*.

Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6), 77-90.

Rabadán, A., Díaz, M., Brugarolas, M., & Bernabéu, R. (2020). Why don't consumers buy organic lamb meat? A Spanish case study. *Meat Science*, 162, 108024. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108024>

Ragin, C. (1989). *The comparative method. Moving beyond qualitative and quantitative strategies*. University of California Press.

Ragin, C. C. (2006). Set relations in social research: Evaluating their consistency and coverage. *Political Analysis*, 14(3), 291-310. <https://doi.org/10.1093/pan/mpj019>

Ragin, C. C. (2008). *Redesigning social inquiry: Fuzzy sets and beyond*. University of Chicago Press.

Ragin, C. C. & Davey, S. (2022). *Fuzzy-Set/Qualitative Comparative Analysis 4.0*. Irvine, California: Department of Sociology, University of California.

Schneider, C. Q. & Wagemann, C. (2010). Qualitative Comparative Analysis (QCA) and fuzzy-sets: Agenda for a research approach and a data analysis technique. *Comparative Sociology*, 9(3), 376-396. <https://doi.org/10.1163/156913210X12493538729838>

Ter Wal, A. L. J., & Boschma, R. (2011). Co-evolution of firms, industries and networks in space. *Regional Studies*, 45(7), 919-933. <https://doi.org/10.1080/00343400802662658>