

# LA FUNCIÓN DE APRENDIZAJE EN LA EXPERIMENTACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS INDUSTRIALES

**EBRU SUSUR**

**ANTONIO HIDALGO**

Universidad Politécnica de Madrid

Este trabajo tiene su base en la tesis doctoral de la autora Ebru Susur y recoge parte de los resultados obtenidos de los artículos publicados por los autores, que contó con la financiación del programa EMJD «*European Doctorate in Industrial Management (EDIM)*» financiado por la Comisión Europea, Erasmus Mundus Action 1.

La ecología industrial trata de incorporar a los procesos industriales los principios por los que se rigen los ecosistemas naturales (Graedel y Allenby, 1995; Erkman, 1997; Korhonen, 2004). De esta forma se generan los denominados ecosistemas industriales que pueden definirse como sistemas de producción industrial sostenibles que se basan en los principios de la ecología industrial. Más específicamente, los ecosistemas industriales tienen su razón de

ser en la interacción mutua de diferentes industrias que permiten la implementación de un sistema de intercambio de recursos materiales (agua, energía, subproductos, infraestructura y hábitat natural) y recursos no materiales (información, conocimiento y experiencia) que dan como resultado beneficios no solo de carácter económico, sino también de carácter social y ambiental (Lowe, *et al.*, 1995; Cote y Hall, 1995; Cossentino, *et al.*, 1996; Chertow, 2000; Gibbs, 2009)

Los ecosistemas industriales se han llevado a la práctica principalmente a escala local y regional teniendo en cuenta las ventajas potenciales de la proximidad geográfica (Korhonen y Snäkin, 2005; Paquin y Howard-Grenville, 2009), aunque también pueden implementarse a escala nacional (Lombardi y Laybourn, 2012). Particularmente, las experiencias a escala local han recibido una atención especial en el ámbito de los gestores públicos (*policy makers*) después de conocer el éxito de la simbiosis industrial de las empresas integradas en el distrito industrial de Kalundborg (Di-

namarca), que mediante el intercambio de residuos, subproductos y energía ha permitido la generación de fuertes vínculos y beneficios entre ellas (Chertow, 2007; Branson, 2016). No obstante, no todos los casos conocidos de ecosistemas industriales se pueden considerar exitosos como el de Kalundborg debido a causas relacionadas con la diversidad de los actores involucrados y la complejidad de las interrelaciones que tienen que generarse entre ellos.

El desarrollo de los ecosistemas industriales a escala local y regional también es un tema de análisis reciente en la literatura sobre ecología industrial (Zhang, *et al.*, 2013; Yune, *et al.* 2016). Tanto los casos de éxito como los casos de fracaso conocidos han sido analizados para comprender los procesos y mecanismos que los inducen. Sin embargo, las experiencias conocidas de ecosistemas industriales siguen siendo prácticas sostenibles de carácter marginal distribuidas en diferentes ámbitos geográficos, como consecuencia de la existencia de diferentes elementos que oponen resistencia para que un sistema industrial realice una transición

sostenible hacia un ecosistema industrial. Por tanto, la pregunta que se plantea en el ámbito académico es ¿cómo se puede lograr esta transición de una forma eficiente?

Si bien esta pregunta no puede todavía responderse de una manera directa y con implicaciones específicas, los estudios de casos proporcionados por la literatura sobre ecología industrial pueden arrojar evidencias concretas. Centrándonos en la naturaleza de la innovación sistémica que incorpora la ecología industrial y adoptando una perspectiva de transición, en este artículo se realiza una revisión de casos de ecosistemas industriales existentes en la literatura para tratar de comprender los procesos que se encuentran en la base de su desarrollo. Tomando como punto de partida que la resistencia de las transiciones hacia un ecosistema industrial procede fundamentalmente de las rutinas incorporadas en los sistemas tradicionales de producción industrial, y que los procesos de experimentación continua de las prácticas de ecología industrial son clave para superar las rutinas existentes (Susur, *et al.*, 2019a, 2019c), el enfoque de la gestión estratégica de nichos nos permite abordar las prácticas sostenibles de transición como experimentos que incorporan tres procesos específicos (Schof y Geels 2008; Raven 2005): articulación de expectativas y visiones, creación de redes, y procesos de aprendizaje, siendo estos últimos los que en realidad que permiten cambiar las rutinas existentes en el sistema socio-técnico sujeto a transición.

Los tres procesos identificados están interrelacionados y son dependientes entre sí. Sin embargo, este artículo se centra en el análisis de los procesos de aprendizaje llevados a cabo en casos reales con el objetivo de comprender cómo las rutinas pueden cambiar en los sistemas de producción industrial para lograr transiciones sostenibles hacia los ecosistemas industriales. El artículo está estructurado de la siguiente manera: un primer apartado proporciona el marco conceptual que permite caracterizar los procesos de aprendizaje; a continuación se presentan los detalles de la metodología utilizada que ha permitido seleccionar un total de 108 casos de ecosistemas industriales de la literatura disponible sobre ecología industrial; en el siguiente apartado se presentan y discuten los resultados del análisis de los procesos de aprendizaje identificados en los casos de estudio; y, finalmente, el último apartado incorpora las conclusiones y un conjunto de implicaciones prácticas.

## LOS PROCESOS DE APRENDIZAJE. CONCEPTUALIZACIÓN ¶

De forma genérica, por aprendizaje se entiende la adquisición de conocimiento por medio del estudio o la experiencia, y en una persona implica el cambio de su conducta a partir de los resultados obtenidos y en los que la experiencia desempeña un papel fundamental. A nivel de una organización, el aprendizaje se constituye en el proceso que permite transformar la información en conocimiento y explotarlo para conseguir mejorar los niveles de dinamismo que la empresa necesita para adaptarse a los cambios del

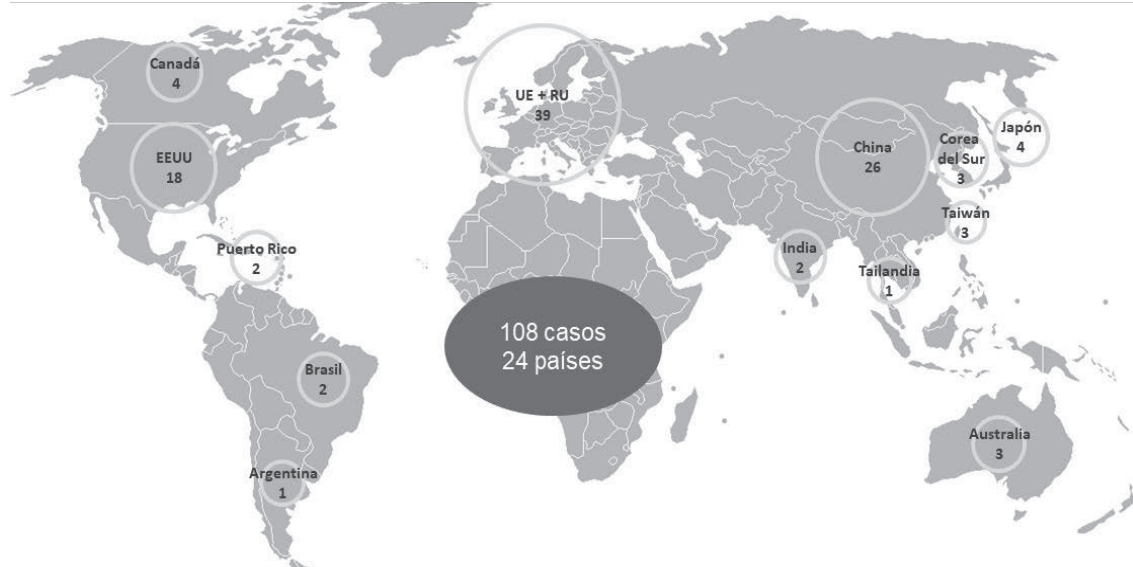
entorno e incrementar su ventaja competitiva (Senge, 1993). Por tanto, la identificación de problemas y la búsqueda de soluciones son procesos inherentes a cualquier empresa y se encuentran en la base del proceso de aprendizaje que debe organizar.

En la literatura sobre ecología industrial el concepto de aprendizaje ha encontrado una amplia atención. El argumento esencial dentro de este ámbito está relacionado con el aprendizaje de una analogía con la naturaleza y sus ecosistemas (Frosch y Gallapoulos, 1989). Sin embargo, la literatura sobre ecología industrial presta atención especial al aprendizaje colectivo de las organizaciones industriales (Grant, *et al.*, 2010; MacLachlan, 2013) y de los actores regionales más relevantes (Baas y Boons, 2004; Roberts, 2004; Veleza, *et al.*, 2016) a través de los mecanismos de formación (seminarios, conferencias, talleres, etc.), los medios de comunicación (televisión, radio, internet, periódicos, revistas, etc.) y el uso de tecnologías de la información (plataformas destinadas a la gestión del intercambio de información y conocimiento).

Diferentes estudios ponen de manifiesto que el aprendizaje colectivo actúa como un medio para crear una cultura que permita generar nuevas rutinas que se basan en reglas cognitivas, formales y normativas compartidas por todos los actores del sistema. Estas reglas se refieren al conocimiento común, las regulaciones necesarias y los patrones de comportamiento convergente de estos actores (Geels, 2004; Geels y Raven, 2006). Hay que resaltar que una cultura favorable a la implementación de un ecosistema industrial puede surgir a través de cambios en las reglas subyacentes que rigen el comportamiento general (Argyris, 1997; Mirata y Emtairah, 2005).

El aprendizaje se considera como un proceso clave en los experimentos relativos a transiciones sostenibles y en los que generalmente se distinguen dos niveles: aprendizaje de primer orden y aprendizaje de segundo orden (Schof y Geels, 2008). El aprendizaje de primer orden está orientado a la identificación de problemas que se presentan en las rutinas existentes, mediante el análisis de las normas, las expectativas y las visiones de los actores, y a generar soluciones que puedan ayudar a corregirlos (Douthwaite, *et al.*, 2001). El aprendizaje de segundo orden está orientado a la incorporación de los cambios necesarios en las rutinas existentes, por lo que debe permitir que los diferentes actores puedan obtener conclusiones para llevar a cabo las transformaciones necesarias en las normas, expectativas y visiones que darán lugar a nuevas experiencias (Ghali, *et al.*, 2014). Este segundo nivel de aprendizaje debe ser capaz de permitir también el desarrollo de conocimiento tácito mediante la experimentación continua con prácticas relacionadas con la ecología industrial y el intercambio de experiencias a través de interacciones efectivas e intercambios de recursos en ecosistemas industriales emergentes (Baas, 2011; Boons, *et al.*, 2017). En este contexto, la existencia de campeones locales

**FIGURA 1**  
**DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CASOS DE ECOSISTEMAS INDUSTRIALES**



Fuente: Susur, Hidalgo y Chiaroni, 2019b.

y organismos intermedios también puede contribuir de forma decisiva en la organización del aprendizaje de segundo orden (Domenech y Davies, 2011; Boons y Spekkink, 2012; Hewes y Lyons, 2008).

## METODOLOGÍA ↓

La metodología utilizada en este estudio se basa en el análisis de casos, lo que permite conocer con cierto nivel de detalle datos concretos de situaciones reales que se encuentran compilados en una amplia gama de la literatura. Al mismo tiempo, facilita la comprensión y el análisis del contexto en que se desarrolla cada caso y las variables que intervienen, proporcionando un conocimiento valioso sobre los procesos de aprendizaje integrados en los mismos, lo que puede inducir a nuevas ideas.

En el artículo se analizan diferentes casos de ecosistemas industriales emergentes y se reinterpretan bajo el prisma de la conceptualización de los procesos de aprendizaje. Estos casos se encuentran en la literatura relativa a ecología industrial y han sido generados teniendo en cuenta diferentes diseños de investigación (Susur, *et al.*, 2019b). Como resultado de una revisión sistemática de la literatura de revistas indexadas en la base de datos WoS (*Web of Science*), que abarcó el periodo comprendido entre los años 2007 y 2017, en la que se incorporaron a modo de filtros un conjunto de criterios tanto de exclusión como de inclusión, se identificaron 68 artículos que incorporaban una muestra de 108 casos relacionados con ecosistemas industriales distribuidos en 24 países. La distribución geográfica de los casos se muestra en la Figura 1.

Una visión de la distribución geográfica de los casos analizados permite identificar los contextos empíricos

de los mismos y cómo su desarrollo difiere en intensidad cuando se observa la frecuencia de los países estudiados en la muestra del artículo. Los resultados han puesto de manifiesto que no todos los casos seleccionados tienen un ámbito geográfico específico (total de 12), mientras que un importante número de ellos están centrados en el análisis e interpretación de diferentes aspectos del desarrollo de los ecosistemas industriales en 24 países diferentes (total de 103). Entre estos estudios, un total de 87 están centrados en experiencias de un único país, mientras que 16 lo están en contextos de varios países. A nivel de país, la mayoría de los casos se concentran en Europa (39), China (26), Estados Unidos (18) y Canadá (4). Es importante resaltar que, en comparación con otros países, Dinamarca aparece como el caso más citado con el ecosistema industrial de Kalundborg, lo que pone de relieve el interés de otros países en realizar estudios comparativos que permitan mejorar las buenas prácticas.

La relación de los casos considerados se presenta en la Tabla 1, en la que la identificación del país aparece en forma de abreviatura según lo establecido por la Organización Internacional de Normalización. Por último, hay que tener en consideración que cada caso de ecosistema industrial se ha abordado como un experimento de nicho, y los procesos de aprendizaje que implican la construcción de redes sociales y la articulación de expectativas y visiones se encuentran implícitos en cada uno. En el siguiente apartado se analizan los procesos de aprendizaje implícitos para identificar cómo se pueden lograr las transiciones hacia un ecosistema industrial a través de la implementación de rutinas cambiantes integradas en los sistemas de producción industrial tradicionales.

**TABLA 1**  
**LISTA DE CASOS DE ECOSISTEMAS INDUSTRIALES**

Nr	Nombre del caso	Nr	Nombre del caso
1	Burnside ecosistema industrial (CA)	55	Komsomlske (UA)
2	Alberto (CA)	56	Cherkassey (UA)
3	Debert Air Parque Industrial (CA)	57	Proyecto ABLE de Sitios Europeos (UK)
4	Innovista (CA)	58	AvestaPolarit (UK)
5	Fairfield, Baltimore (USA)	59	Eco Dyfi (UK)
6	Brownsville Proyecto de simbiosis industrial regional (USA)	60	Ecotech (UK)
7	Cape Charles parque Industrial de tecnologías sostenibles (USA)	61	Humber Proyecto de simbiosis industrial (UK)
8	Proyecto de la costa central del golfo (USA)	62	Crewe Parque de negocios (UK)
9	Riverside ecosistema industrial, Burlington, Vermont (USA)	63	Grupo Guigang / Grupo Guitang (CN)
10	Instituto verde-ecosistema industrial, Minneapolis, Minnesota (USA)	64	Pingdingshan Grupo minero de carbón (CN)
11	Stonyfield Londonderry ecosistema industrial, Londonderry, New Hampshire (USA)	65	Grupo Lubei (CN)
12	Red Hills Ecoplex, Mississippi (USA)	66	Suzhou Parque Industrial (CN)
13	Ecolibrium, Disposición informática y electrónica, Austin, Texas (USA)	67	Suzhou Zona de desarrollo de alta tecnología (CN)
14	Front Royal, Parque Eco-Office, Virginia (USA)	68	Yantai zona de desarrollo (CN)
15	Dallas ecosistema industrial, Texas (USA)	69	Guiyang – Kaiyang (CN)
16	Triangle J, North Carolina (USA)	70	Zona de desarrollo costero de Weifang / Área de desarrollo económico-tecnológico de Weifang Binhai (CN)
17	Phillips Centro Eco Enterprise, Minnesota (USA)	71	Tianjin Área de Desarrollo Económico-Tecnológico (TEDA) (CN)
18	Bassett Creek, Minnesota (USA)	72	Fuzhou Área de Desarrollo Económico y Tecnológico (CN)
19	Devens (USA)	73	Xi'an Zona de alta tecnología (CN)
20	Campbell Parque Industrial, Hawaii (USA)	74	Baotou Parque Nacional de Demostración Ecológica Industrial (CN)
21	Jacksonville, Florida (USA)	75	Huangxing (CN)
22	Choctaw, Oklahoma (USA)	76	Shanghai parque industrial químico (SCIP) (CN)
23	Puerto Rico – Guayama (PR)	77	Dalian Zona de Desarrollo Económico (DEDZ) (CN)
24	Puerto Rico – Barceloneta (PR)	78	Shenyang Zona de desarrollo económico y tecnológico (CN)
25	La Cantabrica (AR)	79	Dafeng proyecto de ecosistema industrial (CN)
26	Paracambi (AR)	80	Nanhai proyecto de ecosistema industrial (CN)
27	Santa Cruz (AR)	81	Lubei proyecto de ecosistema industrial (CN)
28	Ecopark Hartberg (AT)	82	Fushun (CN)
29	Styria (AT)	83	Midong parque industrial químico (MCIP) (CN)
30	Kalundborg Simbiosis (DK)	84	Rizhao Área de Desarrollo Económico y Tecnológico (CN)
31	Kymi (FI)	85	Xinjiang Shihezi ecosistema industrial (CN)
32	Rantasalmi (FI)	86	Shanghai Wujing ecosistema industrial (CN)
33	Uimaharju (FI)	87	Qijiang Parque de simbiosis industrial (CN)
34	Deux Synthe (FR)	88	Nanning Sugar Co (CN)
35	Ecosite du Pays de Thau (FR)	89	EBARA Corporación (JP)
36	Bioraffinerie Les Sohettes (FR)	90	Kawasaki (JP)
37	Arbois Mediterranee (FR)	91	Kitakyushu (JP)
38	Artois-Flandres (FR)	92	Kokubu (JP)
39	Plaine de l'Ain (FR)	93	Nanjangud Area Industrial (IN)
40	ValuePark Schkopau (DE)	94	Naroda (IN)
41	Knapsack Parque químico (DE)	95	Ulsan ecosistema industrial (KR)
42	BASF Verbund (DE)	96	Daedok Proyecto de desarrollo de Technovalley (KR)
43	Porto Marghera (IT)	97	Macheon Parque Industrial (KR)
44	Torino Parque ambiental (IT)	98	Lin-Hai Parque Industrial – China Steel Corp. (TW)
45	Chamusca (PT)	99	Da-Yuan Parque Industrial – Cheng Loong Corp. (TW)
46	Lopez Soriano (ES)	100	Lin-Yuan Parque Industrial – Formosa Plastic Corp. (TW)
47	Landskrona Simbiosis industrial (SE)	101	Polígono industrial de la región norte (TH)

Nr	Nombre del caso	Nr	Nombre del caso
48	Norrköping and Linköping (SE)	102	Kwinana Area Industrial (KIA) (AU)
49	Vrethen Park (SE)	103	Gladstone Area Industrial (AU)
50	Monthey (CH)	104	Synergy Parque Industrial (AU)
51	Proyecto de ecosistema industrial (NL)	105	Ecosistema industrial regional in Catalonia (ES)
52	Rietveld/Vutter Proyecto de Revitalización Sostenible (NL)	106	Ponte a Egola (IT)
53	Moerdijk Proyecto de ecosistema industrial (NL)	107	El primero de Macrolotto de Prato (IT)
54	Biopark Terneuzen (NL)	108	Proyecto de Economía Verde y Desarrollo Sostenible (IT)

Fuente: Susur, Hidalgo y Chiaroni, 2019b.

## APRENDIENDO DE LOS CASOS DE ECOSISTEMAS INDUSTRIALES ↓

El análisis de los casos indicados en el apartado anterior pone de relieve que el aprendizaje desempeña un papel crucial en la experimentación y demostración de ecosistemas industriales, al igual que se argumenta en la literatura de ecología industrial. A nivel global, los resultados obtenidos destacan que la profundidad y amplitud de los procesos de aprendizaje están directamente relacionados con las características de las redes emergentes de los ecosistemas industriales. Asimismo, las actividades relacionadas con la comunicación y difusión como medidas de desarrollo de capacidades, organizadas por los actores facilitadores y de intermediación, tales como organismos de gestión, agencias ambientales u organizaciones gubernamentales, pueden proporcionar mecanismos apropiados para desarrollar el aprendizaje de primer orden entre ellos, y en las que las tecnologías de la información y comunicaciones pueden ser herramientas esenciales para facilitar el intercambio de experiencias y materiales. En particular, los actores pertenecientes a organizaciones gubernamentales que participan directamente en los procesos de aprendizaje, independientemente de tener responsabilidades técnicas limitadas en sus organizaciones de origen, pueden actuar como facilitadores del aprendizaje para otras organizaciones públicas que tienen más competencias y capacidades políticas para iniciar nuevos experimentos de ecosistemas industriales.

Los resultados también pusieron de relieve que algunos de los experimentos analizados de ecosistemas industriales sirvieron de efecto demostrador para el desarrollo de otros ecosistemas geográficamente próximos. En estos casos, los actores involucrados en un experimento adoptaron roles más activos al iniciar otros experimentos. Estos casos constituyen ejemplos prácticos de resultados de aprendizaje de segundo orden, ya que implican al conjunto de visiones de los actores involucrados frente a las problemáticas que plantean los cambios de las rutinas de producción industrial existentes desde la perspectiva de la sostenibilidad. Sin embargo, la consideración del aprendizaje de segundo orden en términos de la aplicación de los conocimientos adquiridos es difícil de lograr para las organizaciones industriales involucradas, por lo que resulta necesario apoyar la experimentación de una forma continua que permita la construcción de casos exitosos de ecosistemas industriales. En este contexto, la

dinámica que implica la repetición y acumulación del aprendizaje de primer orden sobre los experimentos de ecosistemas industriales puede llevar a replantear los supuestos y los cambios en las rutinas de producción (aprendizaje de segundo orden), que incorporan no solo problemas de carácter tecnológico, sino también de carácter social, gerencial y organizacional, y se puede hacer extensiva a las dimensiones requeridas para el intercambio de recursos.

Los experimentos incluidos en los casos de estudio demostraron que cuando las redes que constituyen el ecosistema industrial son amplias y conectan con otros experimentos, es decir, donde existe una visión a escala nacional sobre el desarrollo de los ecosistemas industriales, como en China e Italia, el aprendizaje de segundo orden tiene lugar de una forma más efectiva. La razón principal para que se genere esta dinámica se encuentra en que la visión del proyecto se logra estructurar mediante la repetición de varios experimentos bajo el apoyo (o protección) de programas paraguas, como el Programa de Demostración Nacional de Parques Eco-Industriales y el Programa de Demostración Nacional de Zona de Economía Circular en China, y el Plan de Áreas Productivas y Eco-Gestión Ecológicamente Equipadas en Italia. Otra razón que apoya esta práctica está relacionada con el mayor número de experimentos que fueron iniciados y apoyados por estas iniciativas a través de la experimentación concurrente y la agregación de resultados de aprendizaje obtenidos. Ejemplo de ello lo constituyen las organizaciones gubernamentales chinas que, desde principios del siglo XXI, han estado acumulando conocimiento a través del monitoreo de los resultados de diferentes experimentos y han estado facilitando el aprendizaje para los actores de los sistemas de producción industrial tradicionales por medio de la difusión de este conocimiento a través de publicaciones y medios de comunicación, así como la organización de actividades orientadas al desarrollo de capacidades como seminarios, foros, talleres, reuniones de negocios, etc.

Otro aspecto a destacar de los casos de estudio es la importancia de transferir experiencias y lecciones de unos experimentos a otros para construir lo que podemos denominar como el efecto de la fertilización cruzada. En ese sentido, el caso del ecosistema industrial de Kalundborg en Dinamarca se erige como el experimento más influyente hasta el momento y sirve como punto de referencia de aprendizaje para el desarrollo de otros experimentos distribuidos en otras zonas geo-



gráficas. A este respecto, las colaboraciones a nivel internacional pueden ser relevantes para aprender de los experimentos en terceros países, y las organizaciones intermedias pueden actuar como elementos de influencia en el desarrollo del ecosistema industrial en toda Europa o, incluso, a nivel mundial para facilitar la transferencia de conocimiento y la creatividad conjunta.

También se ha identificado que los procesos de aprendizaje están en constante interacción con otros procesos de generación de nichos o experimentos, como son la construcción de redes y la articulación de expectativas y visiones. La evolución de los experimentos analizados de ecosistemas industriales se presenta como un viaje adaptativo y continuo durante el cual las visiones y expectativas de la comunidad que constituye el ecosistema industrial convergen a través de procesos de aprendizaje, que al mismo tiempo tienen un impacto en el tamaño de las redes emergentes. Si bien al comienzo de la puesta en marcha de un ecosistema industrial puede existir una red de actores relativamente estrecha, el objetivo principal es involucrar a tiempo en el proceso de aprendizaje a las empresas ubicadas en los sistemas de producción industrial y a nuevos actores como organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, universidades y centros de investigación. Se ha puesto de manifiesto que este proceso es especialmente relevante porque las organizaciones industriales generalmente muestran resistencia a las prácticas que incorporan los ecosistemas industriales, especialmente al comienzo de la experimentación, debido a la falta de conocimiento sobre los beneficios potenciales que pueden obtener de los intercambios de recursos para sus negocios.

Por último, otro hecho identificado hace referencia a que es más probable que los actores industriales integren en sus expectativas las visiones inspiradas en la ecología industrial derivadas de experimentos exitosos en los que han participado de forma relevante organizaciones gubernamentales, organismos intermedios y organismos generadores de conocimiento. En más detalle, la presencia de organismos intermedios puede facilitar las interacciones entre los miembros de la red existentes y futuros, y crear un mayor nivel de conciencia y aprendizaje entre ellos respecto a las prácticas de ecología industrial. Además, la presencia de organismos generadores de conocimiento, como universidades y centros de investigación, en las redes puede proporcionar herramientas de aprendizaje específicas para la difusión del conocimiento y una visión que les permita avanzar en la identificación de posibles sinergias entre los actores existentes y contribuir a la participación de un mayor número de actores en las redes. El papel de las organizaciones gubernamentales puede ser relevante en términos de facilitar la entrada de la industria en las redes de los ecosistemas industriales. Una vez que las organizaciones gubernamentales entienden las prácticas de la ecología industrial y cómo se desarrollan siguiendo el patrón de un ecosistema industrial, pueden incorporarse al proceso mediante la adopción de medidas concretas a

través de la introducción de cambios en la regulación y el diseño de mecanismos de incentivos fiscales y financieros apropiados para la industria. Por tanto, estos tres actores constituyen el eje sobre el que articular el desarrollo de un ecosistema industrial, pues les permite facilitar los cambios que son necesarios afrontar a las empresas en el contexto de la sostenibilidad y generar una conciencia sobre la posibilidad de obtener beneficios económicos y sociales para todos los integrantes de las redes del ecosistema industrial.

## CONCLUSIONES ↓

Este artículo ha analizado un conjunto amplio de casos disponibles en la literatura relativos al estado del arte de ecosistemas industriales y se ha centrado en los procesos de aprendizaje para tratar de comprender mejor los experimentos desarrollados, en particular cómo las rutinas pueden cambiar en los sistemas de producción industrial convencionales para lograr transiciones sostenibles hacia un ecosistema industrial. En total se han identificado 108 casos de ecosistemas industriales distribuidos en 24 países de todo el mundo, lo que ha permitido obtener información de experimentos de ecosistemas industriales en diferentes contextos.

Una primera conclusión que se obtiene es que las actividades y procesos de aprendizaje requieren de un enfoque explícito a la hora de planificar e implementar un nuevo experimento de ecosistema industrial. Los mecanismos de aprendizaje que facilitan la difusión del conocimiento sobre las prácticas de la ecología industrial son esenciales para conseguir un impacto positivo en el nuevo experimento y, por tanto, en sus resultados. Si el aprendizaje de primer orden se puede lograr de una forma continua a través de medidas que permitan la generación de capacidades para los actores involucrados, será posible avanzar en el aprendizaje de segundo orden, lo que facilita la viabilidad de un experimento y también el surgimiento de expectativas y nuevas visiones para el ecosistema industrial.

Una segunda conclusión pone de relieve que la fertilización cruzada en diferentes experimentos de ecosistemas industriales también es crucial para que los actores involucrados puedan aprender unos de otros. Además, los experimentos aislados se pueden agregar al nivel del ecosistema industrial global a través de políticas y acciones intermedias. En este apartado, los organismos intermedios y los organismos generadores de conocimiento, junto con las organizaciones gubernamentales, pueden desempeñar un papel relevante. La expansión de un ecosistema industrial más allá de los niveles local y regional se puede lograr mediante el uso de mecanismos de políticas públicas mediante los cuales las organizaciones intermedias pueden formular visiones colectivas a través de la gestión de las redes al permitir el aprendizaje de diferentes experimentos.

Una tercera conclusión hace referencia a que la experimentación continua de las prácticas de ecología industrial entre los sistemas de producción industrial tradicionales es crítica y no solo conducirá a un ma-

por número de ecosistemas industriales a nivel local y regional, sino que también puede traer un cambio en las rutinas de producción tradicionales hacia rutinas de producción circulares en la industria en una escala más amplia. Para lograr este objetivo los responsables de las políticas públicas tienen el desafío de motivar a las organizaciones industriales para que se involucren en estos experimentos. Por tanto, el diseño de nuevos mecanismos de apoyo y la introducción de cambios en las regulaciones actuales pueden ser particularmente útiles para modificar las rutinas establecidas y ampliar el conocimiento consolidado de los responsables de los sistemas de producción industrial. Si tales mecanismos pudieran permitir la co-creación de estos cambios en conjunto con las organizaciones intermedias y éstas fueran capaces de involucrar de una manera efectiva a la industria y a otros actores en el proceso de cambio, el compromiso de la industria en el desarrollo de experimentos de ecosistemas industriales sería más amplio y profundo.

## REFERENCIAS

ARGYRIS, C. 1997. «Initiating change that preserves». *American Behavioral Scientist*, 40(3): 299-310.

BAAS, L. 2011. «Planning and uncovering industrial symbiosis: Comparing the Rotterdam and Östergötland regions». *Business Strategy and the Environment*, 20(7): 428-440.

BAAS, L.W. & BOONS, F.A.A. 2004. «An industrial ecology project in practice: Exploring the boundaries of decision-making levels in Regional Industrial Systems». *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10): 1073-1085.

BOONS, F., CHERTOW, M., PARK, J., SPEKKINK, W. & SHI, H. 2017. «Industrial symbiosis dynamics and the problem of equivalence: Proposal for a comparative framework». *Journal of Industrial Ecology*, 21(4): 938-952.

BOONS, F. & SPEKKINK, W. 2012. «Levels of institutional capacity and actor expectations about industrial symbiosis: Evidence from the Dutch Stimulation Program 1999-2004». *Journal of Industrial Ecology*, 16(1): 61-69.

BRANSON, R. 2016. «Reconstructing Kalundborg: The reality of bilateral symbiosis and other insights». *Journal of Cleaner Production*, 112: 4344-4352.

CHERTOW, M.R. 2000. «Industrial symbiosis: Literature and taxonomy». *Annual Review of Energy and the Environment*, 25: 313-337.

CHERTOW, M.R. 2007. «Uncovering industrial symbiosis». *Journal of Industrial Ecology*, 11(1): 11-30.

COSENTINO, F., PYKE, E. & SENGEBERGER, W. 1996. *Local and regional response to global pressures: The case of Italy and its industrial districts*. Geneva, ILO.

COTE, R. & HALL, J. 1995. «Industrial parks as ecosystems». *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2): 41-46.

DOMENECH, T. & DAVIES, M. 2011. «The role of embeddedness in industrial symbiosis networks: Phases in the evolution of industrial symbiosis networks». *Business Strategy and the Environment*, 20: 281-296.

DOUTHWAITE, B., KEATINGE, J. & PARK, J. 2001. «Why promising technologies fail: the neglected role of user innovation during adoption». *Research Policy*, 30: 819-836.

ERKMAN, S. 1997. «Industrial ecology: An historical view». *Journal of Cleaner Production*, 5(1): 1-10.

FROSCHE, R.A. & GALLAPOULUS, N.E. 1989. «Strategies for manufacturing». *Scientific American*, 261: 94-102.

GEELS, F.W. 2004. «From Sectoral Systems of Innovation to Socio-Technical Systems. Insights about dynamics and change from sociobiology and institutional theory». *Research Policy*, 33: 897-920.

GEELS, F.W. & RAVEN, R. 2006. «Non-linearity and expectations in niche-development trajectories: Ups and downs in Dutch biogas development (1973-2003)». *Technology Analysis and Strategic Management*, 18(3-4): 375-392.

GHALI, M.R., FRAYRET, J.M. & ROBERT, J.M. 2014. «Green social networking: Concept and potential applications to initiate industrial synergies». *Journal of Cleaner Production*, 115: 23-35.

GIBBS, D. 2009. *Eco-industrial Parks and Industrial Ecology: Strategic Niche or Mainstream Development*. In: *The Social Embeddedness of Industrial Ecology*. Cheltenham, Edward Elgar: 73-102.

GRAEDEL, T. & ALLENBY, B. 1995. *Industrial Ecology*. New Jersey, Prentice Hall.

GRANT, G. B., SEAGER, T. P., MASSARD, G. & NIES, L. 2010. «Information and communication technology for industrial symbiosis». *Journal of Industrial Ecology*, 14(5): 740-753.

HEWES, A.K. & LYONS, D.I. 2008. «The humanistic side of eco-industrial parks: Champions and the role of trust». *Regional Studies*, 42(10): 1329-1342.

KORHONEN, J. 2004. «Theory of industrial ecology». *Progress in Industrial Ecology*, 1(1-3): 61-88.

KORHONEN, J. & SNÄKIN, J.P. 2005. «Analysing the evolution of industrial ecosystems: Concepts and application». *Ecological Economics*, 52(2): 169-186.

LOMBARDI, D. R. & LAYBOURN, P. 2012. «Redefining industrial symbiosis: Crossing academic-practitioner boundaries». *Journal of Industrial Ecology*, 16(1): 28-37.

LOWE, E., MORAN, S. & HOLMES, D. 1995. *A fieldbook for the development of eco-industrial parks*. Oakland (CA), Indigo Development International.

MACLACHLAN, I. 2013. «Kwinana industrial area: Agglomeration economies and industrial symbiosis on Western Australia's Cockburn Sound». *Australian Geographer*, 44(4): 383-400.

MIRATA, M. & EMTAIRAH, T. 2005. «Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme». *Journal of Cleaner Production*, 13: 993-1002.

PAQUIN, R. & HOWARD-GRENVILLE, J. 2009. *Facilitating regional industrial symbiosis: Network growth in the UK's national industrial symbiosis programme*. In: *The social embeddedness of industrial ecology*. Cheltenham, Edward Elgar: 103-127.

RAVEN, R. 2007. «Niche accumulation and hybridisation strategies in transition processes towards a sustainable energy system: An assessment of differences and pitfalls». *Energy Policy*, 35(4): 2390-2400.

ROBERTS, B. 2004. «The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An Australian case study». *Journal of Cleaner Production*, 12: 997-1010.

SCHOT, J. & GEELS, F. W. 2008. «Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda, and policy». *Technology Analysis and Strategic Management*, 20(5): 537-554.

SENGE, P. 1993. *Transforming the Practice of Management*. Wiley.

SUSUR, E., HIDALGO, A. & CHIARONI, D. 2019a. «The emergence of regional industrial ecosystem niches: A conceptual framework and a case study». *Journal of Cleaner Production*, Volume 208: 1642-1657.

SUSUR, E., HIDALGO, A. & CHIARONI, D. 2019b. «A strategic niche management perspective on transitions to eco-industrial park development: A systematic review of case studies». *Resources, Conservation and Recycling*, 140: 338-359.

SUSUR, E., MARTIN-CARRILLO, D., CHIARONI, D. & HIDALGO, A. 2019c. «Unfolding eco-industrial parks through niche experimentation: Insights from three Italian cases». *Journal of Cleaner Production*, Volume 239: 118069.

VELEVA, V., LOWITT, P., ANGUS, N. & NEELY, D. 2016. «Benchmarking eco-industrial park development: The case of Devens». *Benchmarking*, 23(5): 1147-1170.

YUNE, J.H., TIAN, J., LIU, W., CHEN, L. & DESCAMPS-LARGE, C. 2016. «Greening Chinese chemical industrial park by implementing industrial ecology strategies: A case study». *Resources, Conservation & Recycling*, 112: 54-64.

ZHANG, Y., ZHENG, H., CHEN, B. & YANG, N. 2013. «Social network analysis and network connectedness analysis for industrial symbiotic systems: Model development and case study». *Frontiers of Earth Science*, 7(2): 169-181.